

## **Sommaire**

	<b>Page</b>
<b>Remercîments .....</b>	I
<b>Dédicaces.....</b>	II
<b>Résumé.....</b>	IV
<b>Abstract.....</b>	V
<b>ملخص.....</b>	VI
<b>Sommaire .....</b>	VII
<b>Liste des figures .....</b>	X
<b>Liste des tableaux.....</b>	XIV
<b>Liste des abréviations.....</b>	XV
<b>Introduction générale .....</b>	1
<b>Chapitre 1 : Présentation des entreprises</b>	
<b>    1.1 Introduction .....</b>	2
<b>    1.2. Présentation de Groupement Bir Seba Sonatrach (GBRS).....</b>	2
1.2.1 Situation Géographique.....	2
1.2.2 Organigramme de Groupement Bir Seba Sonatrach .....	3
1.2.3 Organigramme de service maintenance .....	4
<b>    1.3 Présentation de Groupe Kherbouche.....</b>	4
1.3.1 Présentation d'Agro Industrie.....	4
1.3.2 Equipement Agro-industrie .....	4
1.3.3 Coordonnées de l'entreprise .....	5
1.3.4 Organigramme de l'entreprise Agro-industrie.....	6

---

<b>1.4 Déroulement de stage .....</b>	7
<b>1.5 Conclusion .....</b>	7
<b>Chapitre 2 : Procédés et matériels de Soudage</b>	
<b>2.1. Introduction.....</b>	8
<b>2.2. Classification des procédés de soudage.....</b>	8
<b>2.3 Soudage par fusion.....</b>	10
2.3.1 Soudage au gaz .....	10
<b>2.3.2 Procédés de soudage à l'arc .....</b>	12
2.3.2.1 Soudage à l'arc avec l'électrode enrobée .....	12
2.3.2.2 Soudage à l'arc submergé .....	14
2.3.2.3 Soudage MIG/MAG .....	16
2.3.2.4 Soudage TIG .....	21
<b>2.3.3 Soudage par faisceau haut densité d'énergie .....</b>	25
2.3.3.1 Soudage par faisceau d'électrons .....	25
2.3.3.2 Soudage laser .....	28
<b>2.4 Soudage par pression et fusion .....</b>	32
2.4.1 Soudage par point .....	32
<b>2.5 Soudage par pression.....</b>	37
2.5.1 Soudage par friction .....	37
<b>2.6 Conclusion .....</b>	40
<b>Chapitre 3 : Etude et réalisation d'un attelage à boule pour véhicule léger avec gabarit.</b>	
<b>3.1. Introduction.....</b>	41
<b>3.2. Définition d'attelage.....</b>	41
<b>3.3 Définition de gabarit .....</b>	41
<b>3.4 Homologation d'attelage.....</b>	41
<b>3.5 Dessin attelage caddy avec gabarit .....</b>	42
3.5.1 Dessin d'ensemble attelage caddy .....	42

---

3.5.2 Dessin de définition attelage caddy.....	43
3.5.3 Dessin d'ensemble gabarit caddy.....	47
3.5.4 Dessin de définition gabarit caddy.....	48
<b>3.6 Dessin technique attelage i10 avec gabarit.....</b>	<b>51</b>
3.6.1 Dessin d'ensemble attelage i10 .....	51
3.6.2 Dessin de définition attelage i10.....	52
3.6.3 Dessin d'ensemble gabarit i10 .....	56
3.6.4 Dessin de définition gabarit attelage i10 .....	57
<b>3.7 Montage .....</b>	<b>61</b>
3.7.1 Montage attelage caddy avec leur gabarit .....	61
3.7.2 Montage attelage i10 avec leur gabarit .....	62
<b>3.8 Documents technique.....</b>	<b>63</b>
3.8.1 Fiche technique de l'assemblage .....	63
3.8.2 Propriété de matière utilisée (C25) .....	64
3.8.3 Description de mode opératoire de soudage (DMOS) .....	64
3.8.4 Qualification de mode opératoire de soudage .....	66
<b>3.9 Modélisation par élément finis de la boule en utilisant Abaqus .....</b>	<b>68</b>
3.9.1 Cas de traction .....	68
3.9.1.1 Discussion .....	73
3.9.2 Cas de compression.....	73
3.9.2.1 Discussion .....	79
<b>3.10 Conclusion.....</b>	<b>79</b>

## **Liste des figures**

	Page
<b>CHAPITRE 1</b>	
<b>Figure 1.1 :</b> Position de GBRS .....	2
<b>Figure 1.2 :</b> Organigramme de GBR Sonatrach .....	3
<b>Figure 1.3 :</b> Organigramme de service maintenance .....	4
<b>Figure 1.4 :</b> Equipement agriculture .....	5
<b>Figure 1.5 :</b> Equipement industriel .....	5
<b>Figure 1.6 :</b> Organigramme de l'entreprise Agro-industrie .....	6
<b>CHAPITRE 2</b>	
<b>Figure 2.1 :</b> Classification des procédés de soudage .....	9
<b>Figure 2.2 :</b> Installation de soudage au gaz.....	10
<b>Figure 2.3 :</b> Principe de procédée a l'arc avec l'électrode enrobée.....	12
<b>Figure 2.4 :</b> Installation de SAEE.....	13
<b>Figure 2.5 :</b> Principe de procédée de soudage a l'arc submergé .....	14
<b>Figure 2.6 :</b> Installation de SAFP .....	15
<b>Figure 2.7 :</b> Principe procédée de soudage MIG/MAG.....	16
<b>Figure 2.8 :</b> Installation de soudage MIG/MAG .....	17
<b>Figure 2.9 :</b> Transfert par court-circuit .....	18
<b>Figure 2.10 :</b> Cordon en court-circuit .....	18
<b>Figure 2.11 :</b> Transfert grosse goutte.....	18
<b>Figure 2.12 :</b> Cordon en transfert globulaire.....	18

