

People's Democratic Republic of Algeria  
Ministry of Higher Education and Scientific Research  
Mohamed Boudiaf University of M'sila  
Faculty of Technology



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
جامعة المسيلة  
كلية التكنولوجيا

Département de Génie Mécanique

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de :

**MASTER**

En Génie Mécanique

Option : Fabrication mécanique et productique

Présenté par : **DEBBIH Hossam eddine et DEBIH Rafik**

**Thème**

## CONCEPTION ET REALISATION D'UN POSTE A SOUDER PAR POINT

Devant le jury composé de :

NOM et Prénom	Grade	Qualité
Arslane Mustapha	MCB	Président
Debih ali	PROF	Encadreur
Daoudari Ameur	MCB	Examinatrice

Année Universitaire : 2024 / 2025

## **Remerciements**

*Avant tout, nous exprimons notre gratitude à Allah, Le Tout-Puissant, qui nous a accordé la force, la patience et le courage nécessaires pour surmonter les difficultés rencontrées tout au long de notre parcours universitaire.*

*Nous avons eu l'immense privilège de préparer ce mémoire au sein de l'Université **Mohamed Boudiaf de M'sila**, ce qui constitue pour nous une étape importante dans notre formation.*

*Nos remerciements les plus sincères s'adressent à notre encadreur, **Professeur DEBIH ALI**, pour la qualité de son accompagnement, la richesse de ses conseils et la disponibilité dont il a fait preuve tout au long de ce travail. Sa rigueur scientifique et ses encouragements ont été essentiels à la réalisation de ce projet.*

*Nous tenons également à remercier **l'ensemble des membres du jury** pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant d'évaluer ce travail, ainsi que pour leurs remarques constructives.*

*Enfin, nous exprimons notre profonde reconnaissance à toutes les personnes, nommées ou anonymes, qui ont, de près ou de loin, contribué à la réalisation de ce mémoire.*





## *Dédicace*

*Tout d'abord, nous remercions Dieu de nous avoir donné la force de mener à bien ce travail.*

*Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude envers toutes les personnes qui nous ont soutenus, de près ou de loin, tant matériellement que moralement.*

*Nous dédions ce travail :*

*À nos chers parents, à qui nous devons tout, et qui, nous l'espérons, trouveront dans ce travail l'expression de notre profonde gratitude et de notre affection pour toute la patience et l'endurance dont ils ont fait preuve pour nous.*

*À nos frères et sœurs, à qui nous souhaitons bonne chance dans leurs vies.*

*À nos amis avec qui nous avons partagé de bons moments.*



# Liste des figures

(Fig.I. 1) : Organigramme des procédés de soudage les plus répandus. [1] .....	4
(Fig.I. 2) : Principe du soudage par point. [3] .....	7
(Fig.I. 3) : Principe de soudage à l'arc avec électrodes enrobées (SMAW) [5] .....	8
(Fig.I. 4) : Procédé de soudage TIG (avec sa torche) [7] .....	9
(Fig.I. 5) : Principe de soudage à l'arc avec électrodes enrobées. [8] .....	9
(Fig.I. 6) : Soudage MIG. [9] .....	10
(fig.I. 7) : Soudage par point. [11] .....	12
(Fig.I. 8) : Soudage par aluminothermie [12] .....	13
(Fig.I. 9) : Soudage par friction malaxage. [12] .....	13
(Fig.II. 10) : Procédés de soudage par résistance électrique, a) soudage par point, b) soudage à la molette, c) soudage par bossage, et d) soudage par bossage pour un goujon-(Threaded stud with projection welding) .....	16
(Fig.II. 11) : Représentation schématisée des phases du procédé de soudage par point. ....	18
(fig.II. 12) : représente cycle thermique de soudage par résistance. [14] .....	19
(Fig.II. 13) : Photo et schéma du circuit de refroidissement d'une électrode [18] .....	22
(Fig.III. 14) : transformateur de micro-ondes .....	40
(Fig.III. 15) : Dessin du transfo. ....	42
(Fig.III. 16) : Dessin de la bobine. ....	43
(Fig.III. 17) : Installation de Électrodes. ....	44
(Fig.III. 18) : Dessin de Électrodes. ....	45
(Fig.III. 19) : Dessin de ventilateur. ....	47
(Fig.III. 20) : Câbles de soudage adaptés au soudage par points .....	48
(Fig.III. 21) : Les fils utilisés dans le circuit électrique de la poste de soudage par points. ....	49
(Fig.III. 22) : Dessin de rocker switch .....	50
(Fig.III. 23) : formation de Couverture. ....	51
(Fig.III. 24) : Découpe et assemblage des pièces de la Couverture .....	51
(Fig.III. 25) : Montage de la Couverture sur la base. ....	52
(Fig.III. 27) : Dessin de la Couverture. ....	53
(Fig.III. 28) : Dessin Couverture de poste souder par points. ....	54
(Fig.III. 29) : Dessin de la table poste soudage par point. ....	55
(Fig.III. 30) : Renforcement de la cage. ....	56
(Fig.III. 31) : Dessin de support. ....	57
(Fig.III. 32) : Dessin de bras .....	58
(Fig.III. 33) : Dessin d'assemblage du transformateur. ....	59
(Fig.III. 34) : Dessin d'assemblage de ventilateur. ....	60
(Fig.III. 35) : Dessin d'assemblage final .....	61
(Fig.III. 36) : Porte-serviettes en papier. ....	65
(Fig.III. 37) : Dessous-de-plat. ....	65
(Fig.III. 38) : Égouttoir à vaisselle. ....	66

# Sommaire

## Remerciements

## Dédicace

## Liste des abréviations

## Liste des figures

Introduction générale .....	1
-----------------------------	---

### Chapitre I : Techniques de soudage

I.1.introduction .....	3
I.2. Les procédés de soudage et de coupage : .....	4
I.3. Classification des procédés de soudage : .....	5
I.3.1. Selon la source d'énergie : .....	5
I.3.1.1. Energie électrique : .....	5
I.3.1.2. Energie chimique : .....	6
I.3.1.3. Energie mécanique : .....	6
I.3.1.4. Energie focalisée : .....	6
I.3.2. Selon l'état du métal pendant le soudage : .....	7
I.3.2.1. Le soudage par fusion : .....	7
I.3.2.2. Soudage à résistance électrique : .....	7
I.3.3. Description de divers procédés de soudage : .....	8
I.3.3.1. Soudage à l'arc électrique : .....	8
I.3.3.2. Le soudage TIG (Tungsten Inert Gas) : .....	8
I.3.3.3. Soudage avec électrode enrobée : .....	9
I.3.3.4. Soudage MIG (METAL INERT GAS) : .....	10
I.3.3.5. Soudage avec fil électrode sous flux en poudre : .....	10
I.4. Classification selon la nature de matière ajoutée : .....	10
I.4.1. Soudage même nature entre le métal d'apport et le métal de la base : .....	10
I.4.1.1. Soudure Homogène : .....	10
I.4.2. Soudure avec Matériau d'Apport Différent : .....	12
I.4.2.1. Principe du procédé de soudage mis en œuvre : .....	12
Soudage par friction malaxage (Friction Stir Welding, FSW) : .....	13

Autres Classifications :	14
Conclusion:	14

## **Chapoter II: Soudage par points**

II.1. Introduction au Procédé de Soudage par Résistance Électrique :	16
II.2. Principe du soudage :	18
II.2.1. Électricité et Résistance :	19
II.2.2. Chauffage par Résistance :	20
II.2.3. Types de Chauffage par Résistance :	20
II.3. Types de Soudage par Résistance :	20
II.3.1. Soudage par Point :	20
II.3.1.1. Fournitures :	21
II.3.2. Soudage par lignes :	23
II.3.3. Soudage par électrodes :	23
II.4. Matériaux utilisés :	23
II.4.1. Introduction :	23
II.4.2. Acier inoxydable :	24
II.5. Processus de soudage :	25
II.5.1. Préparation des surfaces :	25
II.5.2. Paramètres des soudages :	26
II.5.2.1. l'effort de soudage :	26
II.5.2.2. Le courant de soudage:	26
II.5.2.3. Le temps de soudage :	26
II.5.2.4. Le temps de forgeage :	27
II.6. Controle de qualite :	27
II.6.1. Tests de Résistance :	27
II.6.1.1. Tests Non Destructifs :	27
II.6.1.2. Tests Destructifs :	27
II.7. applications du soudage par résistance :	28
II.7.1. Fabrication automobile :	28
II.7.2. Aéronautique:	28
II.7.3. Électronique :	28
II.7.4. Biens de consommation et électroménager :	28
II.7.5. Fabrication industrielle générale :	28

II.8. Avantages et Inconvénients :	29
II.8.1. Efficacité énergétique :	29
II.8.2. coûts de production :	29
II.8.2.1. Avantages liés aux coûts de production :	29
II.8.2.2. Inconvénients liés aux coûts de production :	30
II.9. Sécurité dans le soudage par point :	31
II.9.1. Risques électriques clés :	31
II.9.1.1. Soudage à l'arc :	31
II.9.1.2. Soudage par point :	31
II.9.2. Précautions spécifiques :	31
II.9.2.1. Isolation des composants :	31
II.9.2.2. Équipements secs :	32
II.9.2.3. Mise à la terre :	32
II.9.3. Protection personnelle :	32
II.10. normes et réglementations :	33
II.10.1. Normes principales pour le soudage par point :	33
II.10.1. Points clés pour le soudage par point :	34
II.11. Futurs développements :	35
II.11.1. Tendances de l'industrie :	35
II.11.2. recherche et développement :	36
II.11.2.1. Principaux axes de développement en R&D pour le soudage par pointage :	36
Conclusion :	36

### **Chapitre III: Expérimentale, Conception et réalisation PS P**

Introduction :	39
III.1. OBJECTIF DE TRAVAIL :	39
III.1.1. Composants principaux de poste de soudage par point :	40
III.2. DESSIN D'ASSEMBLAGE :	58
III.3. Processus d'installation des pièces de la poste de soudage par point :	62
III.4 Illustrations de quelques produits techniques réalisés dans le cadre de notre projet :	64
Conclusion :	66
Conclusion générale :	69
Références Bibliographiques	

# ***INTRODUCTION GENERALE***

## **Introduction générale**

Le soudage par point est une méthode industrielle couramment employée pour joindre localement deux plaques métalliques en utilisant l'effet Joule. Cette technique implique de presser les feuilles entre deux électrodes faites d'alliage de cuivre, puis de faire circuler un courant électrique à haute intensité à travers ces électrodes. Le métal est localement fondu à l'endroit où les tôles sont en contact, ce qui forme un point de soudure résistant une fois refroidi.

Le premier transformateur de soudage, inventé par Eli hu Thomson en 1886 aux États-Unis, a marqué l'avènement de l'utilisation industrielle du soudage par résistance. Avec le temps, cette méthode s'est imposée comme indispensable dans divers domaines industriels, y compris la construction de voitures, la production de ponts et le soudage de tuyaux.

Un système de soudage par point standard comporte plusieurs éléments essentiels : un transformateur électrique qui réduit la tension et amplifie le courant au niveau requis pour le soudage, des électrodes en cuivre allié destinées à focaliser le courant sur un point spécifique, un dispositif de pression pour lier les pièces entre elles, ainsi qu'un mécanisme de contrôle qui régule la durée et l'intensité du courant de soudure.

L'élaboration d'une station de soudure par point mobile, répondant aux exigences des ateliers, s'appuie sur une analyse fonctionnelle minutieuse, mise en œuvre à travers des solutions techniques claires et réalisables avec des outils de conception assistée par ordinateur tels que SolidWorks. Cette approche favorise l'amélioration de la fiabilité, de la simplicité et de la capacité de production locale de l'appareil.

*CHAPITRE I*

**Technique de soudage**

**I.1.introduction**

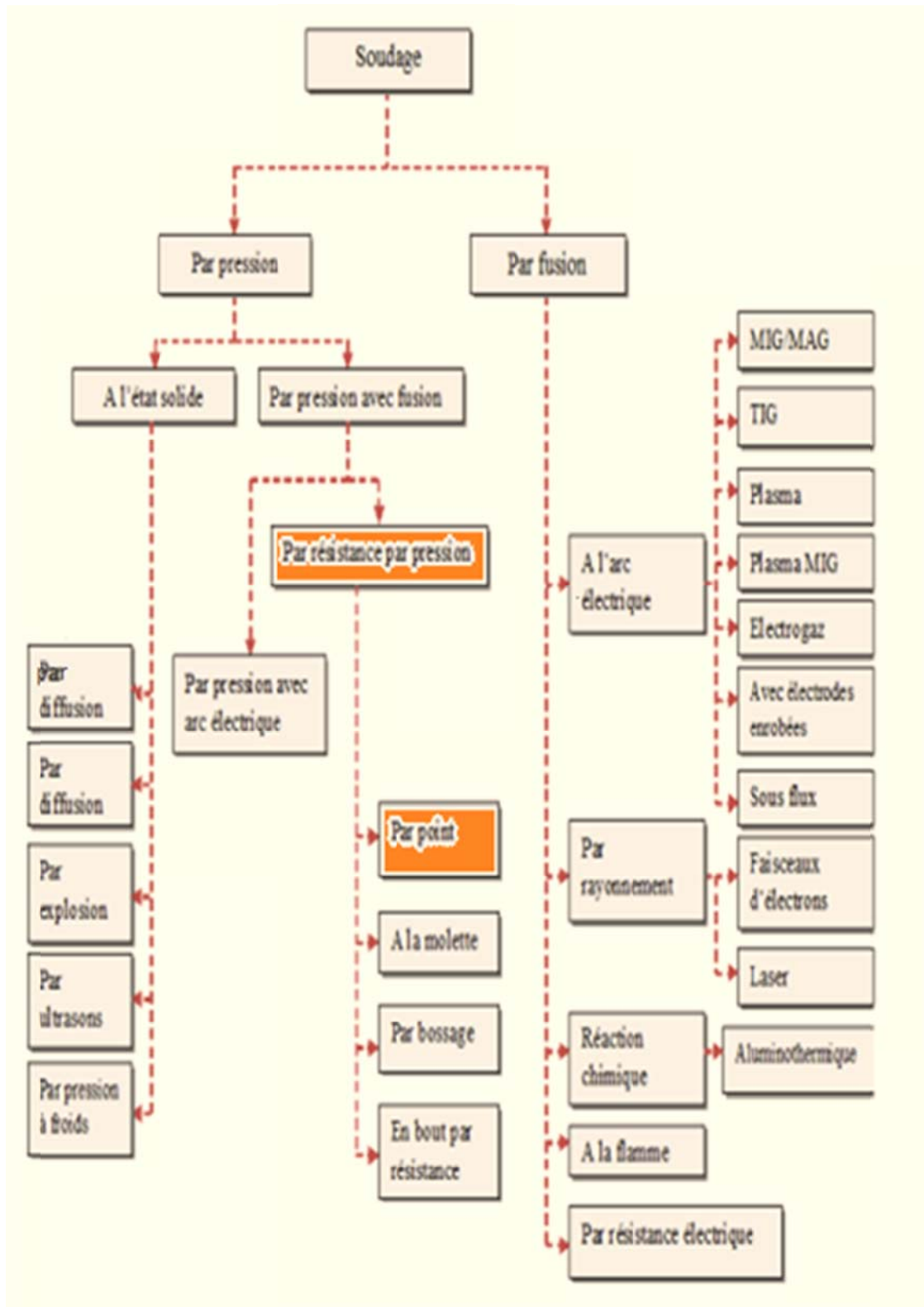
Parmi les différentes techniques d'assemblage utilisées dans l'industrie et le secteur du bâtiment, le soudage occupe une place de premier plan. Cette méthode est largement adoptée en raison de sa capacité à permettre la réalisation de structures adaptées aux exigences mécaniques et fonctionnelles qu'elles devront affronter durant leur utilisation. En effet, le soudage offre une grande liberté dans la conception des formes et assure une solidité optimale des assemblages.

Le soudage se définit comme un procédé d'union permanent qui permet de relier deux ou plusieurs éléments d'un assemblage. Cette opération vise à créer une continuité matérielle et mécanique entre les pièces à assembler. Elle peut être réalisée de différentes manières : par l'application de chaleur, par l'exercice d'une pression, ou encore par la combinaison de ces deux méthodes. Dans certains cas, on utilise également un métal d'apport, dont la température de fusion est proche de celle du matériau de base, afin de faciliter la jonction et de renforcer la solidité de l'assemblage obtenu. Le résultat final est une liaison durable et résistante, capable de supporter les efforts auxquels la structure sera soumise.

Acquérir et affiner les compétences techniques et pratiques nécessaires pour effectuer des soudures de haute qualité. Ceci comprend l'acquisition de diverses méthodes de soudage, une compréhension détaillée des matériaux, l'utilisation sécuritaire des appareils et la conformité rigoureuse aux normes actuelles relatives à la qualité, à la sécurité et à l'environnement. Le but ultime est de créer des assemblages robustes, fiables et pérennes, aptes à faire face efficacement aux défis mécaniques, thermiques et structurels auxquels on fait face dans les secteurs exigeants de l'industrie et de la construction.

I.2. Les procédés de soudage et de coupage :

La figure 1.1 montre la classification des procédés de soudage



(Fig. I. 1) :Organigramme des procédés de soudage les plus répandus. [1]

### I.3. Classification des procédés de soudage :

Toute tentative de classification des différents procédés de soudage est rendue difficile au regard des nombreuses variantes d'un procédé à l'autre. Par exemple, certains procédés où la pression est utilisée au cours du processus de soudage (soudage électrique par résistance par points) sont en fait, des procédés en phase liquide. [2]

#### I.3.1. Selon la source d'énergie :

Selon le type de la source d'énergie on distingue les énergies du type :

- Energie thermoélectrique.
- Energie thermochimique.
- Energie mécanique.
- Energie de focalisation.

Les sources d'énergie doivent être capables d'apporter, en un temps assez court, une grande quantité de chaleur en un point bien localisé. De gros progrès technologiques sont venus apporter une solution à ce problème au début du siècle, tout d'abord par l'emploi de la flamme oxyacétylénique puis de l'arc électrique. La classification des procédés de soudage en fonction des sources d'énergie se présente comme suit :

##### I.3.1.1 Energie électrique :

- ❖ Soudage à l'arc électrique sans protection gazeuse :
  - Avec électrode fusible (M.I.G).
  - Avec électrode réfractaire (T.I.G).
- ❖ Soudage à l'arc électrique sous flux solide avec électrode fusible.
- ❖ Soudage à l'arc électrique avec électrode enrobée.
- ❖ Soudage au plasma d'arc.
- ❖ Soudage à l'hydrogène atomique.
- ❖ Soudage par résistance électrique:

- Par recouvrement:
  - Sur bossage.
  - A la molette.
  - Par point.
- En bout ou en T :
  - Par étincelage.
  - Par résistance pure.
- ❖ Soudage par induction.
- ❖ Soudage par fer à souder ou plaque chauffante pour brasages tendres

### **I.3.1.2 Energie chimique :**

- ❖ Soudage à la flamme, spécifié par la nature de la flamme. Ex. : soudage oxyacétylénique.
- ❖ Soudage par réaction exothermique. Ex. : Aluminothermie
- ❖ Soudage avec lampe à souder pour brasages tendres.

### **I.3.1.3 Energie mécanique :**

- ❖ Soudage à la forge.
- ❖ Soudage par ultrasons.
- ❖ Soudage par friction.
- ❖ Soudage par pression.

### **I.3.1.4 Energie focalisée :**

- ❖ Soudage au rayon laser.
- ❖ Soudage par bombardement électronique sous vide.

### I.3.2. Selon l'état du métal pendant le soudage :

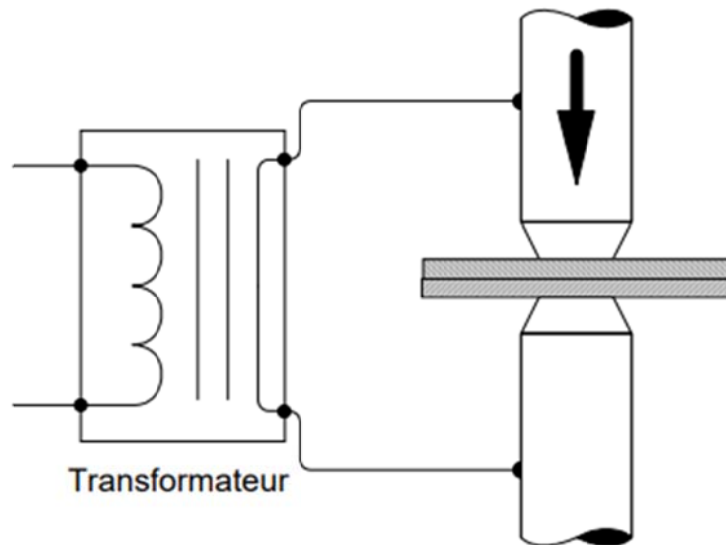
Selon l'état du métal pendant et à l'endroit du soudage on distingue.

#### I.3.2.1. Le soudage par fusion :

Il consiste à porter à fusion les bords des pièces à souder à l'aide d'une source d'énergie tels que l'arc électrique, la flamme de gaz, la réaction chimique, l'énergie de rayons laser, le jet de plasma, etc. Sous l'action de la chaleur les bords du métal sont fondus et établissent une liaison entre eux ou encore avec un métal d'apport, ainsi formant le bain de fusion, lequel après solidification constitue la soudure. [2]

#### I.3.2.2. Soudage à résistance électrique :

Définition Dans ce procédé, la soudure résulte à la fois de la chaleur générée par le passage d'un courant électrique (effet Joule) et de la pression exercée aux points de contact des électrodes. Ces électrodes sont en général constituées de cuivre ou d'un alliage de cuivre et de béryllium. Aucun métal d'apport ou flux n'est utilisé. Figure I. 2. [2]



(Fig. I. 2) : Principe du soudage par points. [3]

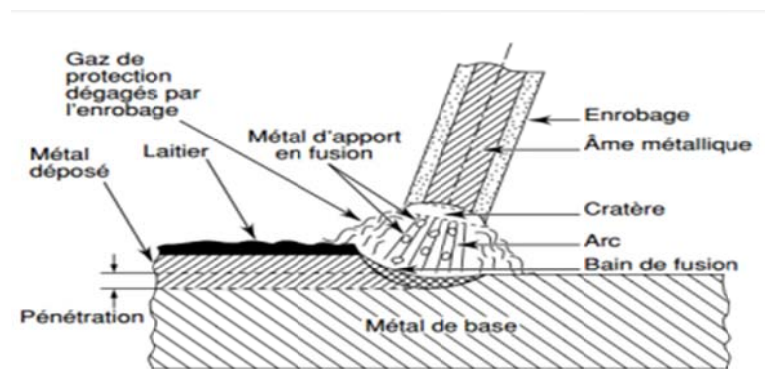
Il existe de nombreuses variantes à cette technique de soudage tel que le soudage par molette qui est une variante du précédent, ici les électrodes sont remplacées par des molettes tournantes ce qui permet un soudage continu ou discontinu très rapide.

### I.3.3. Description de divers procédés de soudage :

Actuellement il existe plusieurs dizaines de procédés de soudage et parmi lesquels on peut citer. [2]

#### I.3.3.1. Soudage à l'arc électrique :

Le soudage à l'arc avec électrode enrobée (SMAW) communément appelé soudage à la baguette ou électrode enrobée, est un procédé de soudage manuel dans lequel un arc électrique est créé entre une électrode fusible enrobée de flux et la pièce à souder. Ce procédé utilise la décomposition du revêtement de flux pour générer un gaz de protection et fournir des éléments de flux afin de protéger les gouttelettes de métal fondu ainsi que le bain de soudure. [4]

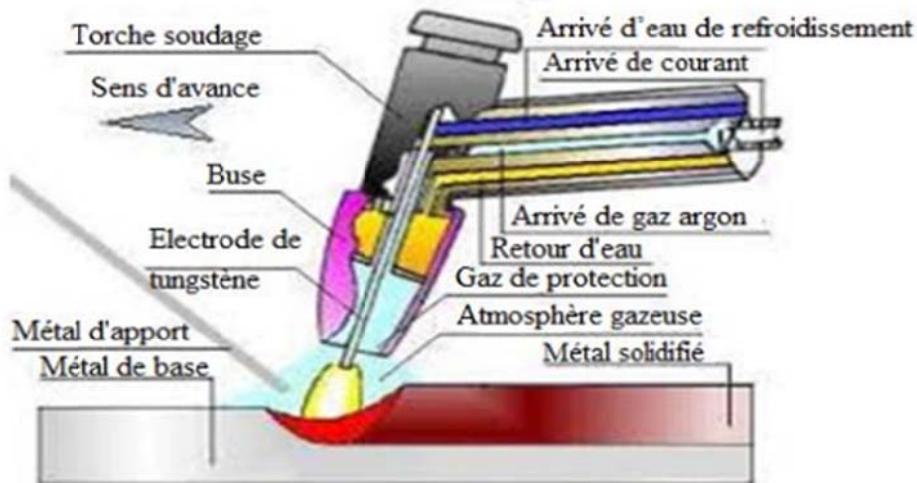


(Fig. I. 3) : Principe de soudage à l'arc avec électrodes enrobées (SMAW) [5].

#### I.3.3.2. Le soudage TIG (Tungsten Inert Gas) :

Un bouclier gazeux empêchant l'air ambiant de venir en contact avec l'opération de soudure. La torche de soudage Le soudage TIG (Tungstène Inerte Gaz) ou GTAW (Gaz Tungstène Arc Welding) aux USA, utilise une électrode non consommable constituée d'une pointe de tungstène (de  $\varnothing$  1,0 mm à  $\varnothing$  8,0 mm) portée par une torche dotée d'une arrivée annulaire de gaz inerte (Argon ou Argon + Hélium pour les procédés automatiques). Ce gaz protège l'arc électrique et le bain de fusion de l'atmosphère externe durant le soudage. Si un métal d'apport est nécessaire, il est amené manuellement ou automatiquement avec un dévidoir dans le bain de fusion. L'énergie calorifique de l'arc fait fondre localement les pièces à assembler et le métal d'apport pour constituer le bain de fusion et après refroidissement le cordon de soudure. Le principe de soudure TIG est simple en soi puisque la torche électrique est conçue pour alimenter un jet de gaz inerte. Ce jet vient envelopper l'arc électrique à la pointe de l'électrode et créer est reliée à la borne électrique de sortie négative du générateur de

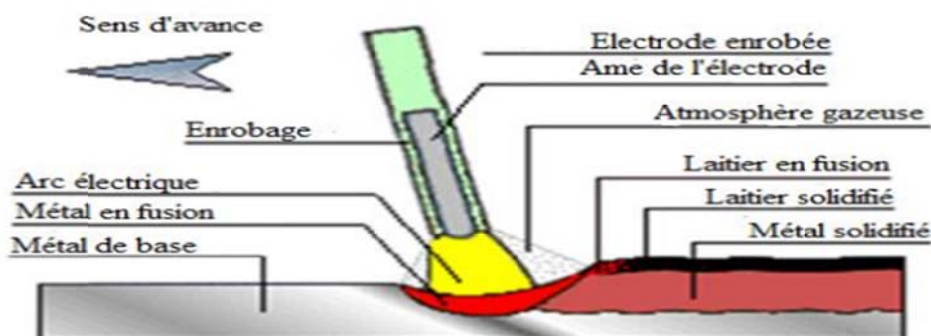
soudage à courant continu ou alternatif. La masse est placée sur la pièce à souder et reliée à la borne positive du générateur. L'alimentation en gaz de soudage est obtenue par le branchement sur le poste d'une bouteille munie d'un détendeur / débitmètre. [6]



(Fig. I. 4) : Procédé de soudage TIG (avec sa torche) [7]

### I.3.3.3. Soudage avec électrode enrobée :

Le procédé de soudage à l'arc avec électrode enrobée est relativement simple. Un poste à souder, généralement à courant constant, est connecté à une électrode enrobée et à une pièce de métal à souder, ce qui provoque la création d'un arc électrique, libérant l'énergie nécessaire pour fondre le métal d'apport (contenu dans l'électrode) sur le métal à souder. Le flux recouvrant l'électrode sert à protéger le bain de fusion de la contamination atmosphérique. [8]

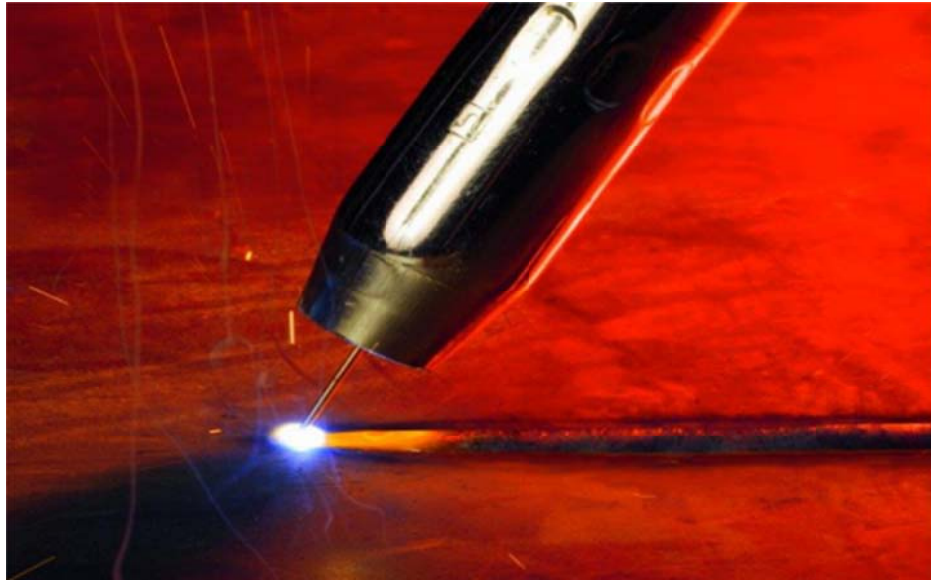


(Fig. I. 5) : Principe de soudage à l'arc avec électrodes enrobées. [8]

### **I.3.3.4. Soudage MIG (METAL INERT GAS) :**

M.I.G.: Ce procédé utilise un gaz "neutre" pour souder les aciers fortement alliés et les métaux non-ferreux.

Gaz neutres: Argon (gaz de base des mélanges) et Hélium (en mélange). [7]



(Fig. I. 6) : Soudage MIG. [9]

### **I.3.3.5. Soudage avec fil électrode sous flux en poudre :**

Même procédé que le procédé M.I.G, seulement ici, la protection du bain se fait par un flux en poudre.

## **I.4. Classification selon la nature de matière ajoutée :**

### **I.4.1. Soudage même nature entre le métal d'apport et le métal de la base :**

La classification des procédés de soudage selon la nature de la matière ajoutée peut être abordée en distinguant principalement deux types de soudure : la soudure homogène et la soudure hétérogène. [10]

#### **I.4.1.1. Soudure Homogène :**

La soudure homogène utilise un matériau d'apport qui est de la même nature que les pièces à souder. Cela signifie que le métal de base et le métal d'apport ont des propriétés

chimiques et physiques similaires. Ce type de soudure est souvent utilisé pour maintenir l'intégrité du matériau et ses propriétés mécaniques. [10]

Exemples de procédés de soudure homogènes incluent :

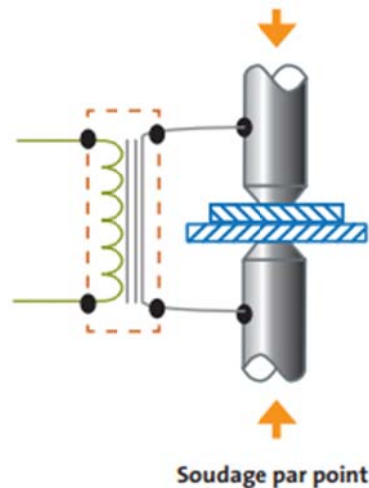
#### A. Soudage Oxyacétylénique :

##### Définition :

Le soudage Oxyacétylénique est un procédé de soudure à la flamme. Le soudage est réalisé à partir de la chaleur d'une flamme née de la combustion d'un gaz combustible l'acétylène -C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> avec un gaz comburant d'oxygène -O<sub>2</sub>. La température de la flamme peut atteindre les 3200 ° Celsius, lorsque le mélange C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> et O<sub>2</sub> est correctement équilibré dans le chalumeau. Le métal d'apport (baguette de fil dressé de Ø 0,8 mm à Ø 4,0 mm) est amené manuellement dans le bain de fusion. On peut souder « en bord à bord ». L'énergie calorifique de la flamme fait fondre localement la pièce à assembler et le fil d'apport pour constituer le bain de fusion et après refroidissement le cordon de soudure. [10]

##### Soudage par Résistance :

Le soudage par point fait partie de la famille des procédés de "soudage par résistance", au même titre que le soudage à la molette, par bossages, ou en bout. Il est utilisé pour assembler deux tôles (ou plus) dont l'épaisseur est typiquement comprise entre 0,5 et 10 mm. Signalons que ces deux tôles peuvent avoir - même si ce n'est généralement pas le cas au CRDM - des caractéristiques différentes (composition, revêtement), et qu'elles n'ont pas forcément la même épaisseur. Historiquement, ce fut l'Américain Thomson qui eut, en 1877, l'idée d'assembler deux tôles d'acier en utilisant, comme agent de chauffage, l'effet de la traversée de l'assemblage par un courant électrique de forte intensité. [3]



(fig. I. 7) : Soudage par point. [11]

### B. Soudure Hétérogène :

La soudure hétérogène utilise un matériau d'apport qui est différent de celui des pièces à souder. Cela est pratique lorsque les pièces à assembler sont de natures différentes ou lorsque l'on souhaite changer certaines propriétés du joint. [12]

Exemples de procédés de soudure hétérogènes incluent :

#### ✚ Brasage :

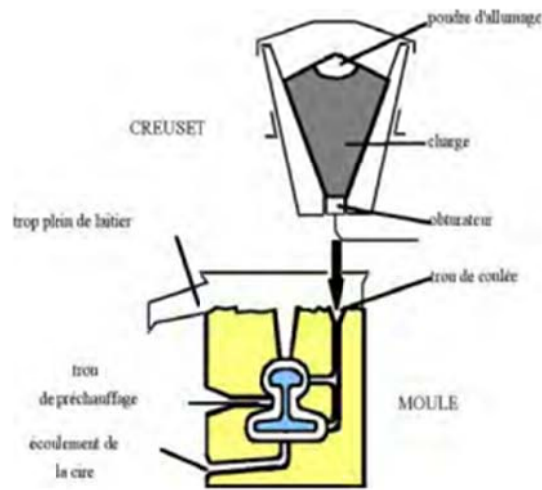
Le brasage fort est un procédé d'assemblage qui assure la continuité métallique des métaux de base à assembler en les chauffant avec une flamme oxy-combustible à une température convenable et en utilisant un métal d'apport dont le liquide est supérieur à 450° C et inférieur au solidus des métaux de base. Les pièces doivent être conçues de manière à assurer au métal d'apport un espace capillaire. Il s'agit donc d'assemblages réalisés par emboîtement ou recouvrement. Le métal d'apport, d'une grande fluidité, pénètre par capillarité entre les surfaces des joints soigneusement nettoyés et ajustés. Il s'agit d'un assemblage hétérogène puisqu'il n'y a pas de continuité chimique entre le métal d'apport et les pièces à assembler. [12]

## I.4.2. Soudure avec Matériau d'Apport Différent :

### I.4.2.1. Principe du procédé de soudage mis en œuvre :

L'énergie calorifique, nécessaire à la fusion des bords à assembler, est fournie par une réaction chimique exothermique. La technique consiste à faire réagir un mélange d'oxydes

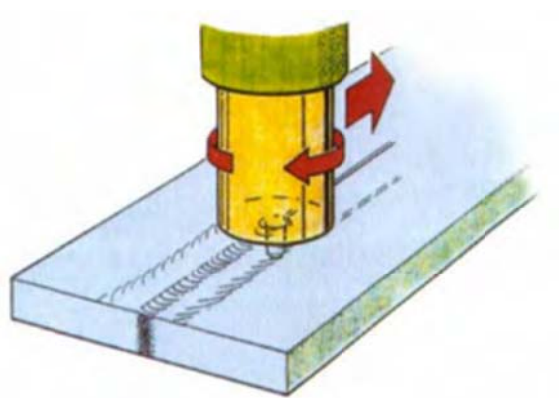
métalliques et de poudre d'aluminium contenu dans un creuset. Pour le soudage de l'acier, c'est avec l'oxyde ferrique que l'on obtient les meilleurs résultats. La réaction dégage une grande quantité de chaleur qui fait fondre les produits de la réaction et donne du fer liquide que l'on verse dans un moule contenant les extrémités des pièces à assembler. [12]



(Fig. I. 8): Soudage par aluminothermie [12]

#### I.4.2.2. Soudage par friction malaxage (Friction Stir Welding, FSW) :

La chaleur est fournie au métal de base par friction, forgeage et extrusion du métal par un pion fixé sur une embase qui tourne dans le plan de joint des pièces à assembler. Une couche de métal sous forme plastique et pâteuse est formée sous l'embase et autour du pion. Ce procédé qui réalise l'assemblage à une température inférieure à la température de fusion du métal à assembler déforme moins que les procédés par fusion.



(Fig. I. 9) : Soudage par friction malaxage. [12]

**I.4.2.3. Autres Classifications :**

En plus de cette classification, les procédés peuvent être groupés par leur source d'énergie (arc électrique, flamme, laser, etc.) ou par le type de protection utilisé (gaz inerte, flux, vide). Chaque technique présente ses propres avantages et inconvénients, qui dépendent du matériau à souder, de la précision requise et des coûts impliqués.

**Conclusion:**

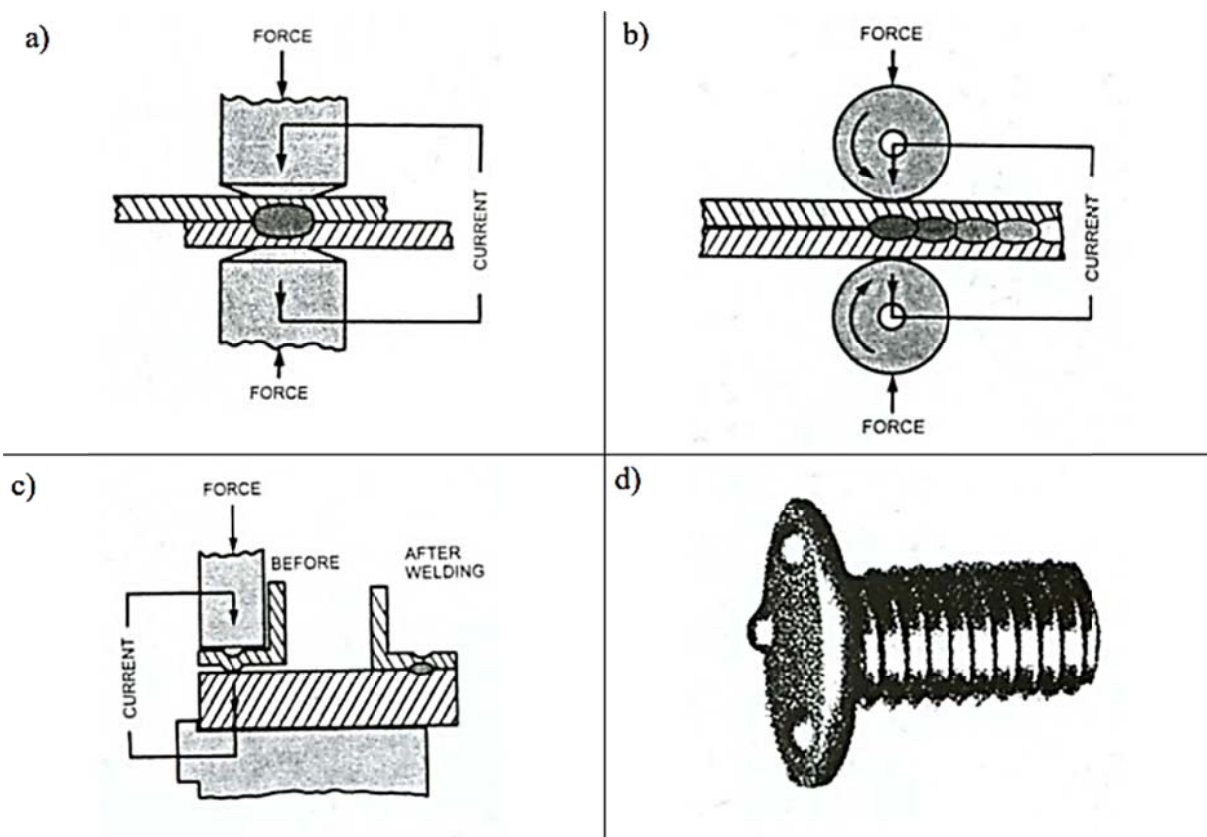
Les techniques de soudage sont variées et adaptées à différents besoins industriels. La sélection du procédé approprié dépendra des matériaux à assembler, des conditions d'utilisation et des exigences spécifiques du projet. L'évolution constante des technologies de soudage continue d'améliorer l'efficacité et la qualité des assemblages métalliques dans divers domaines.

*CHAPITRE II*  
**soudage par point**

**II.1. Introduction au Procédé de Soudage par Résistance Électrique :**

Le soudage par résistance est un procédé simple et rapide, qui produit la chaleur grâce à la résistance électrique à l'interface en appliquant un effort de serrage, et une forte intensité électrique. C'est un procédé de soudage sans atmosphère protectrice.

La première technique du soudage par résistance électrique était le soudage par points inventée par Pr. Elihu Thomson en 1877. Puis, la première machine de soudage a été construite et brevetée en 1885-[1]. Les raisons pour lesquelles le soudage par point est largement répandu dans l'industriel automobile sont le faible coût de fabrication par rapport à la qualité de l'assemblage obtenu, et l'automatisation de procédé. Environ 3000-4000 points soudés par ce procédé se trouvent dans une structure caisse en blanc-[13].