<b>Figure 2.13 :</b> Transfert par pulvérisation axiale .....	18
<b>Figure 2.14 :</b> Cordon en pulvérisation axiale .....	18
<b>Figure 2.15 :</b> Mécanisme de dévidage de fil d'apport .....	19
<b>Figure 2.16 :</b> Influence de gaz sur le cordon.....	20
<b>Figure 2.17 :</b> Principe procédée de soudage TIG .....	21
<b>Figure 2.18 :</b> Installation de soudage TIG .....	22
<b>Figure 2.19 :</b> Description de la torche TIG .....	23
<b>Figure 2.20 :</b> Buse en céramique .....	24
<b>Figure 2.21 :</b> Bonne façon de l'affutage .....	25
<b>Figure 2.22 :</b> Principe de procédée faisceau électrons.....	26
<b>Figure 2.23 :</b> Machine à soude par FE .....	27
<b>Figure 2.24 :</b> Principe de laser.....	29
<b>Figure 2.25 :</b> Principe de soudage par laser .....	30
<b>Figure 2.26 :</b> Installation de soudage par laser.....	30
<b>Figure 2.27 :</b> laser à solide Nd-Yag.....	31
<b>Figure 2.28 :</b> Laser à CO2.....	31
<b>Figure 2.29 :</b> Schéma de soudage par point .....	33
<b>Figure 2.30 :</b> Machine de soudage par point .....	33
<b>Figure 2.31 :</b> Schéma de point soudé.....	35
<b>Figure 2.32 :</b> Schéma de cycle de soudage .....	36
<b>Figure 2.33 :</b> Différent type d'électrodes .....	36

**Figure 2.34 :** Principe de soudage par friction ..... 37

**Figure 2.35 :** Machine de soudage par friction ..... 38

**Figure 2.36 :** Section transverse d'un soudeur ..... 39

## **CHAPITRE 3**

**Figure 3.1 :** Concentration des contraintes moyennes sous l'effet d'effort de traction..... 68

**Figure 3.2 :** Concentration des contraintes axiale suivant l'axe (x) sous l'effet d'effort de traction..... 68

**Figure. 3.3 :** Concentration des contraintes axiale suivant l'axe (y) sous l'effet d'effort de traction..... 69

**Figure 3.4 :** Concentration des contraintes axiale suivant l'axe (z) sous l'effet d'effort de traction..... 69

**Figure 3.5 :** Concentration des contraintes de cisaillement suivant l'axe (xy) sous l'effet d'effort de traction..... 70

**Figure 3.6 :** Concentration des contraintes de cisaillement suivant l'axe (xz) sous l'effet d'effort de traction..... 70

**Figure 3.7 :** Concentration des contraintes de cisaillement suivant l'axe (yz) sous l'effet d'effort de traction..... 71

**Figure 3.8 :** Déplacement moyen de la boule sous l'effet d'effort de traction ..... 71

**Figure 3.9 :** Déplacement de la boule suivant l'axe (x) sous l'effet de l'effort de traction . 72

**Figure 3.10 :** Déplacement de la boule suivant l'axe (y) sous l'effet de l'effort de traction 72

**Figure 3.11 :** Déplacement de la boule suivant l'axe (z) sous l'effet de l'effort de traction 73

**Figure 3.12 :** Concentration des contraintes moyenne sous l'effet de l'effort de compression ..... 74

<b>Figure 3.13 :</b>	Concentration des contraintes axiale suivant l'axe (x) sous l'effet de l'effort de compression .....	74
<b>Figure 3.14 :</b>	Concentration des contraintes axiale suivant l'axe (y) sous l'effet de l'effort de compression .....	75
<b>Figure 3.15 :</b>	Concentration des contraintes axiale suivant l'axe (z) sous l'effet de l'effort de compression .....	75
<b>Figure 3.16 :</b>	Concentration des contraintes de cisaillement suivant l'axe (xy) sous l'effet de l'effort de compression .....	76
<b>Figure 3.17 :</b>	Concentration des contraintes de cisaillement suivant l'axe (xz) sous l'effet de l'effort de compression .....	76
<b>Figure 3.18 :</b>	Concentration des contraintes de cisaillement suivant l'axe (yz) sous l'effet de l'effort de compression .....	77
<b>Figure 3.19 :</b>	Déplacement moyenne de la boule sous l'effet de l'effort de compression...	77
<b>Figure 3.20 :</b>	Déplacement de la boule suivant l'axe (x) sous l'effet de l'effort de compression .....	78
<b>Figure 3.21 :</b>	Déplacement de la boule suivant l'axe (y) sous l'effet de l'effort de compression .....	78
<b>Figure 3.22 :</b>	Déplacement de la boule suivant l'axe (z) sous l'effet de l'effort de compression .....	79