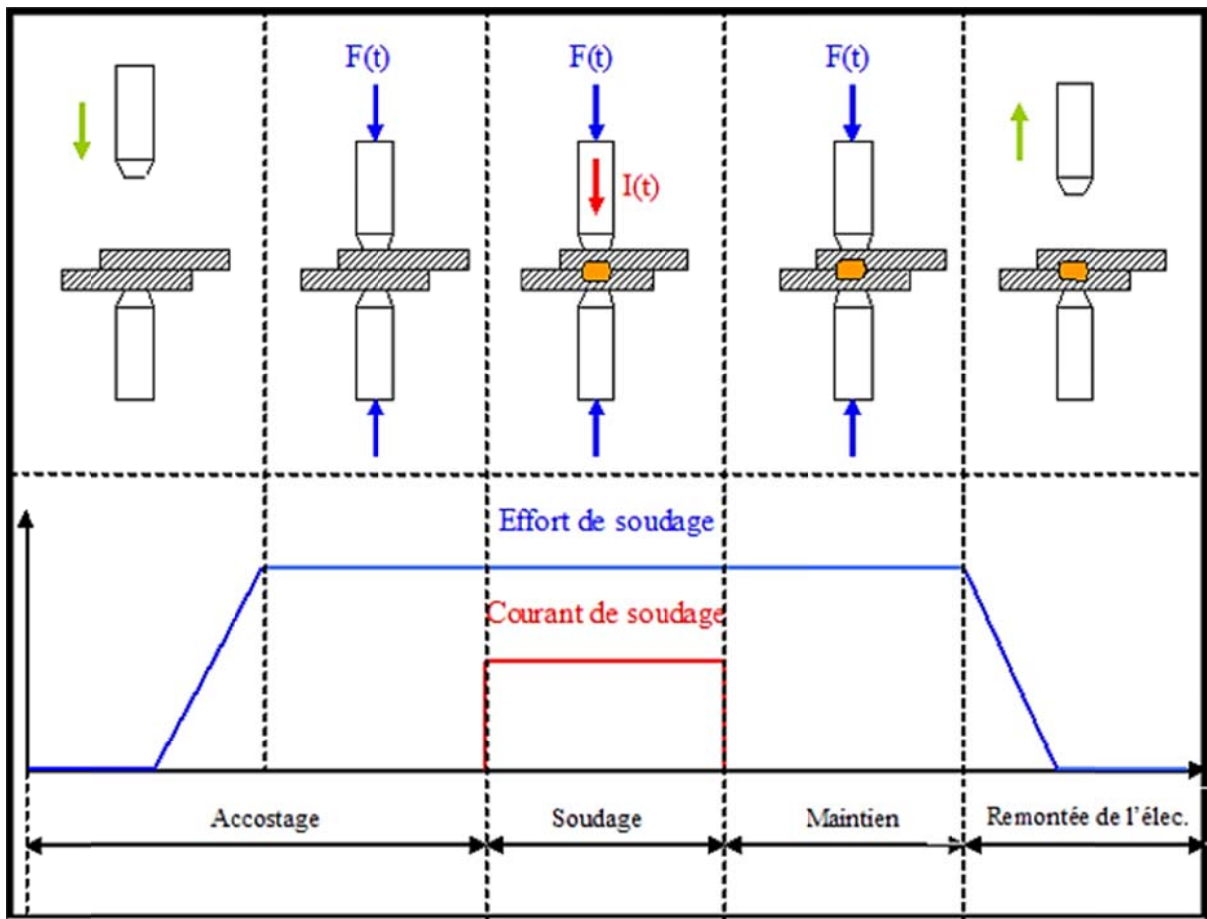
(Fig.II. 10): Procédés de soudage par résistance électrique, a) soudage par point, b) soudage à la molette, c) soudage par bossage, et d) soudage par bossage pour un goujon-(Threaded stud with projection welding)

Les procédés de soudage par résistance électrique incluent le soudage par point, le soudage à la molette, et le soudage par bossage. Typiquement pour ces procédés, des électrodes en cuivre sont utilisées pour passer le courant et pour appliquer l'effort de serrage. Les paramètres de soudage sont l'intensité, le temps, l'effort, et l'électrode. La plupart de ces procédés se réalisent par l'usage du courant AC monophasé avec une forte intensité, qui est l'ordre de dizaine de kilo-Ampère. Le courant DC "moyenne fréquence" s'envisage également dans la pratique.

Pour le soudage à la molette, les molettes sont en cuivre et fonctionnent comme des électrodes, qui sont un passage d'intensité en serrant des pièces. Les pièces des tôles sont mises bout à bout et la soudure continue se fait par le mouvement de rotation des électrodes (Fig. II. 11). Ce procédé est commode dans l'industrie automobile, erg. la fabrication de réservoir de carburant.

Le soudage par bossage illustré sur la Fig. 1.1c nécessite que des pièces soient préalablement forgées pour préparer des points de concentration de courant entre des pièces. Les électrodes utilisées dans ce procédé sont usinées avec une dimension précise, qui permet de localiser précisément les points de bossage. Le noyau se produit lorsque l'intensité passe avec l'effort de serrage.

Un procédé dérivé du soudage par bossage est le « resistance stud welding », (Fig.II.12). Dans ce cas, le "stud" ou goujon doit être usiné pour créer, typiquement, deux ou trois points de contact. La hauteur des points de bossage doit être précise afin d'obtenir une pression uniforme lorsqu'un effort est appliqué.



(Fig.II. 12): Représentation schématisée des phases du procédé de soudage par point.

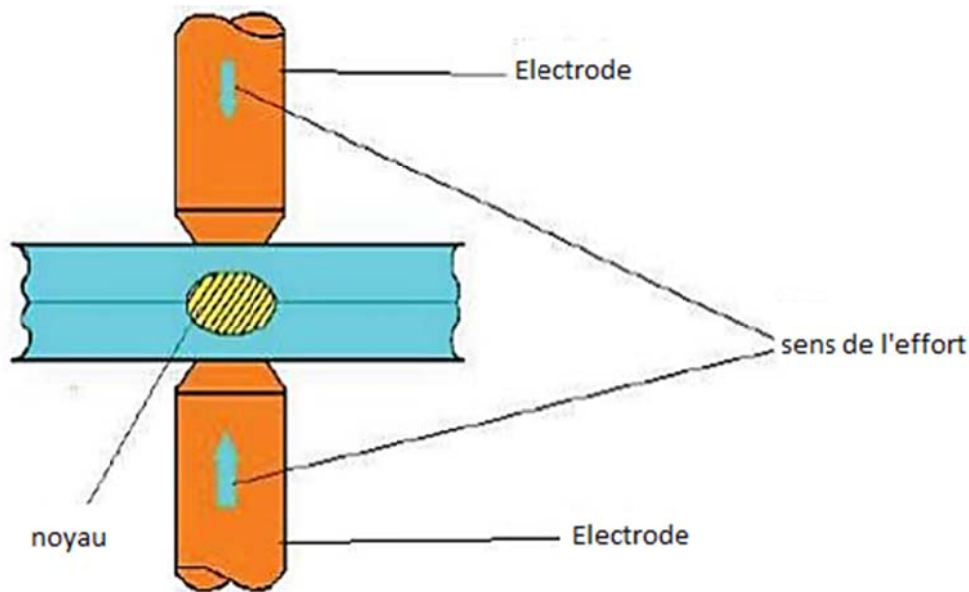
Dans la première partie de ce chapitre, nous précisons les produits étudiés en détaillant des caractéristiques métallurgiques dans la zone affectée thermiquement-(ZAT) ainsi que dans le noyau. Un exemple dans le cas d'assemblage hétérogène sera présenté.

En ce qui concerne la simulation numérique du soudage par point plus précisément des différents aspects introductifs, qui incluent la chronologie de développement des modèles numériques, des paramètres principaux nécessite pour un modèle, sera présentée dans la deuxième partie de ce chapitre.

## II.2. Principe du soudage :

Le procédé de soudage est un procédé à chaud, sous pression et sans métal d'apport. Il consiste à échauffer localement les pièces par passage d'un courant électrique. La technique la plus utilisée est le soudage par résistance par points. Dans ce cas, les pièces à souder sont superposées et serrées localement entre deux électrodes et l'ensemble est traversé par un courant de soudage qui provoque une élévation de température.

L'échauffement provoque la fusion localisée des deux pièces dans la zone située entre les deux électrodes, suivi de la formation d'un noyau de métal recristallisé. Il existe plusieurs procédés dérivés, on peut citer le soudage à la molette, le soudage par bossage ou le soudage en bout, procédés qui seront également abordés dans future travaux. Le point commun de ces procédés est qu'ils utilisent l'effet Joule, s'est-il dire qu'ils exploitent le phénomène Del 'échauffement d'un conducteur parcouru par un courant électrique. Pour rappel, dans un circuit électrique, la chaleur dégagée par chaque élément est proportionnelle à  $(R.I^2.T)$ . [14]



(fig. II. 13): représente cycle thermique de soudage par résistance. [14]

### II.2.1. Électricité et Résistance :

L'électricité et la résistance sont deux concepts fondamentaux en physique. L'électricité se manifeste par le mouvement de charges électriques, tandis que la résistance est une propriété des matériaux qui s'oppose à ce mouvement. Voici quelques points clés sur leur relation :

- A. Résistance électrique :** Elle est mesurée en ohms ( $\Omega$ ) et dépend de la capacité d'un matériau à laisser passer le courant. La résistance convertit une partie de l'énergie électrique en chaleur, un phénomène connu sous le nom d'effet Joule. Loi d'Ohm : Cette loi établit une relation entre la tension (V), le courant (I) et la résistance (R) :

$$U = R \times I$$

Elle permet de calculer l'une de ces variables si les deux autres sont connues. [15]

**B. Applications :** La résistance est cruciale pour contrôler le courant dans les circuits et éviter les surcharges, tout en générant parfois de la chaleur de manière intentionnelle, comme dans les radiateurs électriques. [15]

### **II.2.2. Chauffage par Résistance :**

Le chauffage par résistance est un processus qui convertit l'énergie électrique en chaleur en faisant passer un courant électrique à travers un matériau présentant une résistance électrique élevée. Ce processus est régi par la loi de Joule, qui stipule que la chaleur produite est proportionnelle au carré du courant, à la résistance du matériau et à la durée du courant ( $H=I^2Rt$ ). [4]

### **II.2.3. Types de Chauffage par Résistance :**

**A. Chauffage par résistance directe :** Le matériau à chauffer sert de résistance, et le courant passe directement à travers lui. Cela est souvent utilisé pour chauffer uniformément des métaux ou des liquides. [15]

**B. Chauffage par résistance indirecte :** Le courant passe par un élément chauffant, et la chaleur est transférée au matériau par conduction, convection ou radiation. C'est couramment utilisé dans les fours industriels et les appareils de chauffage domestiques. [15]

## **II.3. Types de Soudage par Résistance :**

### **II.3.1. Soudage par Point :**

Le soudage par point par résistance est un procédé dans lequel des surfaces en contact sont assemblées en un ou plusieurs points grâce à la chaleur générée par la résistance au passage d'un courant électrique à travers les pièces maintenues sous pression par des électrodes. Les surfaces en contact, dans la zone de concentration du courant, sont chauffées par une impulsion brève de courant basse tension et haute intensité, formant ainsi un noyau fondu de métal soudé. Lorsque le courant cesse, la force des électrodes est maintenue pendant que le métal se refroidit et se solidifie rapidement. Les électrodes sont ensuite rétractées après chaque soudure, une opération généralement réalisée en une fraction de seconde.

Le soudage par point est la technique d'assemblage la plus répandue pour les produits en tôle, tels que les structures de carrosseries automobiles (body-in-white), les appareils électroménagers, les meubles, les produits de construction, les boîtiers et, dans une moindre mesure, certains composants aéronautiques.

De nombreux assemblages de deux ou plusieurs pièces embouties en tôle, ne nécessitant pas d'étanchéité aux gaz ou aux liquides, peuvent être soudés par RSW de manière plus économique et plus rapide que par des méthodes mécaniques. Les conteneurs sont souvent soudés par points. L'ajout de supports, de pattes, de plaques ou de clips à des pièces en tôle emboutie (comme des boîtiers, des couvercles, des bases ou des plateaux) est une autre application courante du RSW.

Les principaux avantages du soudage par points incluent :

- Des vitesses de production élevées,
- Une adaptation aisée à l'automatisation ou à la robotisation,
- La possibilité d'intégration dans des lignes d'assemblage à haut rendement combinées à d'autres opérations de fabrication.

Grâce au contrôle automatique du courant, du temps de soudage et de la pression des électrodes, des soudures par points de qualité peuvent être produites de manière constante à des cadences élevées et avec des coûts de main-d'œuvre réduits, même avec des opérateurs semi-qualifiés.

La plupart des métaux peuvent être soudés par résistance si l'équipement approprié est utilisé avec des paramètres adaptés. Cela est particulièrement vrai pour les produits en tôle ou en bande d'acier, qu'ils soient revêtus ou non. [15]

### **II.3.1.1. Fournitures :**

#### **A. Le transformateur :**

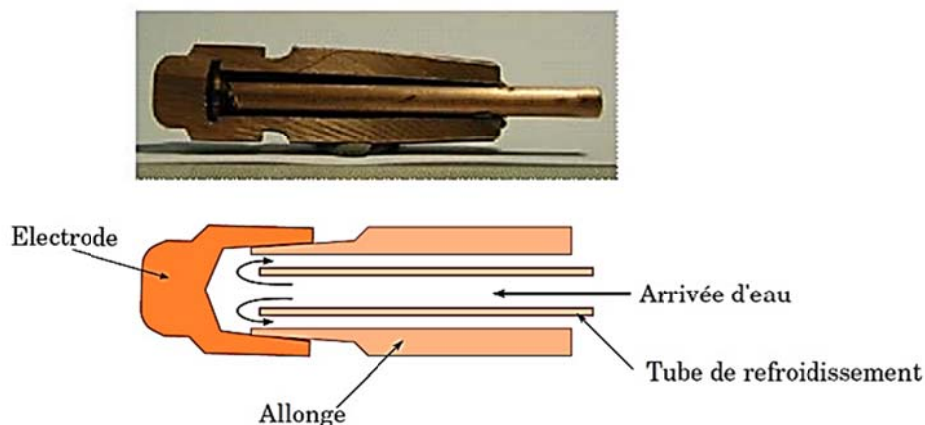
Un transformateur électrique est nécessaire pour convertir le courant délivré par le réseau et l'amplifier pour atteindre l'intensité nécessaire pendant plusieurs centaines de milliseconde. Les machines peuvent délivrer soit un courant alternatif (AC), soit un courant continu (DC). Les premières, qui délivrent un courant de fréquence 50 Hz, sont les plus anciennes et les plus répandues. Les secondes, nouvelles générations de soudeuse, utilisent un courant redressé et

lissé à 1 000 Hz (MFDC pour Medium Fréquence Direct Curent). De nombreuses études ont été réalisées avec des machines AC ([16], [17], [18], [19]) notamment sur des phénomènes d'usure des électrodes sur des tôles galvanisées. Deux études ([20], [21]) ont montré que les machines MFDC présentent plusieurs avantages : elles nécessitent moins d'énergie pour former un noyau dans des conditions équivalentes ; les noyaux formés sont plus homogènes et le risque d'expulsion est diminué grâce à un échauffement moins brusque.

### B. Les électrodes :

Pour que la formation d'un point soit correcte, les électrodes doivent avoir une faible résistance électrique au passage du courant, être conductrices thermiquement pour assurer un bon refroidissement et résister à la forte pression de contact imposée lors de l'accostage. Pour souder de l'acier, les électrodes sont en alliage de CuCrZr dans l'état trempé-revenu qui leur confère une bonne résistance mécanique. Les électrodes sont refroidies par un circuit d'eau pour limiter leur dérive thermique lors de l'enchaînement des points.

Avec le développement des aciers revêtus, des phénomènes d'usure prématurée des électrodes sont apparus ([19], [22]). Il est donc de plus en plus courant d'utiliser des électrodes avec des embouts amovibles. Par abus de langage, les embouts sont appelés électrodes. Les supports des électrodes peuvent être débouchant (Fig.II.13), ce qui permet un refroidissement direct plus efficace en cas de cadence de soudage élevée.



(Fig. II. 14): Photo et schéma du circuit de refroidissement d'une électrode [18].

Il existe des électrodes de formes et de tailles différentes selon la norme ISO 5821 [23] . Certains constructeurs automobiles utilisent également des géométries spécifiques. Les électrodes se différencient par le diamètre et le rayon de courbure de leur face active convexe.

**II.3.2. Soudage par lignes :**

Une ligne de soudure, aussi désignée sous le terme de ligne de tricotage, représente l'étape du processus de moulage où deux fronts d'écoulement se rencontrent. Cette ligne est souvent visible lorsque ces bords ne peuvent pas être « fusionnés » ou mélangés en douceur. Les traces de soudure, souvent visibles près des orifices ou des obstructions, indiquent des zones vulnérables dans la pièce moulée.

**II.3.3. Soudage par électrodes :**

Le soudage à l'arc avec électrode enrobée est le procédé de soudage le plus couramment employé pour les travaux d'entretien et de réparation. Dans ce procédé, on fait jaillir un arc électrique entre le bout de l'électrode et le métal à souder. L'électrode est constituée d'une âme métallique (métal d'apport), recouverte de flux ou d'un revêtement (enrobage). L'électrode fond au fur et à mesure de l'opération de soudage.

Le flux protège de l'air ambiant les ions métalliques de l'arc et assure ainsi la stabilité de l'arc. A mesure que le flux fond, il dégage des fumées et dépose un laitier protecteur sur le métal en fusion. Ce type de soudage est utilisé pour les travaux d'entretien et de réparation effectués sur l'acier doux, l'acier inoxydable, l'aluminium et les métaux non ferreux. Dans les ateliers de soudage, ce type de soudage est peu utilisé.

Le soudage à l'arc avec électrode enrobée tend à être remplacé par le soudage MIG MAG.

**II.4. Matériaux utilisés :****II.4.1. Introduction :**

Le choix des matériaux pour les applications de construction soudée implique de nombreuses considérations, notamment les codes et spécifications de conception, lorsqu'ils existent. Les structures mobiles, telles que les automobiles et les véhicules aérospatiaux, ont des exigences de poids, de durabilité et de sécurité très différentes de celles des structures fixes, telles que les bâtiments et les ponts, qui sont construites pour durer de nombreuses années. Dans chaque situation de conception, les aspects économiques – le choix du matériau adapté au cycle de vie de la pièce et à son coût de fabrication – sont d'une importance capitale.

Les codes de conception ou l'expérience constituent souvent une base adéquate pour le choix des matériaux. Cependant, pour les applications nouvelles ou spécialisées, l'ingénieur rencontre

des problèmes inhabituels et doit donc s'appuyer sur les propriétés fondamentales du matériau, telles que la résistance mécanique, la résistance à la corrosion ou à l'érosion, la ductilité et la ténacité. Les propriétés des différentes structures métallurgiques associées aux cycles thermiques rencontrés lors de l'opération de soudage doivent également être prises en compte dans le processus de conception. Les différentes sous-sections de ce travail offrent des conseils pour le choix des matériaux dans les applications suivantes : ponts et bâtiments, appareils à pression et tuyauteries, construction navale et structures offshore, systèmes aérospatiaux, machines et équipements, automobiles, systèmes ferroviaires et tôlerie. Les propriétés des matériaux et les procédés de soudage pouvant contribuer à l'atteinte des objectifs de conception sont décrits. [4]

### **II.4.2. Acier inoxydable :**

Les ACIERS INOXYDABLES constituent une classe importante d'alliages techniques utilisés sous forme corroyée et moulée pour une large gamme d'applications et dans de nombreux environnements. Largement utilisés dans la production d'énergie, l'industrie papetière et l'industrie chimique, les aciers inoxydables sont également utilisés dans de nombreux produits ménagers et commerciaux du quotidien.

L'utilisation répandue des aciers inoxydables et leur importance dans les technologies industrielles critiques ont donné lieu à des recherches approfondies sur leur soudabilité et leur intégrité en service. Les sections de ce travail ont pour objectif d'aider le lecteur à choisir les aciers inoxydables en fonction de ces critères. [24]

#### **A. Acier :**

L'acier est un alliage de fer contenant moins de 2 % de carbone. Il peut être répertorié selon cette teneur en carbone qui fixe son niveau de dureté maximale à l'état trempé. Un acier de haute teneur en carbone sera employé pour sa grande dureté alors qu'un acier de teneur plus faible est moins dur et plus malléable. Il contient généralement de petites quantités d'autres éléments que le fer et le carbone, incorporés, volontairement ou non. Au cours de son élaboration. On peut également y ajouter des quantités plus importantes d'éléments d'alliage il est considéré alors comme un acier allié. [24]

**B. Aluminium :**

Les alliages d'aluminium therm durcissables offrent une bonne résistance et une bonne ténacité dans les applications techniques, tout en conservant la faible densité et la résistance à la corrosion de l'aluminium. Ces caractéristiques permettent à ces alliages therm durcissables d'être utilisés dans une grande variété d'applications, notamment dans l'aérospatiale, les transports, la construction navale, les réservoirs, la tuyauterie et l'électroménager. La plupart de ces alliages sont facilement soudables par les procédés de soudage à l'arc conventionnels (arc gaz-métal et arc gaz-tungstène), par résistance par points et à la molette, ainsi que par les procédés à haute énergie (soudage laser et par faisceau d'électrons. [25]

**C. Cuivre et laiton :**

Le Cuivre est un élément chimique de symbole Cu et de numéro Atomique 29. Se produit naturellement dans la croûte terrestre et est essentiel à toute forme de développement Vie. En dehors de l'or, le Cuivre pur est le seul métal non ferreux. IL présente sur sa surface fraîche Nuance rose saumon. On l'appelle aussi "métal rouge". Le Cuivre est un ductile conducteur Les charges électriques et thermiques sont particulièrement élevées, ce qui lui confère une variété d'utilisations. Il a participé Il est également utilisé comme un Matériau de construction et comme ingrédient dans de nombreux alliages. [26]

**D. Magnésium :**

Le magnésium pur a un poids spécifique de 1,74 g/cm<sup>3</sup>. C'est donc un métal très léger, ayant, eu égard à son poids, une résistance mécanique assez élevée il est facile à usiner et a souder. Ce métal fond à 650° C et bout à 1109° C. En passant de l'état liquide à 650° C à l'état solide à la température ambiante, sa contraction totale est de l'ordre de 9% en volume. S'il est chauffé dans l'air, le magnésium s'oxyde aussitôt en son oxyde est très réfractaire de sorte que son soudage nécessite une très bonne protection contre l'oxygène de l'air. Les gaz inertes sont tout indiqués pour remplir ce rôle. [27]

**II.5. Processus de soudage :****II.5.1. Préparation des surfaces :**

Les pièces peuvent être réalisées à partir de métaux ou alliages laminés, étirés, forgés, matricés, coulés. L'aspect de leur surface pourra être différent si elles sont brutes d'élaboration

ou usinées. Dans le premier cas, on notera la présence d'oxydes, dans le deuxième cas, ces pièces pourront être imprégnées d'huile. D'autre part, s'il s'agit de pièces ayant déjà travaillé, leurs surfaces pourront être souillées ou attaquées par les produits avec lesquels elles entrent en contact.

Tous les résidus: les fissures, doivent être éliminées avant soudage. [28]

## **II.5.2. Paramètres des soudages :**

### **II.5.2.1. L'effort de soudage :**

Dans l'ordre chronologique, l'effort de soudage est la première variable entrant en jeu puisqu'elle intervient dès la phase d'accostage. La valeur à appliquer (de l'ordre de quelques centaines de daN pour des produits d'épaisseur inférieure à 1 mm) dépend essentiellement des caractéristiques mécaniques et de l'épaisseur des tôles à souder. Dans la pratique, la courbe de mise en effort n'est pas linéaire, mais dépend des caractéristiques de la machine à souder. [3]

### **II.5.2.2. Le courant de soudage:**

Le courant de soudage est évidemment un paramètre décisif, car il intervient au carré dans l'énergie dissipée par effet Joule. L'intensité efficace à délivrer (typiquement entre 5 et 20 kA) dépend, là encore, des propriétés mécaniques, de l'épaisseur des tôles à souder ainsi que de la présence ou non de revêtement. On utilise généralement un courant alternatif monophasé à 50 Hz, dont la valeur moyenne efficace sur une soudure peut être réglée par rapport à la valeur de consigne, par un dispositif électronique adapté. Même si nous ne l'avons pas considéré dans ce travail, il est possible d'utiliser d'autres types de courants, notamment le courant continu, obtenu par redressement et filtrage, à partir d'un générateur 1000 Hz. [3]

### **II.5.2.3. Le temps de soudage :**

Le temps de soudage intervient au premier ordre dans l'énergie électrique dissipée. Ce paramètre, d'une valeur typique de quelques dixièmes de seconde, est donc, lui aussi, adapté aux propriétés des tôles à souder. Lorsque le temps de soudage désiré est particulièrement long, on le découpe en "pulsations" - ou "temps chauds" - séparés par des "temps froids". [3]

**II.5.2.4. Le temps de forgeage :**

Le temps de forgeage nécessaire à la solidification de la soudure est généralement du même ordre de grandeur que le temps de soudage. [3]

**II.6. Contrôle de qualité :****II.6.1. Tests de Résistance :****II.6.1.1. Tests Non Destructifs :****A. Inspections visuelles :**

Examen visuel est le procédé de contrôle, le plus simple et le plus général puisqu'il est aussi le point final de la majorité des autres procédés non destructifs. [29]

**B. Radiographie :**

Technique utilisée pour détecter les défauts internes sans endommager la pièce. Elle fournit une image permanente des défauts, permettant leur analyse précise. [30]

**II.6.1.2. Tests Destructifs :**

Pour contrôler la qualité des soudures, notamment lors du soudage par point, plusieurs tests de résistance sont utilisés. Voici une synthèse des méthodes courantes :

**A. Essai de traction :**

L'essai de traction est nécessaire pour prévoir le comportement du matériau dans les conditions réelles d'utilisation, il détermine son aptitude à se déformer quand il est soumis à des efforts. Deux paramètres rentrent en jeu dans ce cas, l'effort  $F$  et l'allongement  $\Delta l$ , l'essai se fait selon le paramètre recherché, on mesure la force  $F$  en variant l'allongement  $\Delta l$ , ou inversement, on mesure l'allongement  $\Delta l$  en variant la force  $f$ . [31]

**B. Essai de flexion :**

Utilisé pour évaluer la résistance à la flexion, cet essai est particulièrement important pour détecter des fissures ou des défauts internes. [32]

**C. Essai d'Impact :**

Ce test évalue la résistance à un choc brutal, souvent utilisé pour les matériaux fragiles. [31]

### **II.7. Applications du soudage par résistance :**

Le soudage par résistance est largement utilisé dans de nombreuses industries grâce à son efficacité, sa rapidité et sa rentabilité. [33]

#### **II.7.1. Fabrication automobile :**

Le soudage par résistance est largement utilisé dans l'industrie automobile pour souder les panneaux de carrosserie, les cadres et d'autres composants. Il est également utilisé pour souder des réservoirs de carburant, des systèmes d'échappement et d'autres pièces nécessitant une soudure de haute qualité. Le soudage par résistance est préféré dans l'industrie automobile en raison de son temps de cycle rapide, de son faible apport thermique et de sa répétabilité élevée. [32] [33]

#### **II.7.2. Aéronautique:**

Utilisé souder des matériaux légers comme l'aluminium et les alliages de titane dans la fabrication de structures d'avions, cadres, panneaux et supports, où la qualité et la faible déformation sont cruciales. [33] [34]

#### **II.7.3. Électronique :**

Assemblage de petits composants électroniques, fils et connecteurs, souvent en cuivre ou or, grâce à la précision et la rapidité du soudage par résistance. [33] [34]

#### **II.7.4. Biens de consommation et électroménager :**

Fabrication d'appareils comme les réfrigérateurs, machines à laver, et autres équipements métalliques, où le soudage par résistance permet une production rapide et fiable. [33] [34]

#### **II.7.5. Fabrication industrielle générale :**

Soudage de tôles fines (<6 mm), tubes, chaudières, petits réservoirs et conteneurs, avec un procédé économique ne nécessitant pas de matériaux d'apport. [35] [33]

**II.8. Avantages et inconvénients :****II.8.1. Efficacité énergétique :**

Les avantages du soudage par point source en termes d'efficacité énergétique incluent une conversion de l'énergie plus élevée et plus efficace que d'autres procédés comme le soudage au laser, grâce à une meilleure maîtrise de la qualité et de la reproductibilité des résultats. Ce procédé présente également une durabilité remarquable, avec des installations fiables qui ont plus de 40 ans d'utilisation continue, témoignant de son efficacité à long terme. De plus, le soudage par faisceau d'électrons, qui peut être considéré comme une forme avancée de soudage par point source, offre une efficacité énergétique accrue, une meilleure ressource et une conformité réglementaire en matière d'écoconception.

Les inconvénients liés à l'efficacité énergétique de ce procédé comprennent cependant un investissement initial élevé, ainsi qu'une complexité technique qui peut limiter son adoption à grande échelle. Par ailleurs, le procédé nécessite des équipements sophistiqués et une maintenance régulière pour maintenir sa performance optimale, ce qui peut entraîner une consommation énergétique supplémentaire. [36]

**II.8.2. Coûts de production :**

Les coûts de production liés au soudage par point source impliquent plusieurs aspects, tant positifs que négatifs.

**II.8.2.1. Avantages liés aux coûts de production :****A. Optimisation des coûts :**

Efficacité et productivité pour une optimisation des coûts

Le soudage est efficace, car il offre un rapport avantageux entre sa rapidité d'exécution et son coût de production. Le soudage est un poste de dépense sur lequel des optimisations de coûts, parfois bien cachés, sont réalisables. En étant bien conseillé, et avec la bonne expertise, ces optimisations potentielles peuvent être facilement détectées et des ajustements peuvent rapidement être apportés ... et rapporter. [37]

**B. Réduction des erreurs humaines :**

L'automatisation réduit la nécessité d'une intervention humaine dans les tâches de soudage dangereuses, améliorant ainsi la sécurité sur le lieu de travail. La manutention des matériaux permet de gérer les matériaux et les environnements dangereux, ce qui réduit considérablement le risque de blessures. La conformité aux normes et réglementations de sécurité strictes est plus facile à maintenir avec un équipement automatisé. [37]

**C. Productivité et efficacité accrues :**

Les systèmes de soudage automatisés effectuent les tâches de soudage plus rapidement que les méthodes manuelles, ce qui réduit considérablement le temps de production. Cette rapidité accrue se traduit par une augmentation de la production et la possibilité de respecter des délais serrés. Diverses industries ont fait état de gains de productivité substantiels après avoir adopté des technologies de soudage automatisé. [37]

**II.8.2.2. Inconvénients liés aux coûts de production :****A. Investissement initial et coûts d'achat :**

Le prix du matériel de soudage automatisé varie considérablement en fonction de facteurs tels que les capacités, la technologie et les caractéristiques. Les systèmes haut de gamme dotés de fonctionnalités avancées peuvent coûter cher, tandis que les modèles plus basiques sont relativement abordables. Il est essentiel de comprendre ces variations de coût pour prendre une décision d'investissement éclairée. Si l'investissement initial dans des systèmes de soudage automatisés avancés peut être substantiel, il permet en fin de compte d'économiser de l'argent à long terme en augmentant l'efficacité, en réduisant les coûts de main-d'œuvre et en minimisant le gaspillage de matériaux. Cette rentabilité à long terme fait de l'investissement initial un choix intelligent et stratégique pour les fabricants tournés vers l'avenir. [37]

**B. Coûts d'installation et de mise en place :**

La mise en place d'un équipement de soudage automatisé nécessite souvent des modifications de l'infrastructure existante. Le processus d'installation comprend l'intégration du nouveau système dans la ligne de production et la compatibilité avec les autres équipements. Ces dépenses d'installation peuvent alourdir l'investissement initial, mais elles sont essentielles pour obtenir des performances optimales. [37]

**C. Coût des matériaux et de la main-d'œuvre :**

Le coût du soudage varie en fonction des matériaux à souder, du type de soudage utilisé, de la main-d'œuvre et de la dynamique du marché. [37]

**II.9. Sécurité dans le soudage par point :**

Bien que le soudage par résistance (point) utilise principalement un courant électrique intense pour générer de la chaleur par effet Joule, les risques électriques restent critiques. Les sources fournies traitent principalement du soudage à l'arc, mais les principes généraux de sécurité électrique s'appliquent, avec des adaptations spécifiques. [38]

**II.9.1. Risques électriques clés :**

Les risques électriques prédominent lors des tâches suivantes :

- Fabriquer ou réparer des pièces ou des composants.
- Assembler des pièces et des composants.
- Souder des pièces et des composants.
- Corriger des soudures, des pièces ou des composants dans un contexte d'entretien.

**II.9.1.1. Soudage à l'arc :**

La tension à vide peut atteindre 80 V (exemple documenté), suffisante pour causer des chocs mortels en cas de contact direct. [38]

**II.9.1.2. Soudage par point :**

Génère des courants élevés (1 000–100 000 A) sous basse tension (1–10 V). Le risque principal provient des câbles endommagés ou des pièces non isolées exposant à des arcs électriques. [38]

**II.9.2. Précautions spécifiques :****II.9.2.1. Isolation des composants :**

- Éviter tout contact direct avec les pièces sous tension du matériel de soudage et

La pièce à souder.

- Protéger les câbles de la circulation des véhicules ou d'autres dangers afin qu'ils ne soient pas endommagés, coupés ou pincés.

### **II.9.2.2. Équipements secs :**

- Ne pas remplacer l'électrode de soudage à mains nues ou avec un gant de soudage humide.
- Garder toujours les mains et le corps secs durant une opération de soudage.
- Éviter de travailler les pieds dans l'eau ou sur une surface mouillée, les mains mouillées, ou la peau et les vêtements mouillés par la sueur.
- Ne pas tremper des porte-électrodes sous tension (chauds) dans l'eau.

### **II.9.2.3. Mise à la terre :**

- Mettre à la terre la pièce ou le métal à souder à une bonne prise de terre. Toujours s'isoler de la pièce à souder et du sol.
- Porter de l'équipement de protection adéquat, comme des bottes en caoutchouc et des genouillères en caoutchouc, dans le cas de soudage à l'arc dans des conditions humides ou à haute humidité élevée, porter des gants en caoutchouc sous les gants de soudage.

### **II.9.3. Protection personnelle :**

- Ne pas toucher des parties chaudes à mains nues.
- Prévoir une période de refroidissement avant de travailler à l'équipement.
- N'apas toucher aux pièces chaudes, utiliser les outils recommandés et porter des gants de soudage et des vêtements épais pour éviter les brûlures.
- Porter des lunettes de sécurité avec écrans latéraux ou un écran facial. À l'intérieur, ventiler la zone et/ou utiliser une ventilation forcée au niveau de l'arc pour l'évacuation des fumées et des gaz de soudage. Pour déterminer la bonne ventilation, il est recommandé de procéder à un prélèvement pour la composition et la quantité de fumées et de gaz auxquelles est exposé le personnel.

- Porter un casque de soudage approuvé muni de verres filtrants approprié pour protéger visage et yeux pendant le soudage.
- Le rayonnement haute fréquence (H.F.) peut provoquer des interférences avec les équipements de radionavigation et de communication, les services de sécurité et les ordinateurs.
- Ne pas diriger le pistolet vers soi, d'autres personnes ou toute pièce mécanique en engageant le fil de soudage.
- Lire et appliquer les instructions sur les étiquettes et le Mode d'emploi avant l'installation, l'utilisation ou l'entretien de l'appareil. Lire les informations de sécurité au début du manuel et dans chaque.
- Effectuer l'installation, l'entretien et toute intervention selon les manuels d'utilisateurs, les normes nationales, provinciales et de l'industrie, ainsi que les codes municipaux.
- Porter un écran facial pour protéger le visage et les yeux.

## **II.10. Normes et réglementations :**

Les normes et réglementations relatives au soudage par point (soudage par point) sont principalement encadrées par plusieurs normes européennes et internationales qui définissent les exigences de qualité, de qualification des soudeurs, et les règles de sécurité.

### **II.10.1. Normes principales pour le soudage par point :**

#### **A. EN ISO 9606-1 :**

Norme relative à la qualification des soudeurs pour les procédés de soudage, L'annexe B de la norme EN ISO 14731 doit être utilisée comme guide pour affecter au personnel de coordination en soudage les tâches et responsabilités liées à la qualité. Cette annexe reprend les mêmes points cités dans la norme ISO 3834 (cf. annexe D). Si la coordination en soudage est assurée par plusieurs personnes, les tâches et responsabilités doivent être clairement attribuées,

pour clairement définir ces responsabilités et s'assurer que les personnes soient qualifiées pour chacune des tâches spécifiques. [39]

Le fabricant est entièrement responsable de la coordination en soudage et doit désigner au moins un coordinateur en soudage responsable. On notera que la coordination en soudage ne peut être sous traitée.

Pour toutes les tâches assignées, un coordinateur en soudage doit être en mesure de montrer qu'il possède les connaissances techniques nécessaires, permettant la réalisation satisfaisante de ces tâches. Ces connaissances doivent être acquises par une combinaison de connaissances théoriques, de formation et/ou d'expérience. [39]

### **B. EN ISO 3834 :**

L'introduction d'un système de qualité conforme à l'EN ISO 3834 (comme exigé par l'EN 1090) réclame du temps et dans bien des cas, un changement d'organisation pour l'entreprise. Les différentes parties de cette norme fournissent des exigences pour trois niveaux de qualité (complète, normale et élémentaire) relatifs à tous les procédés de soudage par fusion. [39]

### **C. NF EN ISO 15615 :**

Norme relative aux matériels de soudage aux gaz, qui peut être pertinente selon le procédé utilisé.

Dans le cas du soudage manuel, les fumées et les gaz aspirés circuleront directement dans la zone respiratoire du travailleur, ce qui n'est pas considéré comme du captage à la source. Le travailleur devra être équipé d'une protection respiratoire quel que soit la toxicité des produits utilisés. [39]

### **II.10.1. Points clés pour le soudage par point :**

- ❖ Le soudage par points est un procédé de soudage par résistance électrique, utilisé principalement pour les assemblages d'acier de faible épaisseur.

- ❖ Il nécessite un mode opératoire qualifié à partir de la classe d'exécution EXC2, avec des exigences sur la longueur minimale des points de soudure (par exemple, au moins quatre fois l'épaisseur de la plaque la plus épaisse ou 50 mm).
- ❖ Les soudures de pointage doivent être exemptes de défauts et soigneusement nettoyées avant soudage final.
- ❖ Un programme de soudage doit être établi, incluant les modes opératoires, les séquences, les contrôles intermédiaires, et les critères d'acceptation des soudures.

Le soudage par points est encadré par des normes européennes (EN 1090-2, EN ISO 9606-1, EN ISO 3834) et internationales (ISO 14555), ainsi que par des règles de sécurité spécifiques (W117.2-06). Ces documents définissent les exigences de qualité, de qualification, de contrôle, et de sécurité à respecter pour garantir la conformité et la fiabilité des soudures par point dans les structures métalliques. [39]

## **II.11. Futurs développements :**

### **II.11.1. Tendances de l'industrie :**

La technologie de soudage, en tant qu'équipement de la fabrication moderne, porte le fardeau de tout construire, des petits appareils électroniques aux grands ponts structurels. Avec le développement rapide de la technologie, la technologie de soudage subit une révolution du manuel traditionnel à hautement automatisé et intelligent. Ce communiqué de presse vous fournira une analyse exhaustive de la technologie de soudage, de la catégorisation technique de base aux dernières applications technologiques, démontrant son rôle clé dans la fabrication moderne.

En regardant vers l'avenir, le développement de la technologie de soudage sera davantage axé sur l'amélioration de l'efficacité et la réduction de l'impact environnemental. Avec l'introduction de nouveaux matériaux et d'équipements de haute technologie, nous pouvons nous attendre à voir plus de variété et de raffinement dans la technologie de soudage. De plus, à mesure que l'économie mondiale et la structure industrielle changent, la technologie de soudage continuera de jouer un rôle clé dans la connexion de l'industrie manufacturière mondiale. [40]

**II.11.2. Recherche et développement :**

Les développements récents en recherche et développement dans le domaine du soudage par pointage (ou soudage par points) s'inscrivent dans une volonté d'améliorer la qualité, la rapidité et l'efficacité des assemblages soudés. Le soudage par points consiste à presser les pièces à assembler entre deux électrodes, puis à faire passer un courant électrique qui génère une résistance de contact, provoquant une fusion locale. La pression est maintenue lors du refroidissement pour éviter la formation de défauts comme les pores. [41]

**II.11.2.1. Principaux axes de développement en R&D pour le soudage par pointage :**

- Automatisation et contrôle qualité.
- Optimisation des paramètres électriques et mécaniques.
- Études thermo hydrauliques et modélisation.
- Développement de nouvelles technologies de soudage.
- Contrôle non destructif et traitement thermique.

**Conclusion :**

De cet aperçu complet, il ressort clairement que le soudage par résistance AC offre une multitude de mécanismes et d'avantages qui en font un choix privilégié pour diverses industries. Premièrement, la capacité du soudage par résistance AC à produire des soudures de haute qualité, solides et durables garantit l'intégrité structurelle des produits finaux. Deuxièmement, la flexibilité du soudage par résistance AC en termes de gestion d'une large gamme de matériaux et d'épaisseurs permet une polyvalence dans les processus de fabrication. De plus, la rentabilité et l'efficacité du soudage par résistance AC, mises en évidence par ses temps de cycle de soudage courts et ses exigences minimales en matière de maintenance des équipements, en font une option pratique et économique pour les industries cherchant à optimiser leurs processus de production. De plus, les caractéristiques de sécurité améliorées, telles que la réduction des émissions nocives et la minimisation des zones affectées par la chaleur, font du soudage par résistance CA une alternative plus sûre par rapport aux autres techniques de soudage. Dans l'ensemble, le soudage par résistance AC apparaît comme une méthode fiable et avantageuse, répondant aux besoins de diverses industries, se positionnant comme un aspect crucial de la fabrication moderne. À mesure que la technologie continue

d'évoluer, on s'attend à ce que le soudage par résistance AC continue de s'améliorer, offrant encore plus d'avantages à l'avenir. Que ce soit dans l'industrie automobile, aérospatiale ou autres, le soudage par résistance AC est sans aucun doute un outil précieux qui favorise une production efficace, de haute qualité et rentable. [42]

*CHAPITRE III*

**Expérimentale, conception et  
réalisation PSP**

**Introduction :**

L'introduction à la conception et à la réalisation d'un poste de soudage par points s'appuie sur la compréhension du principe fondamental du soudage par points, qui est une technique d'assemblage localisé de tôles métalliques. Ce procédé utilise l'effet Joule : un courant électrique intense est fait passer à travers deux tôles maintenues en contact par des électrodes, générant ainsi une chaleur localisée suffisante pour faire fondre et fusionner les matériaux au point de contact. Ce noyau fondu, en refroidissant, crée une soudure solide et résistante.

La conception d'un poste de soudage par points implique principalement la réalisation d'un transformateur abaisseur de tension capable de fournir un courant élevé à basse tension, nécessaire pour générer la chaleur de soudage. Ce transformateur est au cœur de la machine et doit être conçu avec soin pour assurer une puissance suffisante et une stabilité du courant. La machine comprend également un circuit de commande qui contrôle la durée et l'intensité du passage du courant, ainsi qu'un mécanisme de serrage avec des électrodes adaptées pour maintenir les pièces à assembler.

La réalisation pratique d'un poste de soudage par points peut se faire en récupérant un transformateur existant ou en en construisant un nouveau, en intégrant un circuit de commande, et en assemblant une pince de soudure équipée d'un bouton poussoir pour déclencher le cycle de soudage. Le poste doit aussi être équipé de dispositifs de sécurité comme un disjoncteur et d'un système de fixation solide pour les câbles et les électrodes.