## **Liste des tableaux**

	Page
<b>CHAPITRE 2</b>	
<b>Tableau 2.1 :</b> Principales caractéristiques des gaz combustibles.....	11
<b>Tableau 2.2 :</b> Guide de choix .....	14
<b>CHAPITRE 3</b>	
<b>Tableau 3.1 :</b> Propriété de masse attelage Hyundai i10.....	63
<b>Tableau 3.2 :</b> Propriété de masse attelage Caddy.....	63
<b>Tableau 3.3 :</b> Propriété de masse gabarit Caddy .....	63
<b>Tableau 3.4 :</b> Propriété de masse gabarit Hyundai i10 .....	63
<b>Tableau 3.5 :</b> Propriété de l'acier au carbone .....	64

## **Liste des abréviations**

*GBRS* : Groupement Bir Seba Sonatrach.

*SNC* : Société en nom Collectif.

*SAEE* : Soudage à l'Arc avec Electrode Enrobée.

*SAFP*: Soudage à l'Arc sous Flux en Poudre.

*MIG* : Soudage à l'arc sous protection de gaz inerte avec fil-électrode fusible.

*MAG* : Soudage à l'arc sous protection de gaz actif avec fil-électrode fusible.

*TIG* : Tungstène Inerte Gaz.

*FE*: Faisceau électrons.

*Nd-Yag* : Neodymium-Doped Yttrium Aluminium Garnet.

*DMOS*: Description Mode Opératoire de Soudage.

*QMOS* : Qualification Mode Operatoir de Soudage.



# **Introduction**

## **Générale**

Le soudage des métaux est une technique d'assemblage permanent qui établit la continuité métallique entre les pièces soudées.

On trouve l'industrie de soudage, dans tous les domaines d'activités : aéronautique, électronique, agro-alimentaire, mobilier métallique, bâtiments, travaux publics, tuyauterie, chaudronnerie, construction métallique, transport, pétrolier, matières plastiques etc.

Le but de ce travail est l'étude et la réalisation d'un attelage à boule pour véhicule léger avec gabarit comme montage de soudage.

La démarche consiste à :

- ✓ Etude et réalisation d'un attelage à boule de voiture de type i10 et CADDY ;
- ✓ Conception et réalisation du gabarit d'attelage pour les deux attelages.

Le mémoire est structuré en trois chapitres.

Le premier chapitre est consacré à la présentation de l'organigramme des entreprises (Agro-industrie Tlemcen) et (Groupement Bir Sebaa Sonatrach Ouergla) et un bref aperçu sur l'organisation et les travaux des entreprises.

Le deuxième chapitre présente les procédés et matériels de soudage.

Le troisième chapitre est réservé à l'étude et la conception d'un attelage à boule pour véhicules légers avec gabarit.

Le mémoire se termine par une conclusion générale et des perspectives.

**Chapitre I**

**Présentation des entreprises**

**GBR SONATRACH**

**Et**

**Agro-industrie**

## 1.1 INTRODUCTION

Le stage à Sonatrach pour acquérir le maximum d'expériences et découvrir les connaissances approfondies et de développer des compétences techniques de haut niveau dans une ou plusieurs spécialités du génie mécanique.

Le deuxième stage pour la réalisation de ce travail qui a été accueilli par l'entreprise Agro-industrie du groupe Kherbouche. La présentation de cette entreprise dans les paragraphes suivants.

## 1.2 PRESENTATION DE GROUPEMENT BIR SEBA SONATRACH (GBRS)

-*Description:* Contrat pour la réalisation d'un centre de traitement et production d'huile et de gaz.

-*Contrat signé:* 24 Août 2011

-*Contrat Effective:* 24 Novembre 2011

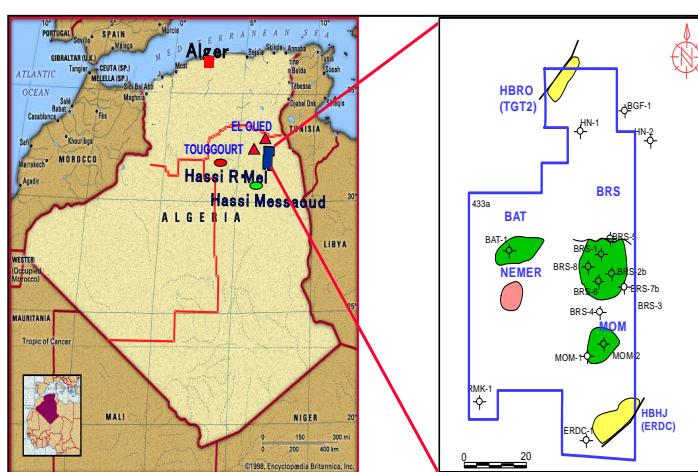
-*Valeur du Contrat:* 451,332,148.00 USD

- *Montant Forfaitaire :* 431,525,673.00 USD

- *Montant Prévisionnel:* 19,806,475.00 USD

### 1.2.1 Situation Géographique

La figure 1.1 présente la position géographique de l'entreprise.



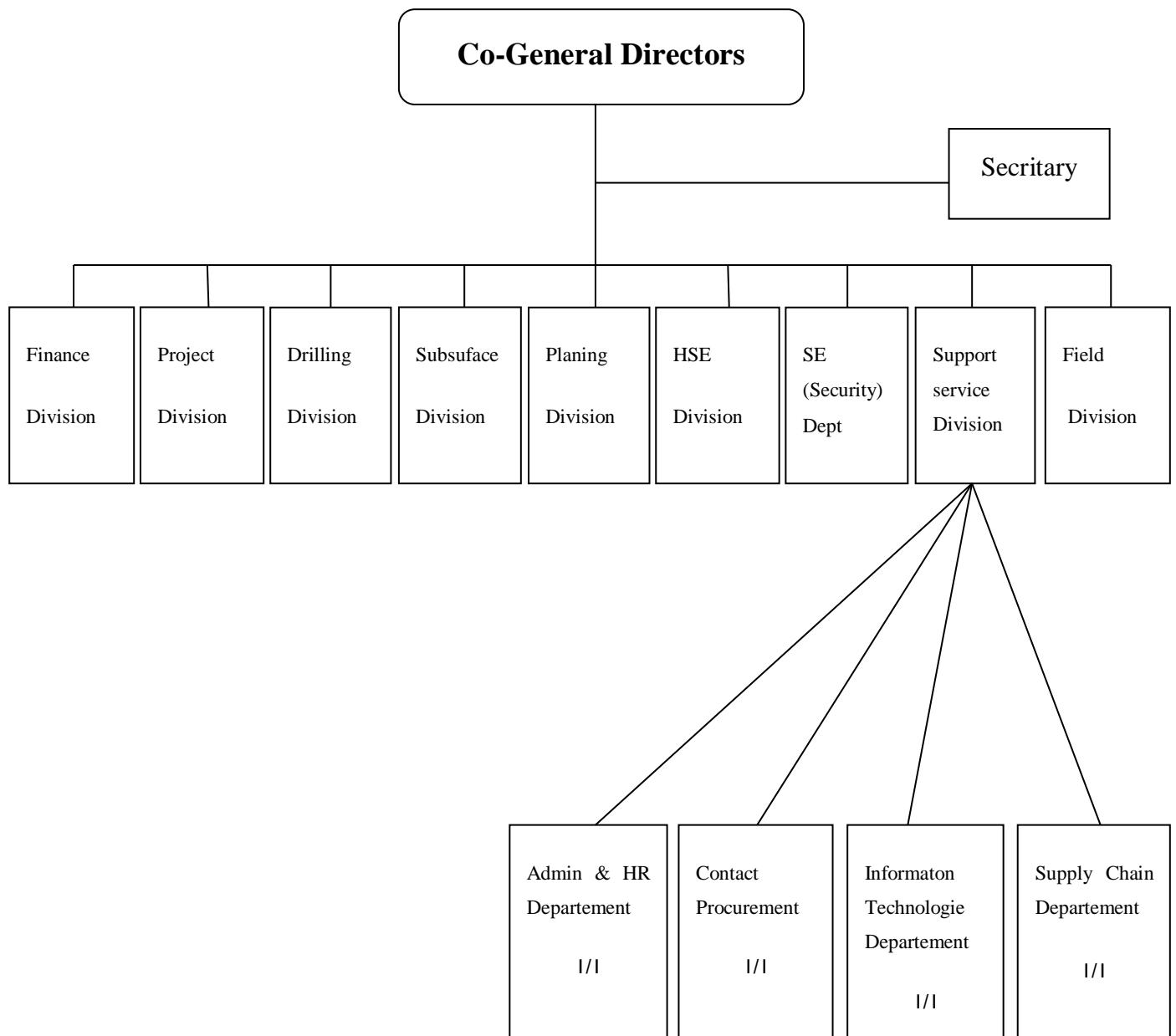
**Figure 1.1: Position de GBRS**

-Surface de périmètre d'exploitation BRS : 277.7 km<sup>2</sup>

-Surface de périmètre d'exploitation MOM : 176 km<sup>2</sup>

### 1.2.2 Organigramme de Groupement Bir Seba Sonatrach

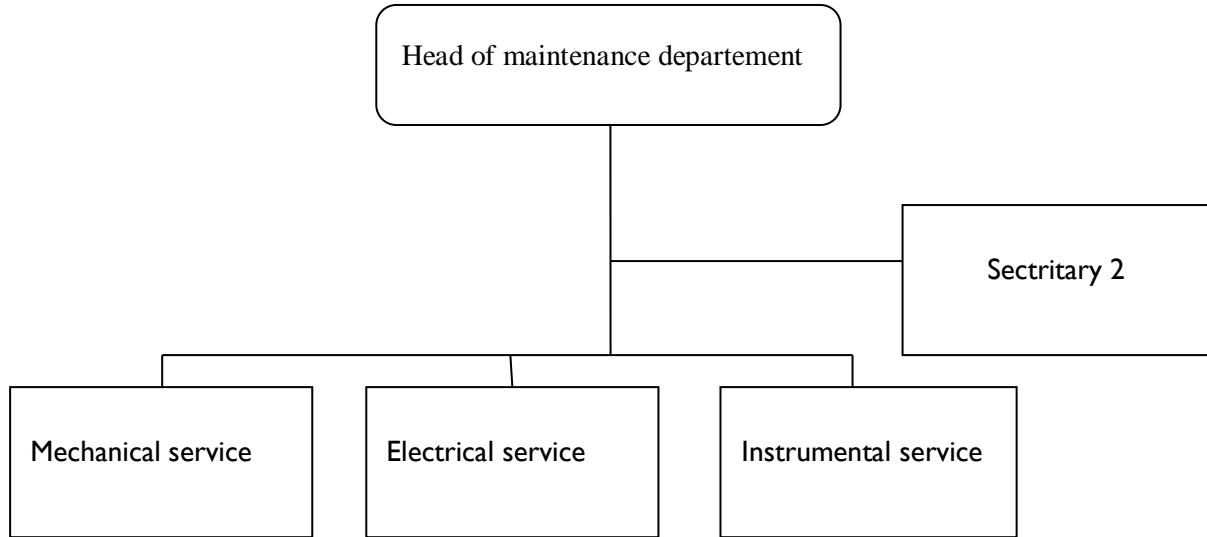
La figure 1.2 présente l'organigramme de l'entreprise GBRS.