Pour la partie expérimentale spécialement dédiée à la fabrication de machines de soudage par points, voici les éléments clés à considérer, basés sur les études et mémoires :

**III.1. OBJECTIF DE TRAVAIL :**

Fondamentalement ce travail décrit permettra au concepteur mécanicien soudeur de se familiariser avec le procédé de soudage par points.

Notre objectif était de doter notre département d'un prototype de machine de soudage par points.

Pour cela, nous avons fait l'étude et la conception d'un modèle de laboratoire. Nous avons présenté dans un premier temps le procédé de soudage par points, et on s'est positionné par rapport à l'état de l'art des machines existantes.

Par la suite, Nous avons défini l'objectif en répondant aux exigences techniques et à l'ensemble des buts à achever tout en proposant des solutions pour chacun.

Nous avons ensuite conçu et dimensionné les éléments constituant la machine. Et Nous avons réalisé les dessins de définition de toutes les pièces à réaliser l'assemblage.

Durant ce travail, nous avons rencontré plusieurs problèmes dans les parties dimensionnement et conception étant donné que peu de travaux sont réalisés localement

### III.1.1. Composants principaux de poste de soudage par points :

#### A. Transformateur électrique abaisseur de tension :

Il transforme la tension d'entrée en une tension réduite mais avec un courant élevé, indispensable pour le processus de soudage.

Le transformateur à micro-ondes est un composant crucial qui sert à rehausser la tension de l'alimentation électrique du four à micro-ondes. Il transforme la tension domestique standard (approximativement 230 V) en une tension très élevée, souvent entre 2000 et 2300 volts, indispensable pour fournir de l'énergie au magnétron, le composant qui produit les micro-ondes pour réchauffer les mets.



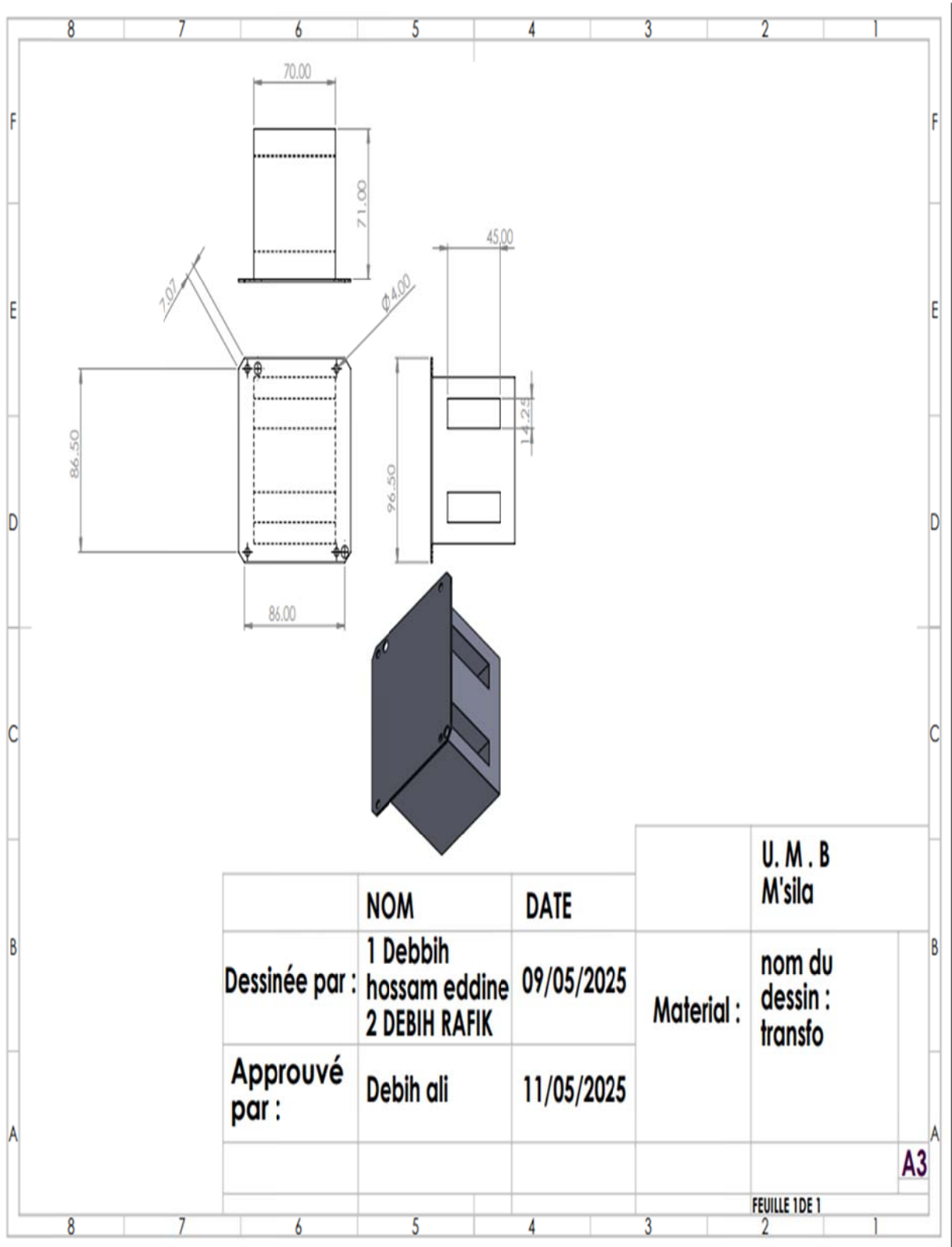
(Figure III. 15) : Transformateur de micro-ondes.

#### A.1 Fonctionnement et caractéristiques principales :

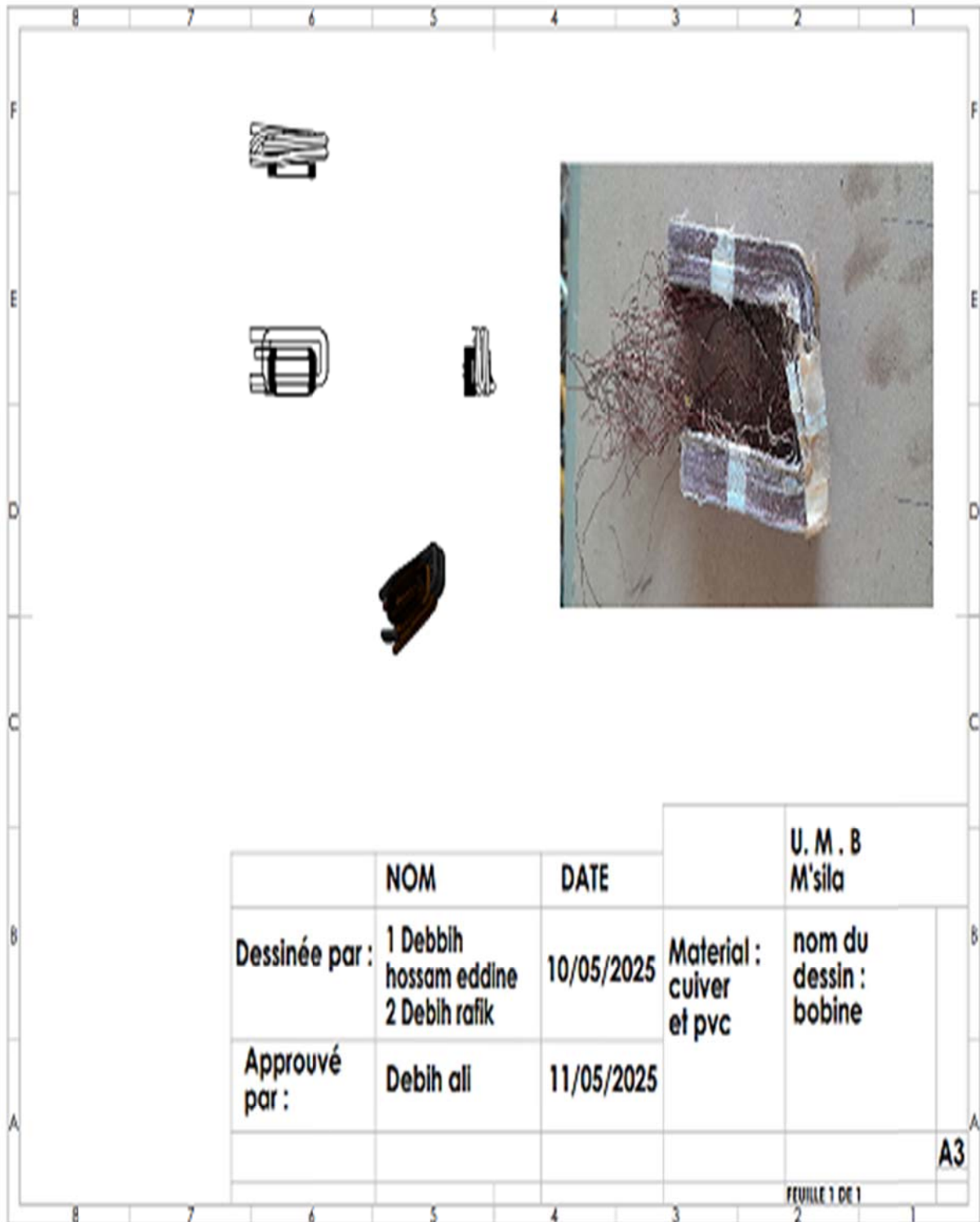
- **Structure** : Le transformateur se compose d'un circuit magnétique comportant plusieurs colonnes ainsi que des bobinages électriques primaires et secondaires. Le primaire est relié au réseau électrique de la maison, alors que le secondaire génère

une tension élevée. Il est également équipé d'un enroulement secondaire de chauffage pour le filament du magnétron.

- **Puissance** : Généralement, la puissance délivrée varie entre 200 et 1500 watts, avec une valeur couramment autour de 1,4 kVA pour la majorité des micro-ondes domestiques.
- **Tension et courant** : Le secondaire fournit une tension haute tension (THT) d'environ 2000 à 2300 volts et un courant d'environ 0,7 A, ce qui est dangereux et mortel en cas de contact direct.
- **Isolation** : Il est essentiel d'avoir une isolation électrique extrêmement performante pour résister à des tensions pouvant monter jusqu'à 10 kV entre les bobinages et le circuit magnétique. Des matériaux isolants spécifiques et des structures rigides garantissent cette isolation.



(Fig. III. 16) : Dessin du transformateur.



(Fig. III. 17) : Dessin de la bobine.

**B. Électrodes en alliage de cuivre :**

Les électrodes en alliage de cuivre employées dans le soudage par points remplissent deux rôles majeurs : elles exercent une pression sur les éléments à souder afin de garantir un

contact étroit, et elles transmettent le courant électrique qui parcourt les pièces à unir. Ce flux électrique, en passant par la résistance de liaison entre les composants, produit de la chaleur grâce à l'effet Joule, entraînant ainsi une fusion localisée des métaux au niveau du point de contact.

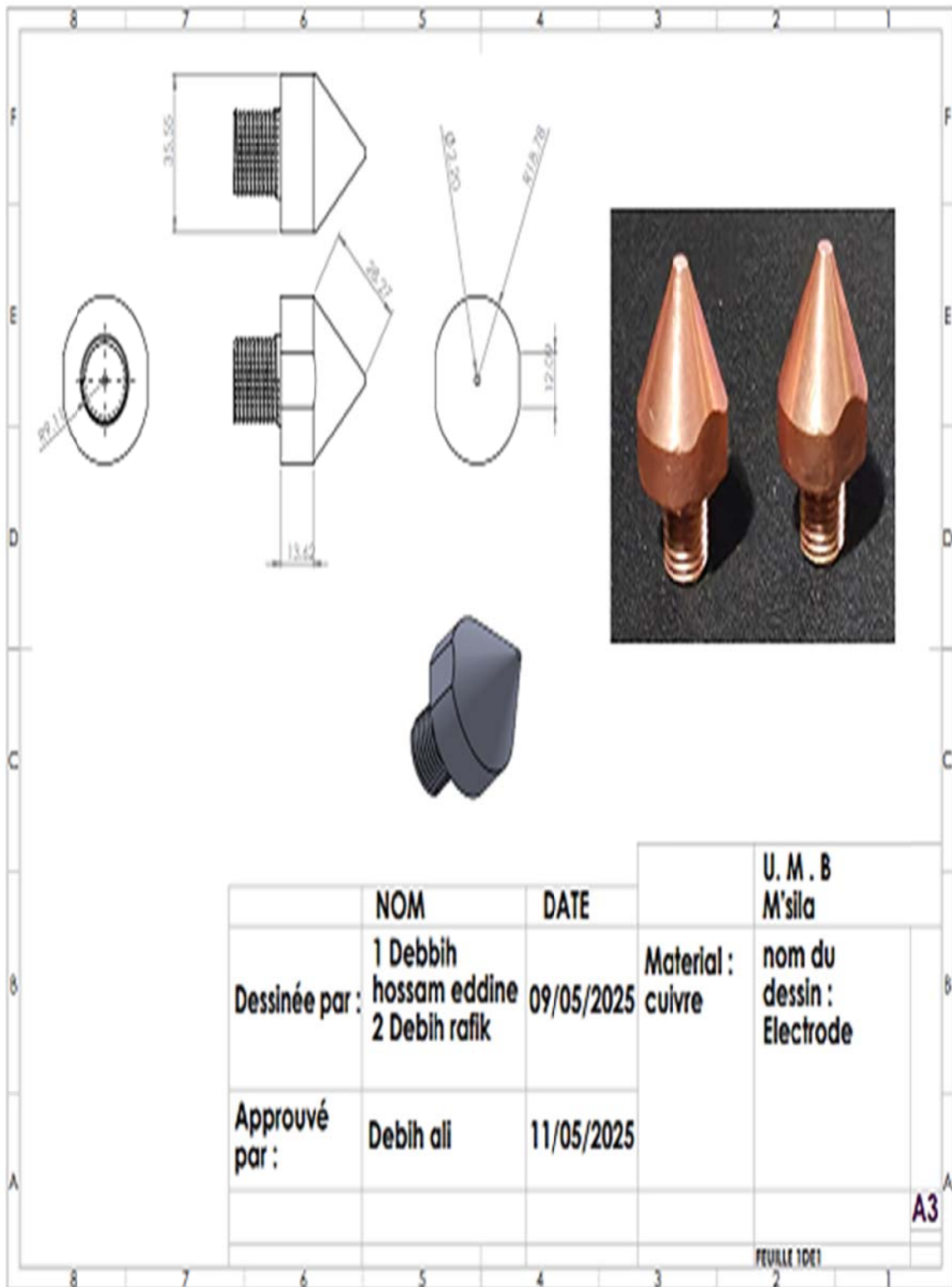
Pour être plus précis, la quantité de chaleur générée est en rapport direct avec la résistance électrique du système et le carré de l'intensité du courant, conformément à la loi de Joule  $W = R I^2 t$ . Dans cette équation,  $W$  représente la quantité de chaleur,  $R$  pour la résistance,  $I$  pour l'intensité et  $t$  pour le temps pendant lequel le courant circule. Les pièces restent en contact grâce à la pression appliquée par les électrodes, ce qui prévient les ruptures causées par l'expansion du métal fusionné, tout en contribuant à la formation du joint pendant le processus de refroidissement.

On opte pour l'alliage de cuivre en raison de ses remarquables caractéristiques de conductivité thermique et électrique, ainsi que sa robustesse mécanique, ce qui garantit un transfert optimal du courant et une pression adéquate sans déformation excessive des électrodes.

Pour résumer, dans le soudage par point, les électrodes en alliage de cuivre exercent la pression requise pour garder les pièces en contact et propagent le courant électrique qui produit de la chaleur via l'effet Joule. Cela permet la fusion localisée et l'établissement du joint de soudure.



(Fig. III. 18) : Installation de Électrodes.



(Fig. III. 19) : Dessin d'electrodes.

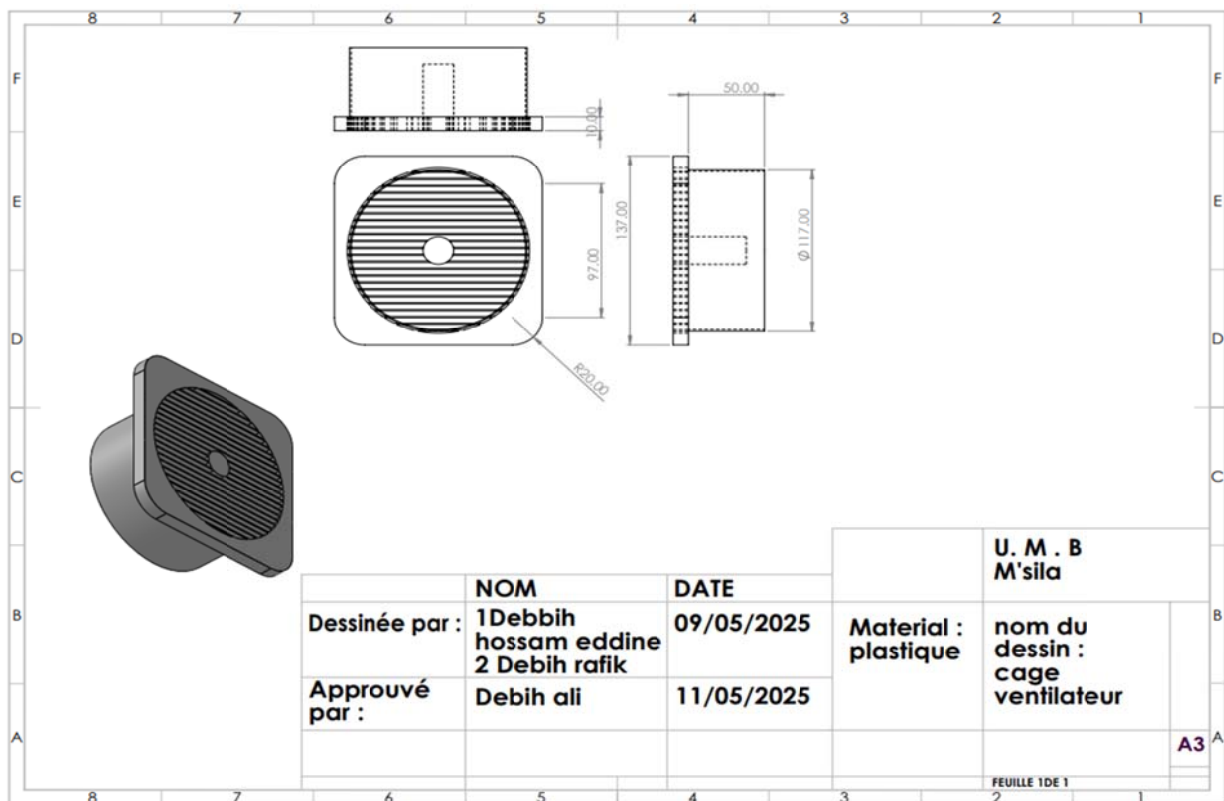
C. System de refroidissement :

- Ventilateur :

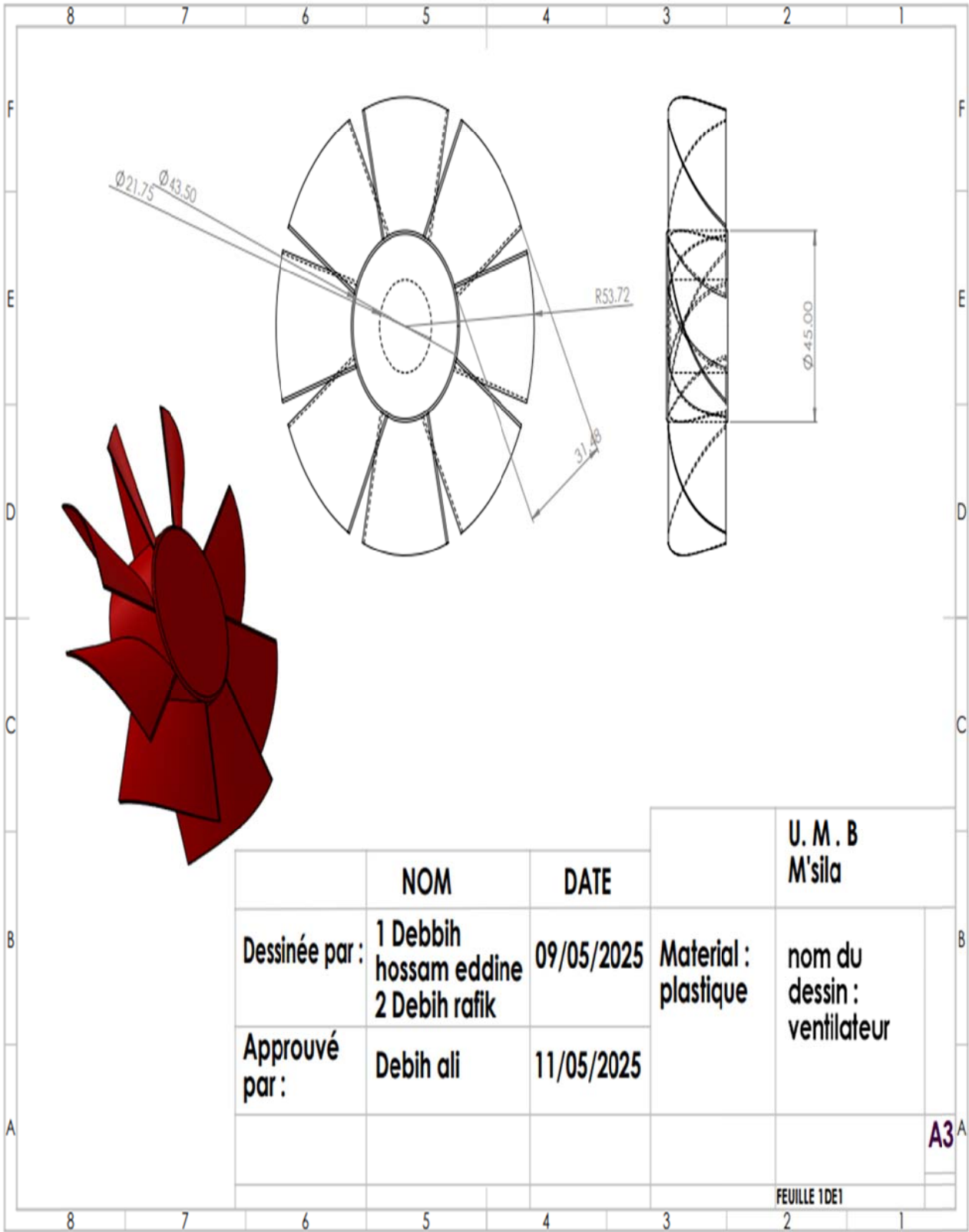
Appareil mécanique conçu pour créer un courant d'air artificiel en déplaçant l'air environnant à travers des pales. Il est utilisé pour ventiler, aérer ou renouveler l'air dans un espace restreint ou un appareil mécanique.