**Figure 1.2 : L'organigramme de GBR Sonatrach.**

### 1.2.3 Organigramme de service maintenance

La figure 1.3 présente l'organigramme de service maintenance.



**Figure 1.3 : l'organigramme de service maintenance.**

## 1.3 PRÉSENTATION DE GROUPE KHERBOUCHE

Le groupe économique Kherbouche est un groupe qui se compose de 8 filiales (sociétés commerciales pluri-disciplinaires), sa direction se situe à la wilaya de Tlemcen, mais ses activités sont à l'échelle nationale. Crée en 1976, et depuis, sa seule mission est d'être au service de l'agriculture.

Le groupe à plus de 2000 employés dans toutes les spécialités, ils sont répartis sur les 8 filiales du groupe dans tout le territoire Algérien.

### 1.3.1 Présentation de l'entreprise Agro-industrie

Crée en 1985, sous forme de SNC, Agro Industrie s'est durablement installée dans l'équipement agro industriel à savoir l'ingénierie, la fabrication et la distribution.

### 1.3.2 Equipment Agro-industrie

Depuis sa création, Agro Industrie à toujours été la première pour l'introduction de nouveaux procédés en matière de :

Les figures 1.4 et 1.5 présentes les équipements de l'entreprise.



Pivot

Enrouleur

Goutte à goutte

Parques et jardins

**Figure 1.4: Equipment agriculture.**

Caillebotis

Chaudronnerie

Géo-Membrane

**Figure 1.5: Equipment industriel.**

Charpente métallique, Aspersion, serre multi chapelle, gaine d'irrigation, arrosage parcs et jardins ...

### 1.3.3 Coordonnées de l'entreprise

-*Adresse* : zone industrielle desserte N°3, 13000, Chetouane Tlemcen, Algerie.

-*Téléphone* : 043 27 60 50.

-*Fax* : 043 27 60 50.

-*Site* : <http://gkgroupe.com/gk/reseaux.html>.

### 1.3.4 Organigramme de l'entreprise Agro-industrie

La figure 1.6 présente l'organigramme de l'entreprise Agro-industrie.

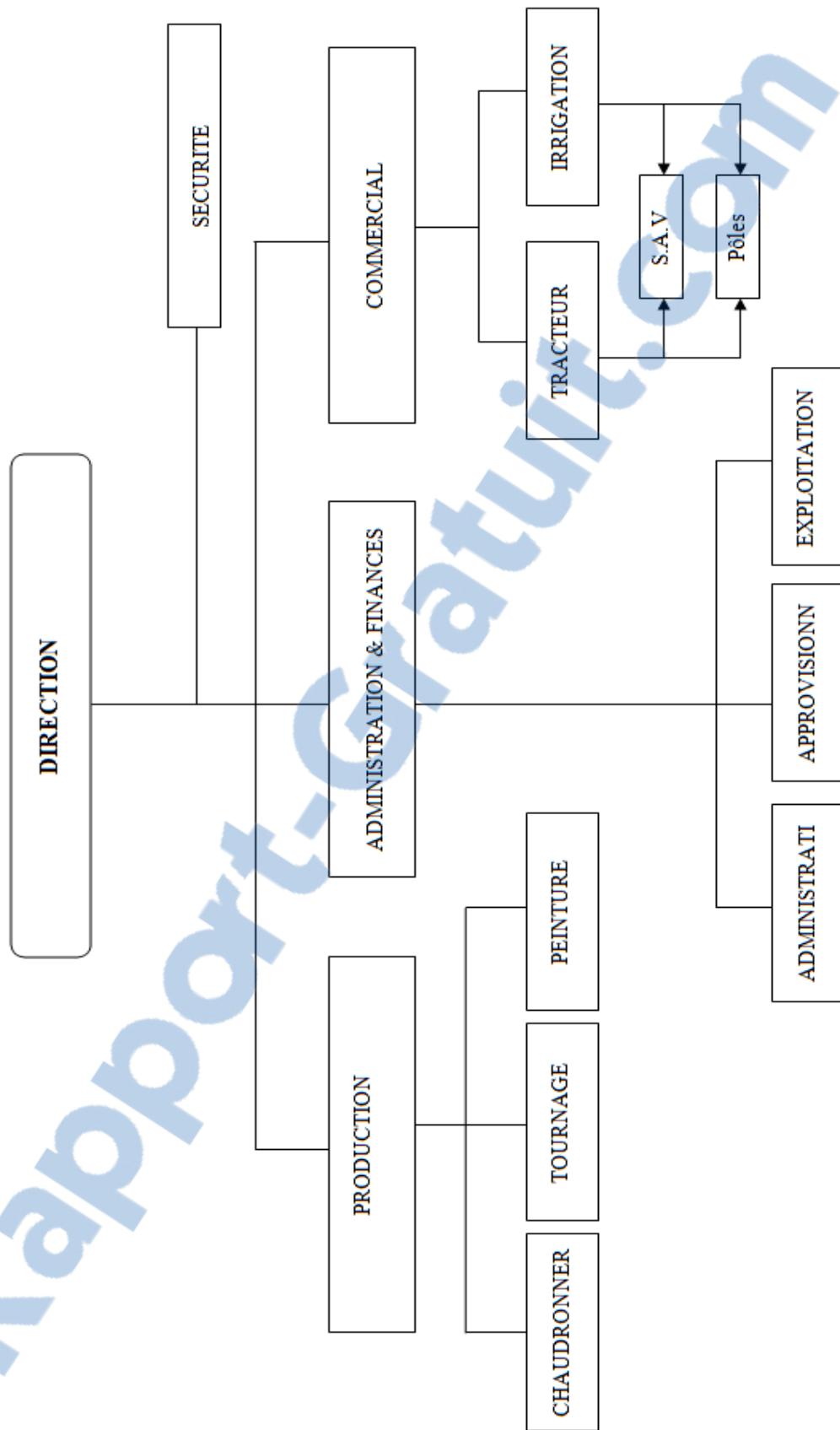


Figure 1.6 : L'organigramme de l'entreprise Agro-industrie

## **1.4 DEROULEMENT DU STAGE PRATIQUE**

Dans le stage pratique d'une durée d'un mois, qui a été accueilli par l'une des filiales du groupe qui est l'Inter Entreprise. L'objectif du ce stage est l'étude de réalisation d'un attelage à boule pour véhicule léger (Avec gabarit), ses principaux de ce PFE est la réalisation d'un gabarit pour faciliter le travaille de série d'un opérateur.

L'entreprise se compose de plusieurs services, parmi eux le service mécanique de l'entreprise qui contient différents types de ressources :

-Tour ; Fraiseuse ; Plieuse ; Tronçonneuse ; Poste à souder ; Perceuse...

## **1.5 CONCLUSION**

Cette expérience dans l'entreprise a fourni une bonne préparation pour entrer dans le monde professionnel car c'était une expérience enrichissante et complète confirmant le désir d'exercer le métier de futur «ingénieur» dans le domaine de la mécanique.

## **Chapitre 2**

# **Procédés et matériels de Soudage**

## 2.1 INTRODUCTION

Le soudage signifie de manière générale, l'action d'assembler des pièces mécaniques et métalliques, sous l'action d'une énergie calorifique générée par divers procédés, le soudage compte parmi les modes d'assemblage les plus répandus dans l'industrie du fait de son efficacité et de sa fiabilité pour réaliser des assemblages par liaisons permanentes, notamment dans l'univers de la construction mécanique.

Ce chapitre présente de nombreux procédés de soudage répondant à la très grande variété d'assemblages à réaliser et aux caractéristiques des métaux utilisés.

## 2.2 CLASSIFICATION DES PROCEDES DE SOUDAGE

Plusieurs critères peuvent être retenus pour classer les procédés de soudage : la nature de l'énergie utilisée, le type de protection du bain métallique, l'origine de la formation de la continuité métallique (phase liquide ou phase solide), la performance du procédé...

### \* *Soudage par pression*

Cette catégorie regroupe tous les procédés de soudage dans lesquels on obtient une soudure, en général sans métal d'apport, par l'application d'une pression ou d'une friction suivie d'une pression, suffisante pour provoquer une déformation plastique à froid ou à chaud, assurant la continuité atomique entre les bords de la soudure.