(Fig.III.19) : Ventilateur.



(Fig.III.18) : Dessin de cage ventilateur.



(Fig.III.20) : Dessin du ventilateur.

**D. Câbles de soudage adaptés au soudage par points :**

Dans un poste de soudure par points, nous employons un câble en cuivre souple de grande qualité pour sa capacité à résister à des intensités électriques extrêmement élevées, pouvant excéder les 500 ampères. Il est recommandé de choisir un câble en cuivre multibrins ou un câble de soudage industriel, qui offre une flexibilité importante tout en ayant une section appropriée. Il est aussi crucial que ce câble soit protégé par une enveloppe résistante à la chaleur, comme du caoutchouc ou du PVC, pour assurer la sécurité lors de son utilisation. Pour ce genre d'application, les sections de câble appropriées oscillent généralement entre 25 mm<sup>2</sup> et 70 mm<sup>2</sup>, en fonction de la puissance du courant requis et de l'épaisseur des matériaux à souder.

Les câbles de soudage industriels, souvent employés dans les équipements de soudage lourds, ainsi que les câbles pour batteries automobiles de section importante, constituent une alternative appropriée pour les amateurs travaillant sur des projets à petite échelle. Les câbles multibrins en cuivre, conçus pour des applications industrielles à forte demande, représentent aussi une option appropriée. Pour garantir un contact électrique fiable, il est crucial de bien isoler les bouts du câble en employant des cosses en cuivre, solidement fixées par des pinces ou des colliers appropriés. Un câble plus court et de section plus large réduit la résistance électrique, ce qui optimise l'efficacité du soudage.



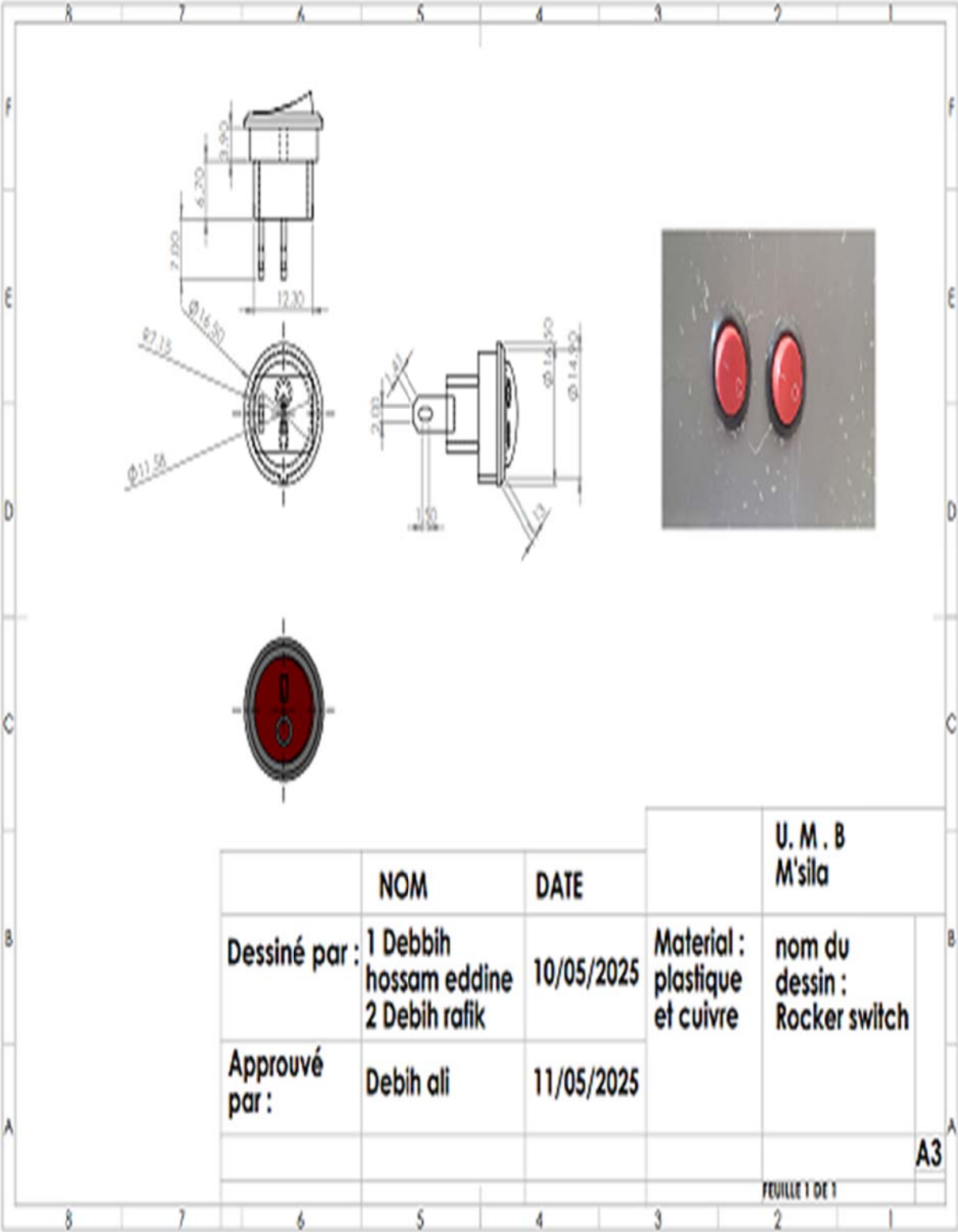
(Fig.III.21) : Câbles de soudage adaptés au soudage par point ou par points.

- **Fils électriques :**



(Fig.III.22) : Les fils utilisés dans le circuit électrique de la poste de soudage par points.

- **Rocker switch :**



(Fig.III. 23) : Dessin de rocker switch.

**E. Couverture de poste de soudage par points :**

(Fig.III.24) : formation de Couverture.

Ici, nous chauffons les tubes en plastique PVC comme indiqué sur l'image (Fig III .12) , puis nous les aplatissons pour leur donner une forme plane.

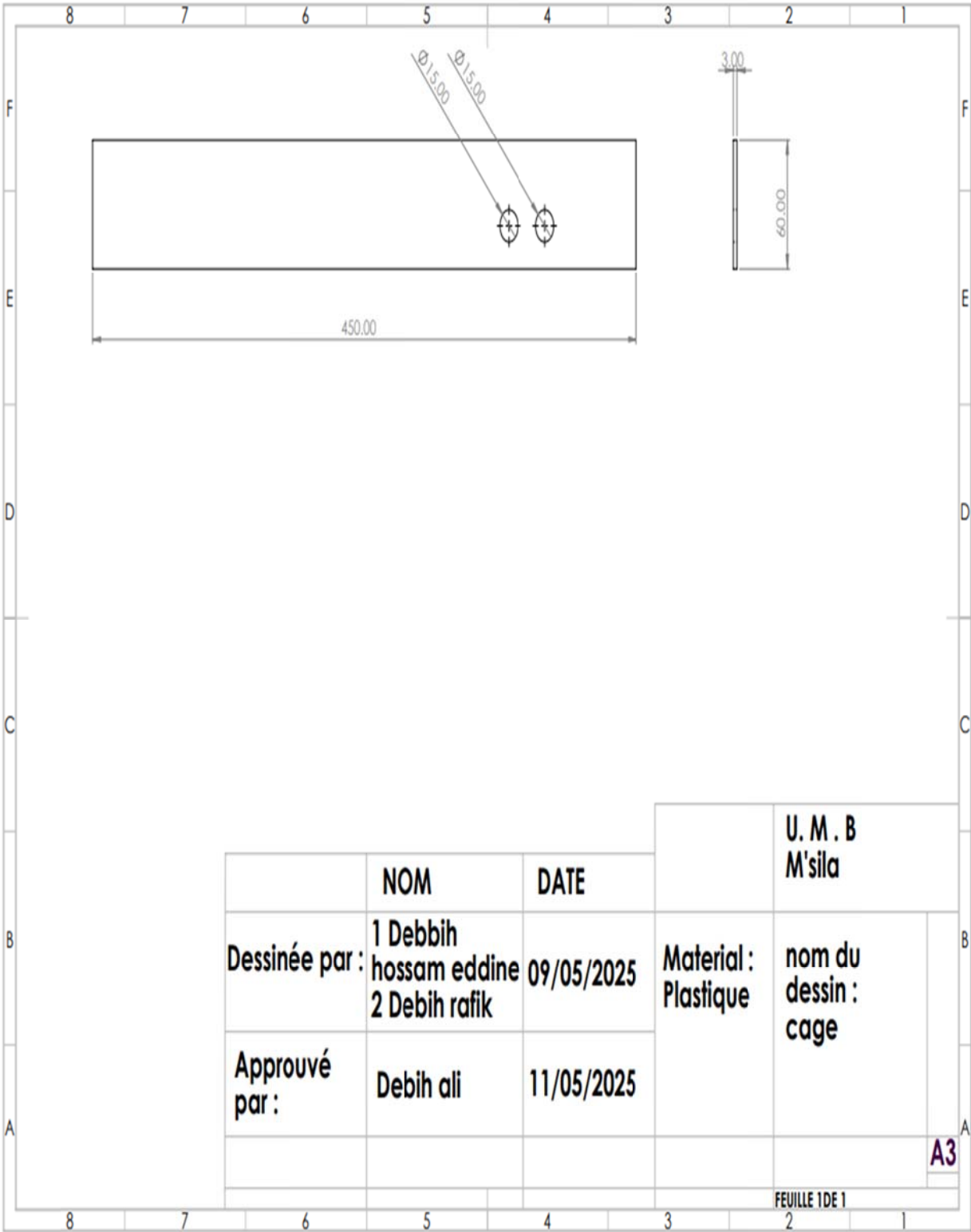
Après le processus de chauffage, nous avons pris des mesures précises, découpé les éléments de la cage selon les dimensions requises et les avons assemblés à l'aide de vis, comme illustré sur l'image (Fig III .13).



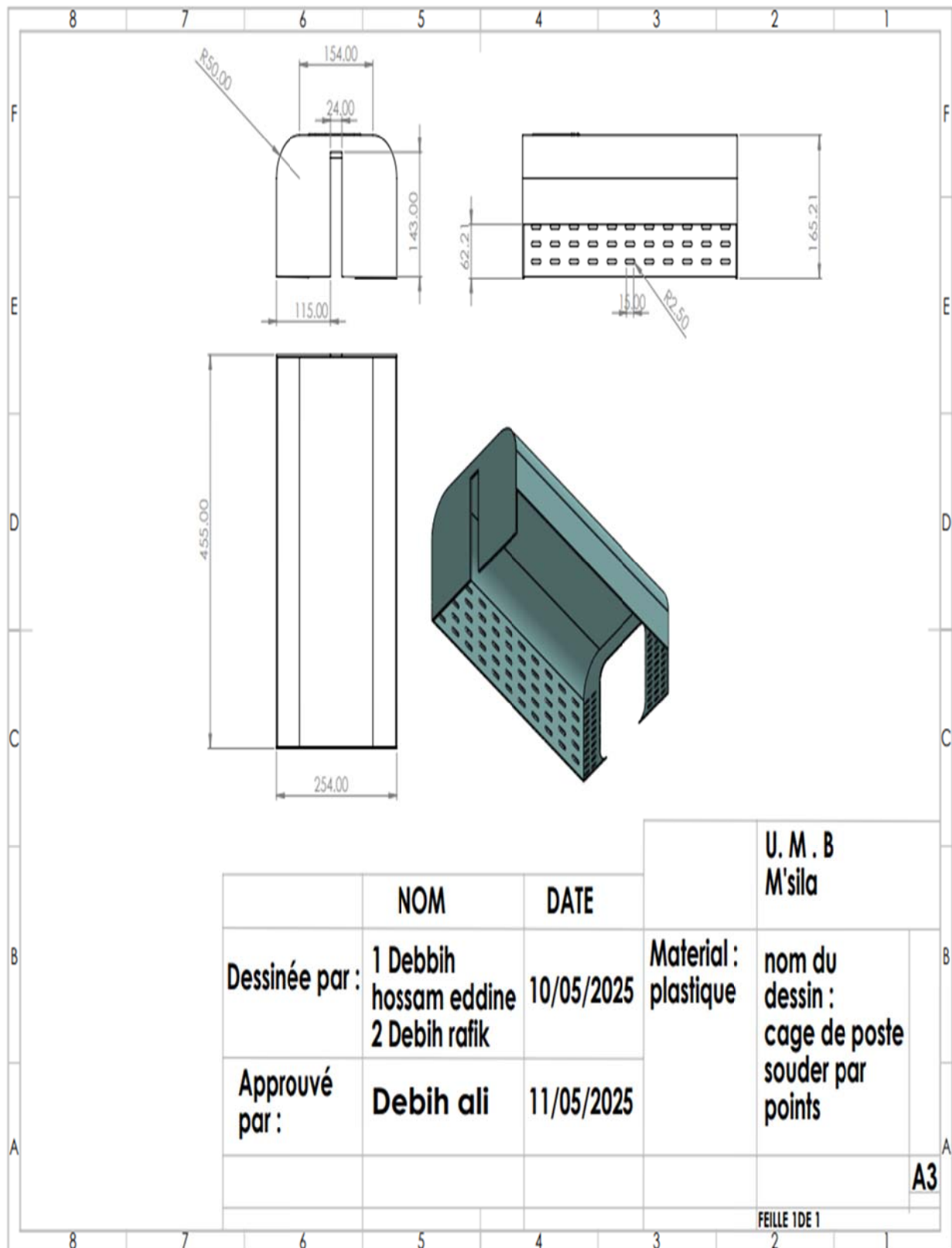
(Fig.III.25) : Découpe et assemblage des pièces de la Couverture.



(Fig.III.26) : Montage de la Couverture sur la base.



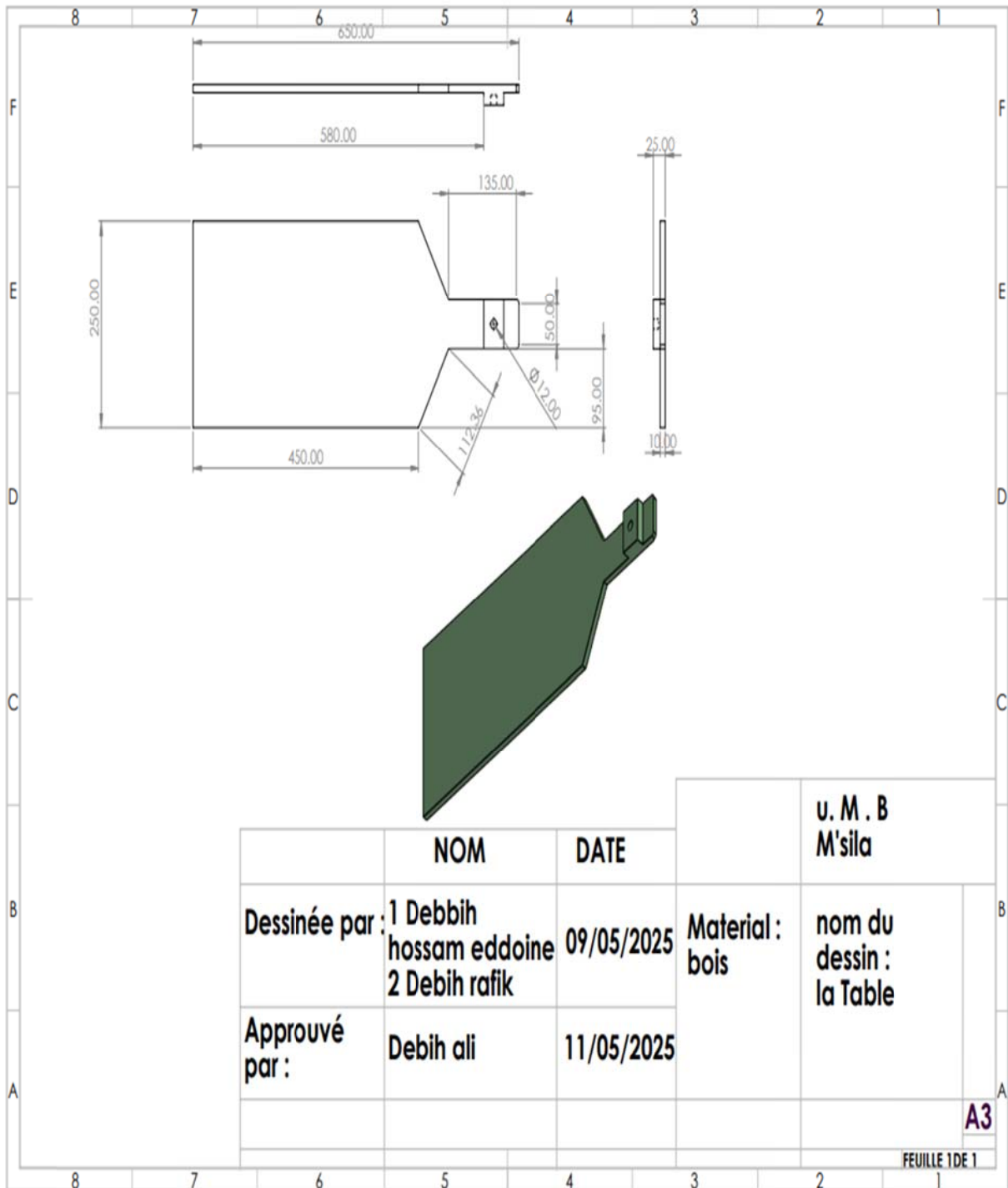
(Fig.III.27) : Dessin de la Couverture.



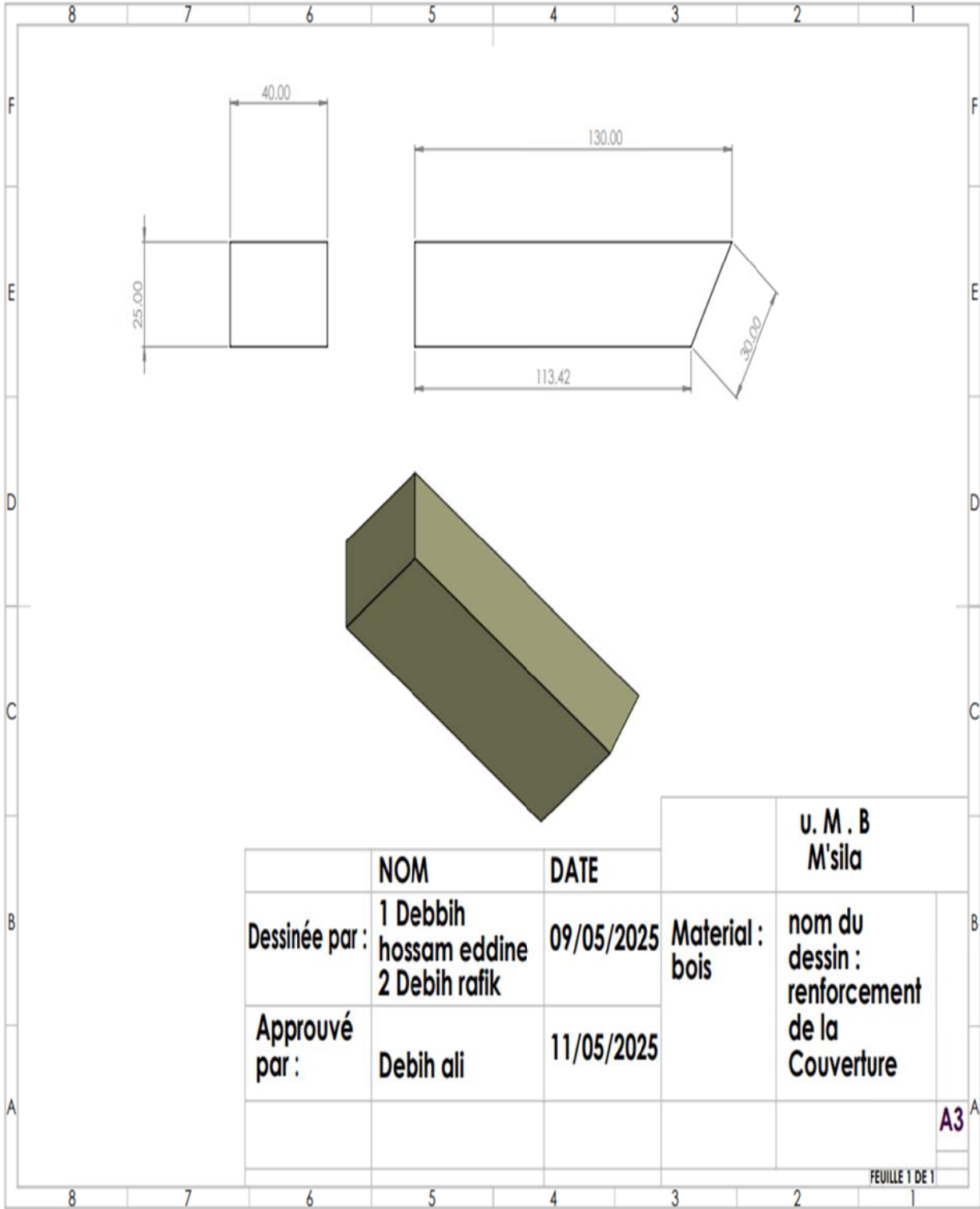
(Fig.III.28) : Dessin Couverture de poste a souder par points.