### \* *Soudage par pression et fusion*

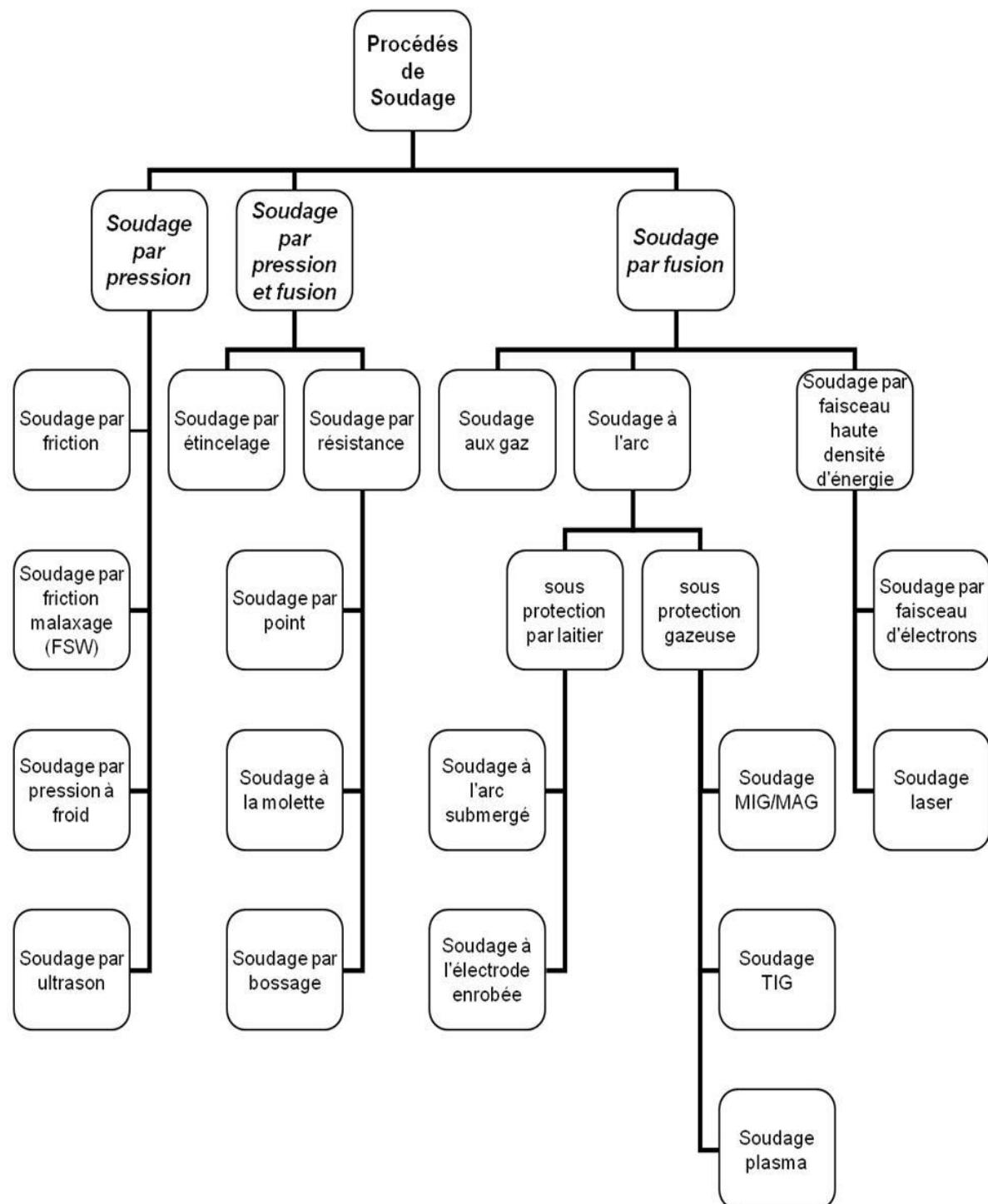
On retrouve dans cette catégorie le procédé de soudage par étincelage, qui consiste à fondre les surfaces à assembler à l'aide d'une décharge électrique avant d'appliquer une pression de contact, et surtout les procédés de soudage par résistance, pour lesquels le contact électrique entre les pièces est assuré par l'application d'une pression à l'aide d'électrodes de géométries variables, qui permettent ensuite de faire passer un courant de forte intensité à l'endroit du contact entre les pièces, entraînant par effet joule leur fusion.

### \* *Soudage par fusion sans pression*

La technique de soudage par fusion, la plus courante, consiste à fondre les bords des pièces à assembler, sans application de pression volontaire, à l'aide d'une source d'énergie produite par une flamme, un arc électrique ou un faisceau de particules. Le métal des deux pièces se mélange alors à l'état liquide, et constitue après solidification la soudure. Cette famille

comprend un grand nombre de procédés, parmi lesquels les procédés de soudage à l'arc, qui sont les plus utilisés.

La figure 2.1 représente la classification des procédés de soudage.



**Figure 2.1: Classification des procédés de soudage [5]**

## 2.3 SOUDAGE PAR FUSION

### 2.3.1 Soudage aux gaz

*\* Principe*

Le soudage au gaz (oxyacétylénique) est l'un des procédés de soudage les plus anciens et a longtemps été le plus répandu. Beaucoup moins utilisé aujourd'hui, il a toujours le triple avantage de sa polyvalence, de sa simplicité de mise en œuvre et du faible coût du matériel nécessaire. Il convient parfaitement pour les travaux de réparation ou de construction ou encore pour le soudage de tubes et de structures faits de matériaux (comme la fonte) particulièrement sujets à la fissuration, avec des parois de 0,5 à 6 mm d'épaisseur. Il est également très utilisé pour la soudure de métaux non ferreux ainsi que pour le placage ou le rechargement dur, mais aussi pour le coupage, le chauffage et le redressage à la flamme.

L'apport de chaleur est fourni par la combustion d'acétylène dans l'oxygène. La température de la flamme atteint environ 3 100 °C .Cette température est inférieure à celle de l'arc et la chaleur est moins concentrée. Le soudeur dirige la flamme sur les surfaces du joint, qui fondent. Un métal d'apport peut alors être ajouté selon le besoin. Le bain de fusion est protégé de l'air par la zone réductrice et par la zone secondaire de la flamme. Il faut par conséquent retirer la flamme progressivement à la fin de l'opération de soudage.