**F. La base et les supports de la Couverture :**

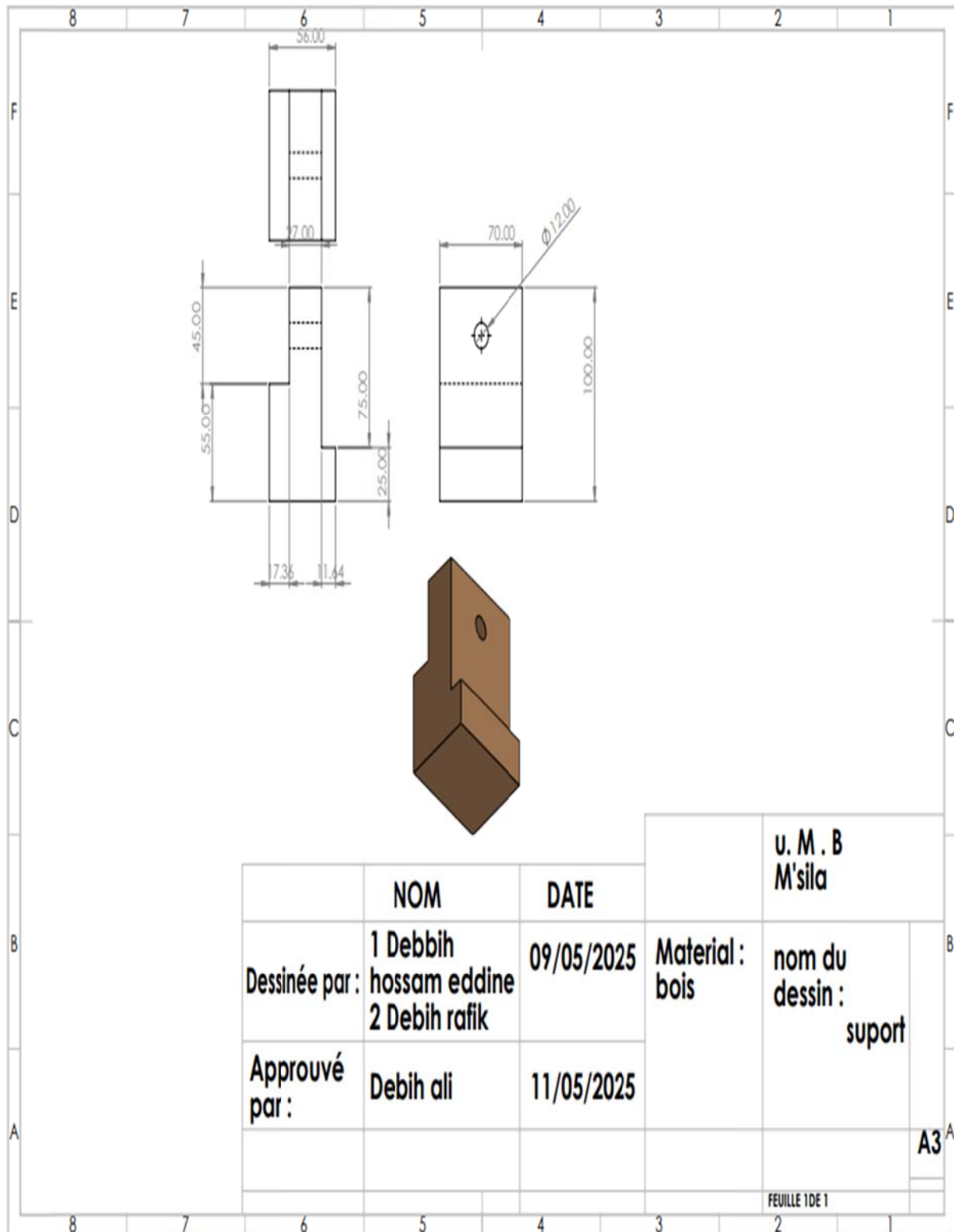
La base et les étaielements sont fabriqués à partir de panneaux en bois, puis découpés sur mesure après relevé des côtes, conformément aux visuels.



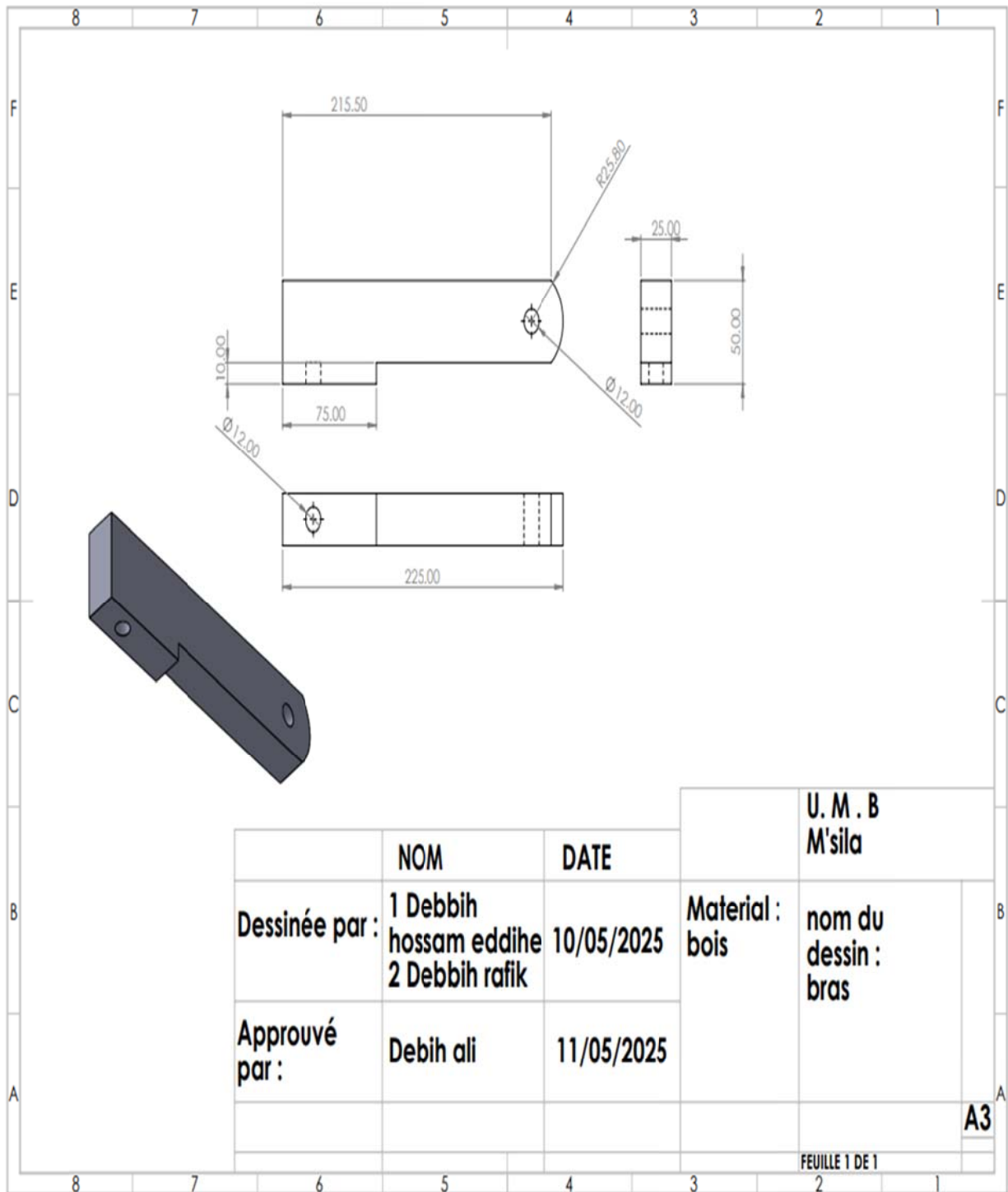
(Fig.III.29) : Dessin de la table poste soudage par point.



(Fig.III.30) : Renforcement de la cage.



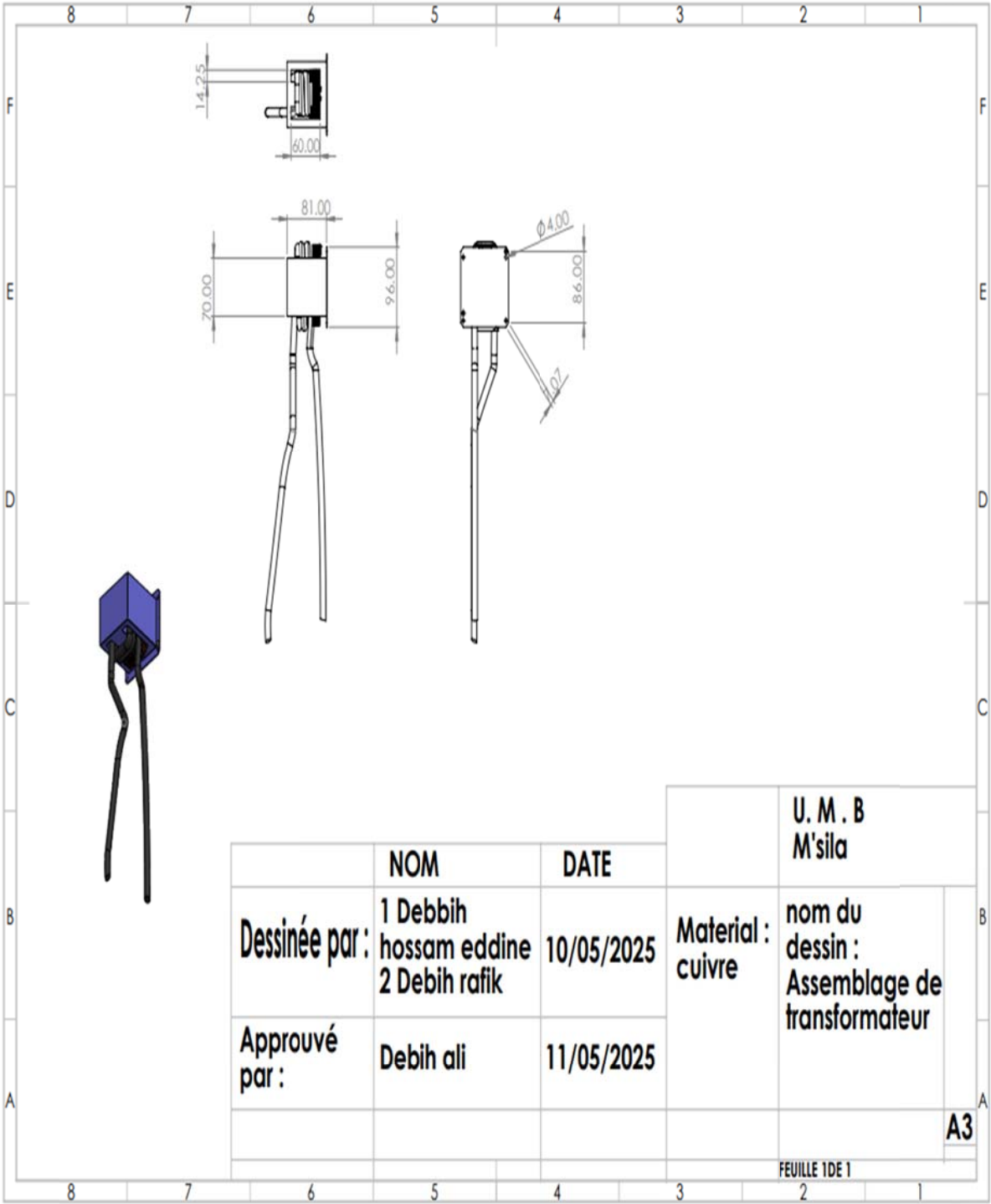
(Fig.III.31) : Dessin de support.



(Fig. III. 20) : Dessin de bras.

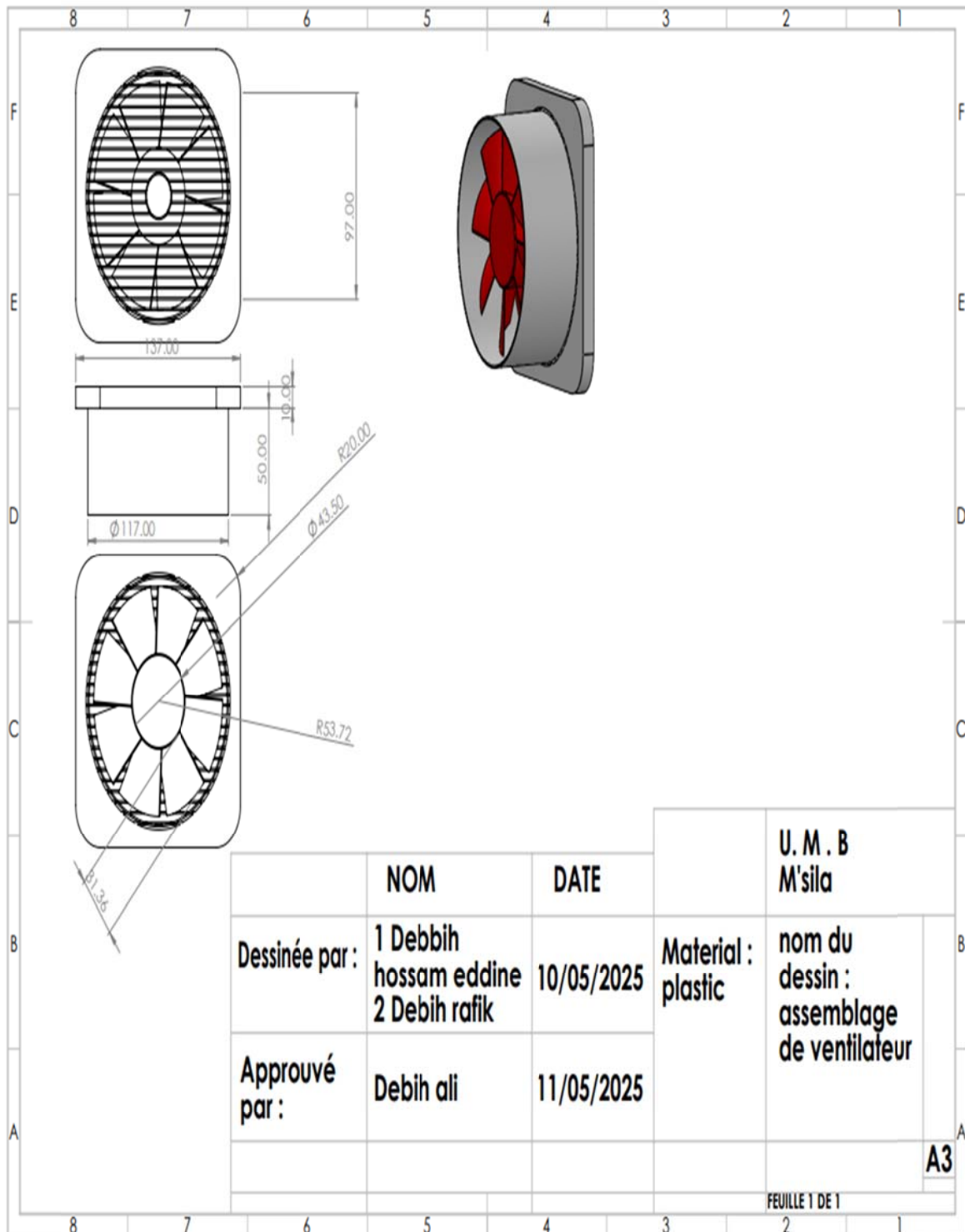
### III.2. DESSIN D'ASSEMBLAGE :

#### a) Assemblage de transformateur :



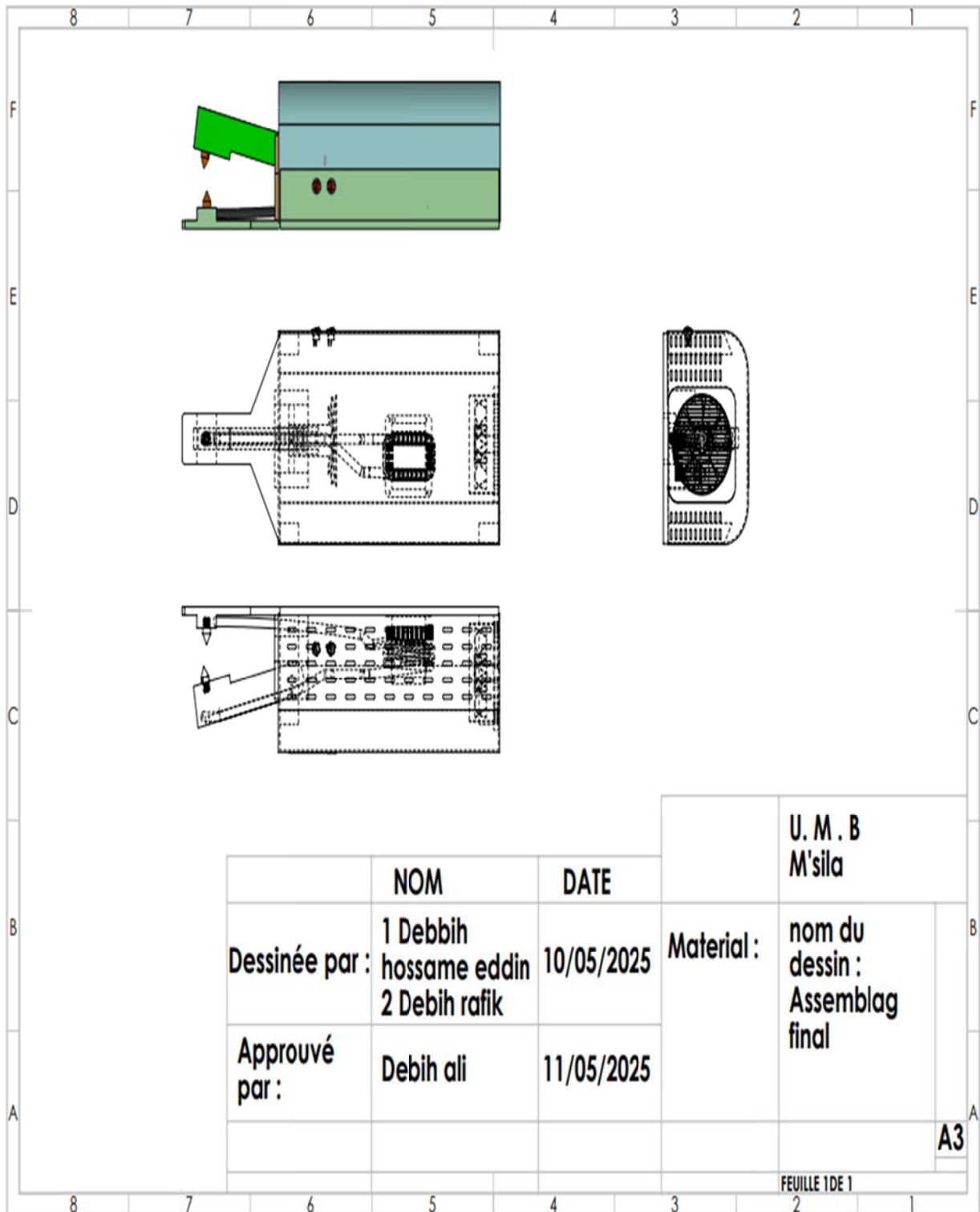
(Fig.III.33) : Dessin d'assemblage du transformateur.

**b) Assemblage de ventilateur :**



(Fig.III.34) : Dessin d'assemblage de ventilateur.

c) Assemblage final de poste soudage par point :



(Fig.III.35) : Dessin d'assemblage final.

**III.3. Processus d'installation des pièces de la poste de soudage par point :**

Dans ce projet, nous remettons en circulation un transformateur électrique issu d'un four à micro-ondes afin de le réemployer comme source d'alimentation dans une machine de soudage par points. L'idée centrale consiste à modifier le transformateur pour générer un courant fort à basse tension, condition sine qua non pour réussir le soudage par points, où l'interaction entre deux métaux est chauffée grâce à la résistance électrique créée. Le transformateur original est composé d'un bobinage primaire en cuivre de forte épaisseur, d'un bobinage secondaire avec une multitude de spires prévu pour générer une tension élevée, et aussi d'un noyau magnétique en forme de lettres E et I.

Pour commencer, nous éliminons entièrement l'enroulement secondaire en utilisant des outils adéquats comme une scie, un marteau ou un burin, tout en faisant attention à ne pas détériorer l'enroulement primaire ou le noyau du transformateur. Par la suite, nous substituons le bobinage secondaire par quelques tours (trois en tout) d'un fil de cuivre de large diamètre (provenant d'un câble de soudure ou de batterie), dans le but de générer une faible tension (de 1,5 à 3 volts) mais un courant très puissant pouvant excéder 500 ampères. Nous prenons soin de fixer et d'isoler correctement ce nouvel enroulement à l'aide de résine époxy ou de matériaux isolants thermiques, tout en veillant à ce qu'aucun contact électrique ne se produise avec le noyau.

Après avoir modifié le transformateur, nous l'incorporons dans le circuit électrique de la machine à souder, en ajoutant un commutateur de contrôle. Nous procédons aussi à l'installation d'électrodes en cuivre de configuration conique aux extrémités de l'enroulement secondaire, que nous arrimons à une structure métallique munie d'un dispositif de pression (comme un bras) pour assurer un contact optimal durant le processus de soudure.

Durant cette opération, nous mettons un accent particulier sur les mesures de sécurité, car l'enroulement primaire est alimenté par du 220 volts, ce qui constitue un risque majeur en cas d'erreur de manipulation. Nous faisons donc appel à de l'équipement de protection personnelle comme des gants et des lunettes isolantes, nous prenons soin d'isoler les connexions, et nous évitons toute tâche dans des milieux humides ou sur des surfaces qui conduisent l'électricité.

Cette modification nous permet de convertir efficacement un transformateur d'ondes courtes en une source d'énergie puissante pour une machine à soudage par point, grâce à l'utilisation de composants basiques et une démarche efficace de recyclage.

Un couvercle en PVC a été mis en place sur la machine de soudure par points pour préserver les éléments internes de la poussière et des influences extérieures, tout en assurant une utilisation sécurisée et une performance quotidienne idéale.

Nous avons travaillé sur le capot en plastique renforcé en le taillant et en le modelant pour qu'il s'adapte parfaitement aux dimensions de l'appareil. Suite à la confirmation de la conformité des mesures, nous avons disposé le couvercle sur l'équipement pour qu'il couvre complètement les sections supérieures et latérales, tout en assurant un ajustement exact avec les orifices de fixation présents sur la base.

Nous avons employé des vis appropriées et les avons fixées avec une clé manuelle afin de garantir un soutien solide du couvercle sans exercer une pression trop forte qui pourrait nuire au PVC. L'espace à l'avant a été suffisamment dégagé pour assurer le déplacement sans entrave des électrodes en bois et en métal, tout en préservant la voie des câbles électriques sans obstruction.

Après l'installation, nous avons contrôlé que le couvercle était bien en place et qu'il ne gênait ni l'opération du bras de soudage ni le refroidissement des composants. Non seulement ce couvercle a rehaussé l'aspect esthétique de l'appareil en lui donnant un look professionnel, mais il a aussi accru la sécurité des composants internes.

Nous avons réalisé avec précision et méthode une opération de découpe de bois pour fabriquer une base, des supports et un bras destiné au poste de soudage par points, en respectant les dimensions requises pour garantir la stabilité et la facilité d'utilisation.

Le processus a débuté par la sélection d'un type de planche adapté, avec un choix finalement porté sur un bois d'épaisseur moyenne, offrant à la fois rigidité et légèreté.

Initialement, nous avons délimité les dimensions de la base principale sur la planche avec l'aide d'une règle et d'un crayon, en nous assurant que la forme rectangulaire corresponde aux dimensions de l'appareil afin de garantir sa stabilité pendant son utilisation. Par la suite, nous avons fait appel à une scie électrique pour réaliser une coupe précise de la forme, en veillant au bon alignement des bords et à l'exactitude des angles.

Par la suite, nous avons procédé à la découpe de pièces en bois additionnelles pour les utiliser comme supports latéraux. On a minutieusement mesuré leurs longueurs pour qu'elles soient adaptées à la hauteur de l'appareil, permettant un soutien des deux côtés tout en portant

le bras articulé. Un bras de soudage a également été créé en découpant une pièce longitudinale, avec un design qui privilégie la solidité et la mobilité. Il est possible d'attacher une articulation à une des extrémités pour autoriser un mouvement dans le sens vertical.

Pour finir, nous avons identifié les lieux où les vis seraient fixées sur la base, les supports et le bras, puis nous avons lissé les bords afin d'éviter la formation d'échardes. L'issue est une structure en bois robuste et stable, qui offre un support remarquable pour l'installation et l'assemblage des éléments de la machine de soudage par points.

### III.4 Illustrations de quelques produits techniques réalisés dans le cadre de notre projet :

Dans le contexte de notre projet, nous avons élaboré et fabriqué un porte-serviettes décoratif en fil de fer. Ce produit est entièrement conçu à l'aide d'une machine de soudure par points, utilisant les bénéfices de cette technologie qui facilite une connexion rapide et précise des fils sans ajout de matière.

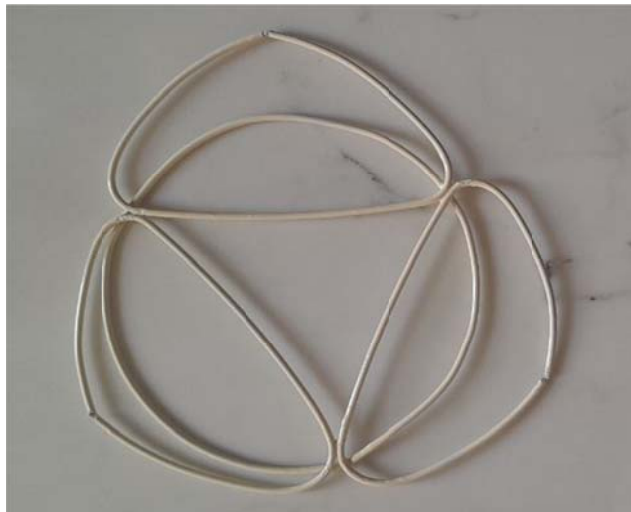
La fabrication a débuté par la coupe et le pliage des tiges métalliques en fonction des formes désirées. Par la suite, nous avons fait appel au poste de soudage par points pour l'assemblage des divers composants sur une base rectangulaire, en exerçant une pression et un courant électrique maîtrisés pour garantir la robustesse des points de soudure.

Ce produit illustre l'aptitude de notre appareil à créer des objets qui sont non seulement esthétiques, mais aussi fonctionnels, tout en employant une méthode industrielle accessible, rentable et respectueuse de l'environnement.





(Fig.III.36) : Porte-serviettes en papier.



(Fig.III.37) : Dessous-de-plat.



(Fig.III.38) : Égouttoir à vaisselle.

### **Conclusion :**

Comme résultat de ce projet, nous avons brillamment réussi à transformer un transformateur électrique provenant d'un four à micro-ondes en une source d'énergie puissante pour une machine à soudage par point, exploitant le principe du courant élevé à basse tension, essentiel pour un soudage précis et performant. Les principales étapes ont inclus le retrait du bobinage secondaire d'origine, son remplacement par un fil de cuivre épais enroulé en quelques spires, tout en garantissant une isolation et un maintien appropriés. Nous avons aussi pris soin de sélectionner des câbles capables de supporter des courants importants, et d'installer les électrodes en cuivre ainsi que les systèmes de contrôle pour assurer la précision du fonctionnement et la sécurité de l'utilisateur.

Pour mener à bien cette opération, il est impératif de maîtriser les principes de l'électricité et de la mécanique, tout en suivant rigoureusement les consignes de sécurité, surtout lors du

## Chapitre III: expérimentale, conception et réalisation PSP

travail avec des courants forts et la tension du réseau. Ce projet a démontré, en utilisant des outils simples et des éléments recyclés, comment il est possible de concevoir des solutions économiques et pratiques dans le secteur du soudage électrique et mécanique.

## ***CONCLUSION***

## *Conclusion générale*

---

### **Conclusion générale :**

En Le soudage par point est une technique d'union localisée de deux feuilles métalliques, basée sur le principe de Joule : un courant électrique à haute intensité passe à travers les tôles serrées entre deux électrodes, produisant assez de chaleur pour liquéfier localement le métal à la jonction, puis créer un point de soudure robuste après refroidissement. Cette méthode est couramment employée dans le secteur industriel, en particulier automobile, grâce à sa vitesse, sa précision et la qualité des montages qu'elle procure.

L'élaboration d'une station de soudage par point de base essentiellement sur un transformateur électrique qui réduit la tension et peut délivrer un courant puissant au secondaire, en accord avec les spécificités des tôles à souder. Il est crucial de déterminer avec précision le nombre de spires dans les bobinages primaire et secondaire pour obtenir le bon rapport de transformation. Il est également nécessaire que l'appareil incorpore un mécanisme de compression des électrodes afin de garantir une bonne connexion et une soudure uniforme.

La mise en œuvre pratique d'un tel poste peut impliquer la réutilisation et la réparation de composants existants, tels qu'un transformateur défectueux, suivie d'un assemblage minutieux des éléments mécaniques et électriques. Le recours à des logiciels de conception assistée par ordinateur (CAO), comme SolidWorks, simplifie la création de modèles de pièces et l'examen fonctionnel du système, ce qui permet d'améliorer le design en termes de simplicité, de solidité et de facilité de production en atelier.

La conception et la mise en œuvre d'un poste de soudage par point exigent une connaissance approfondie des principes physiques du soudage par résistance, un calcul exact des éléments électriques et mécaniques, ainsi qu'une approche systématique de conception comprenant l'analyse fonctionnelle et la modélisation CAO. Cela donne lieu à une machine robuste, conçue pour répondre aux exigences industrielles, capable de réaliser des soudures de haute qualité avec un minimum de déformations et contraintes résiduelles sur les pièces jointes.

Dans le cadre de ce projet de conception et d'élaboration d'une machine à soudage par point, nous avons réussi à atteindre tous les objectifs définis. Par une approche systématique, depuis l'analyse des besoins jusqu'à l'implémentation du système, nous avons développé une compréhension approfondie des fondamentaux de la soudure par résistance ainsi que des restrictions mécaniques, électriques et thermiques associées à cette technique.

## *Conclusion générale*

---

L'étape de conception nous a donné l'occasion de considérer une solution technique à la fois fiable et économique, qui englobe les éléments de sécurité, de performance et d'ergonomie. La mise en œuvre effective du poste a par la suite souligné l'importance de la sélection des matériaux, de l'exactitude de l'assemblage et de la supervision des paramètres de soudure (intensité, durée, pression).

Ce projet nous a aussi permis de renforcer nos compétences en matière de modélisation, câblage électrique, automatisation et gestion de projets. Cela a été une expérience gratifiante sur le plan professionnel et technique, mettant en exergue l'importance de l'innovation dans les processus de production industrielle.

La technique de soudure par point mise en place représente une réponse efficace et appropriée aux exigences décelées, et pourrait être sujette à des améliorations ultérieures, notamment en automatisant plus intensément le procédé ou en incorporant des capteurs pour un contrôle qualité instantané.

# **Références Bibliographiques**

### **Références Bibliographiques:**

[1] R.W. MESSLER, Jr.: “What’s Next for Hybrid Welding”, *Welding Journal*, 83(3), 2004, 30-34.

[2] 4. LE SOUDAGE.

<file:///C:/Users/lenovo/Desktop/New%20folder/4%20Le%20soudage%2018%20pages-1.pdf>

[3] Chapitre6.Introduction au soudage par points PAGE

(file:///C:/Users/lenovo/Desktop/New%20folder/chapitre6.pdf).

[4] *Metals HandBook VOL 6 - Welding, Brazing and Soldering.*

[5] MAKHLOUF HAMIDE (Modélisation numérique des aciers), 17 juillet 2008.

[6] Aissani, M., thèse « Etude du comportement thermique et mécanique des matériaux aéronautiques par des méthodes numériques : Application au soudage de structures métalliques ». Université SAAD DAHLAB DE BLIDA INSTITUT AERONAUTIQUE (15 septembre 2013).

[7] TP -3- LE SOUDAGE –SOCLE COMMUN- TECHNOLOGIE-MéCANIQUE  
UNIVERSITE DE M’SILA – DR : DEBIH ALI

[8] Anglade, B. ; Horisio Molinaro, H. ; Lavernhe, S., *Technique de réalisation de châssis micro-soudés : le soudage* (03 février 2017). Ecole Normal Supérieure Paris-Saclay.

[9] : < soudure Mig Mag >

<http://mai.manosque.free.fr/Pages/Rendu/Soudage/Soudage%20MIG%20MAG/page%201.html>

[10] Etude mécanique et microstructurale de structure En acier ordinaire E36 soudée par 2 types de soudage (MIG et électrode enrobée). Djeddou Omar ; BALBOUL Salah Eddine .  
Année Universitaire : 2020/2021 .

[11] Institut national de recherche et de sécurité CHAMPS électromagnétiques ED 4219 mai 2017.

[12] Guide de mise en œuvre des technologies du Syndicat des entreprises de technologie de production soudage coupage.

## *Références Bibliographiques*

---

- [13] T. NATAL, and B. IRVING: “Automakers Set the Pace for Spot Welding the New Galvanized Steels”, *Welding Journal*, March 1992, 47-52
- [14] : «LES DIFFERENTS PROCEDES DE SOUDAGE PAR RESISTANCE» centre d'étude wallon d'assemblage et du control des matériaux.
- [15] Résistance (électricité) — Wikipédia
- [16] G. Sibilía, “Modélisation du soudage par point : Influence des conditions interfaciales sur le procédé”, Thèse de Doctorat de l'École Polytechniques de l'Université de Nantes, 2003.
- [17] R. N. Raoelison, “Étude et modélisation des conditions interfaciales dans le procédé de soudage par résistance par point de tôles d'acier revêtues”, Thèse de Doctorat de l'Université Bretagne Sud, 2010.
- [18] E. Gauthier, “Etude expérimentale et numérique de la dégradation cyclique des électrodes en CuCr1Zr lors du soudage par résistance par point”, Thèse de Doctorat de l'Université Bretagne Sud, 2014.
- [19] T. Dupuy, “La dégradation des électrodes lors du soudage par points de tôles d'acier zinguées”, Thèse de Doctorat de l'École Nationale Supérieure des Mines de Paris, 1998.
- [20] S. C. A. Alfaro, J. E. Vargas, M. A. Wolff, et L. O. Vilarinho, “Comparison between AC and MFDC resistance spot welding by using high speed filming”, *J. Achiev. Mater. Manuf. Eng.*, vol. 24, no. 1, pp. 333–339, 2007.
- [21] W. Li et D. Cerjanec, “A comparative study of AC and MFDC resistance spot welding”, *Proceeding of IMECE04*, 2004.
- [21] H. R. M. Costa, J. S. Dias, R. A. A. Aguiar, R. A. A. Lima, et D. M. Lopes, “Effect of process parameters on lifetime of copper electrodes used in spot welding of IF steel sheets”, *Weld. Equip. Technol.*, vol. 27, 2016.
- [23] AFNOR, “NF EN ISO 5821.” 2010.
- [24] A. ROOS, « Précis De Métallurgie Appliquée ». Edition Technique Et DocumentationLavoisier (1982).
- [25] Department of Metal Forming, Welding and Metrology, Faculty of Mechanical Engineering, Wrocław University of Science and Technology, 50-370 Wrocław, Poland;

## *Références Bibliographiques*

---

[zbigniew.mirski@pwr.edu.pl](mailto:zbigniew.mirski@pwr.edu.pl) (Article Soldering of 7075 Aluminum Alloy Using Ni-P and Cu-Cr Electrodeposited Interlayers).

[26] Élaboration et caractérisation Mécanique de l'alliage de cuivre CuZn36. Réalisé par : BOUZEKOURA Karim 2023.

[27] Kaplan, C. H., J. Hryn, and B. Clow. Beck, A., The Technology of magnesium and its alloys, F.A. Hughes, Abbey House, London, 1940. Magnesium Technology 2000, The Metallurgical Society, Warren- date, PA, 2000.

[28] Procédé de soudage (Le semi- automatique : MIG. MAG, L'arc électrique, le TIG, Au Chalumeau et Par Points) Préparé par Enseignants : Mebrek Hamama et Kherraf Allaoua ; 2020-2021

[29] Etude de soudage à l'état solide « soudage par friction », étude de cas : Soudage d'une tige de forage Promotion : 2017/2018. M. BOUCHMAA Kamel Président .

[30] Contrôle non destructif et destructifs du cordon de soudage à l'arc électrique des tubes en acier S355JR de canalisations d'eau du Barrage oued Atmania à Ain Kercha . Présentée par BOUZAROURA Abdallah . Année 2014 .

[31] Caractérisation mécanique d'une soudure d'acier au carbone ASTM A333 grade 6. Mr Nazim MOHAMMEDI . ENP 2016 .

[32] Connaissance nécessaire du contrôle qualité du soudage et de l'audit des processus. [Actualités - Connaissances nécessaires en matière de contrôle qualité du soudage et d'audit de procédés](#)

[33] Applications du soudage par résistance dans l'industrie automobile . 2023-12-06. [Soudage par résistance dans les applications de l'industrie automobile - HERON](#)

[34] Air Liquide [Contrôle de la qualité du soudage | Air Liquide France Industrie - Fournisseur de gaz industriels](#)

[35] <https://www.arccaptain.com/pages/best-deals-on-welding-equipments> - [Qu'est-ce que le soudage par résistance ?](#) Jan 12, 2024

## *Références Bibliographiques*

---

- [36] Efficacité énergétique Technique du soudage – Procédés de soudage [https://sst-ebeam.com/Efficacité énergétique Technique du soudage – Procédés de soudage - Steigerwald Strahltechnik GmbH](https://sst-ebeam.com/Efficacité_énergétique_Technique_du_soudage_–_Procédés_de_soudage_-_Steigerwald_Strahltechnik_GmbH)
- [37] Analyse coûts-avantages de l'investissement dans un équipement de soudage automatisé  
29 mai 2024 [Analyse coûts-avantages de l'équipement de soudage automatisé](#) .
- [38]Soudage - Sécurité en électricité .<file:///C:/Users/lenovo/Desktop/electric.pdf> .2024-12-17
- [39]LE SOUDAGE . [file:///C:/Users/lenovo/Desktop/soudage\\_VF3.pdf](file:///C:/Users/lenovo/Desktop/soudage_VF3.pdf) ; février 2016 .
- [40] [NOUVELLES - en profondeur: la technologie de soudage dans la fabrication et l'innovation modernes](#)  
.  
<https://www.ourcladding.com/fr/.https://www.ourcladding.com/fr/news/in-depth-welding-technology-in-modern-manufacturing-and-innovation/#> mai-13-2024
- [41] Automatisation du diagnostic des défauts de soudage Par : HADDOU Hanane 23 / 06 /2019
- [42]Les mécanismes et les avantages du soudage par résistance AC : un aperçu complet [Les mécanismes et les avantages du soudage par résistance AC : un aperçu complet - Heron Intelligent Equipment](#) 2024-04-06

## Résumé :

L'objectif de ce projet est de concevoir et de réaliser une machine à souder par point destinée à l'assemblage de pièces métalliques par fusion localisée. Le pointage est une technique fréquemment employée dans le secteur automobile, la tôlerie et l'assemblage de structures métalliques légères, en raison de sa rapidité, de son faible coût et de sa facilité d'application.

Initialement, une analyse détaillée du processus de soudage par résistance a été réalisée, englobant les facteurs déterminants (tels que le courant, la pression et la durée d'impulsion) ainsi que les normes de sécurité. Par la suite, la conception mécanique de la station a été effectuée à l'aide de logiciels SolidWorks, en tenant compte de l'ergonomie, de la résistance et de la simplicité d'utilisation. L'assemblage des pièces électriques et électroniques, comme le transformateur de soudage, l'unité de contrôle et les dispositifs de sécurité, a été réalisé en conformité avec les règles actuelles.

La phase de mise en œuvre a englobé le façonnage des composants, l'assemblage mécanique, la connexion électrique et les essais opérationnels. Les tests expérimentaux ont confirmé la qualité des soudures réalisées et affiné les paramètres de l'appareil.

Ce projet a abouti à la création d'une solution opérationnelle, solide et ajustée aux exigences d'un atelier de production de petite ou moyenne échelle, tout en garantissant un contrôle efficace des coûts.

**Mots-clés :** soudage par points, conception mécanique, assemblage des métaux.

## ملخص:

الهدف من هذا المشروع هو تصميم وإنجاز آلة للحام النقطي مخصصة لتجميع القطع المعدنية من خلال الانصهار الموضوعي. تُعد تقنية اللحام النقطي من الأساليب المستخدمة بكثرة في قطاع صناعة السيارات، وصفائح المعادن، وتجميع الهياكل المعدنية الخفيفة، وذلك لما تتميز به من سرعة، وتكلفة منخفضة، وسهولة في التطبيق.

في البداية، تم إجراء تحليل دقيق لعملية اللحام بالمقاومة، شمل العوامل المؤثرة مثل التيار، الضغط، ومدة النبضة، بالإضافة إلى معايير السلامة. بعد ذلك، تم إنجاز التصميم الميكانيكي للمحطة باستخدام برنامج **SolidWorks**، مع مراعاة الجوانب المتعلقة بالبيئة التشغيلية، المتانة، وسهولة الاستخدام. كما تم تركيب المكونات الكهربائية والإلكترونية مثل محول اللحام، وحدة التحكم، وأجهزة السلامة، بما يتوافق مع المعايير الحالية.

شملت مرحلة التنفيذ تشكيل المكونات، التجميع الميكانيكي، التوصيل الكهربائي، والاختبارات التشغيلية. وقد أكدت التجارب المخبرية جودة اللحامات المنجزة وأسهمت في تحسين إعدادات الجهاز.

وقد تُوّج هذا المشروع بإنتاج حلّ عملي، متين، ومكيف مع متطلبات ورشة إنتاج صغيرة أو متوسطة الحجم، مع ضمان تحكم فعّال في التكاليف.

**الكلمات المفتاحية:** اللحام النقطي، تصميم ميكانيكي، تجميع المعادن