La flamme étant moins concentrée, le refroidissement est plus lent, ce qui constitue un avantage certain lorsqu'on soude des aciers, qui ont tendance à durcir

*\* Le matériel de soudage au gaz*

Inclut (figure 2.2) :

- ▶ Des bouteilles de gaz;
- ▶ Des manomètres-détendeurs/régulateurs;
- ▶ Des flexibles à gaz;
- ▶ Des dispositifs anti-retour de flamme;
- ▶ Des torches de soudage.



Figure 2.2 : Installation de soudage au gaz [8]

## \* Gaz de soudage et leur stockage

Les bouteilles de gaz inflammables doivent être stockées en extérieur ou dans des espaces bien ventilés. Une signalisation spécifique doit être apposée à l'extérieur de la zone de stockage. Les bouteilles d'acétylène et d'oxygène doivent être soigneusement séparées.

- Acétylène

L'acétylène (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>) est le principal gaz combustible utilisé pour le soudage au gaz. Le tableau 2.1 donne ses principales propriétés par rapport aux autres gaz combustibles. Il se compose de 92,3 % de carbone et de 7,7 % d'hydrogène. Sa combustion dans l'oxygène produit une température de combustion plus élevée que celle de tout autre hydrocarbure gazeux et sa flamme est bien plus concentrée que celle de tous les autres gaz.

**Tableau 2.1 : Principales caractéristiques des gaz combustibles.**

Gaz	Densité (kg/m <sup>3</sup> )	Valeur calorifique (MJ/Kg)	Température de flamme	Vitesse de combustion (m/s)
Acétylène	1.07	48.2	3100	13.1
Propane	2.00	46.4	2825	3.7
Hydrogène	0.08	120	2525	8.9

L'acétylène est hautement inflammable. Il forme avec l'air un mélange très explosible à des concentrations allant de 2,3 à 82 %. Il faut éviter soigneusement toute fuite des bouteilles ou des tuyaux. Même en l'absence d'air, l'acétylène sous pression est chimiquement instable et peut, dans certaines conditions, exploser en donnant du carbone et de l'hydrogène. On le stocke dans des bouteilles remplies d'un matériau poreux saturé d'acétone, qui absorbe le gaz sous une pression de 2 MPa. Une décomposition explosive peut se produire dans les tuyaux partant de la bouteille si la pression y dépasse 1,5 MPa.

- Oxygène

L'oxygène est stocké sous pression ou à l'état liquide. En bouteille, il est stocké sous 20 MPa. Les gros utilisateurs le reçoivent généralement sous forme d'oxygène liquide. Dirigé vers un élément inflammable, l'oxygène pur s'enflamme aisément.

### \* Détendeurs-régulateurs

Le gaz est stocké dans une bouteille à haute pression (cette pression varie selon le remplissage). Le détendeur-régulateur débite le gaz à la pression d'utilisation et assure un débit constant en dépit des variations de contre-pression dues au réchauffement de la torche de soudage.

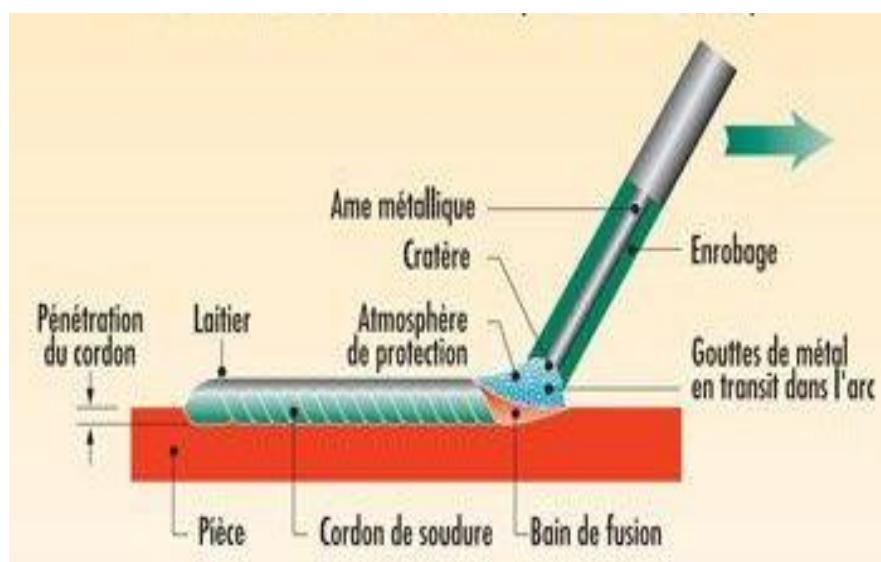
### 2.3.2 Procédés de soudage à l'arc

Le soudage à l'arc est un terme générique qui caractérise l'ensemble des procédés de soudage utilisant un arc électrique comme source de chaleur pour fondre et lier les matériaux métalliques. On retrouve dans cette famille quatre principaux procédés, qui se distinguent par des natures différentes d'électrodes (baguette ou fil fusible, électrode réfractaire) et par la nature du milieu protecteur vis-à-vis de l'atmosphère ambiante (laitier ou gaz).

#### 2.3.2.1 Soudage à l'arc avec l'électrode enrobée

\* *Principe*

Le soudage à l'arc à l'électrode enrobée (SAEE), soudage manuel ou soudage à la baguette est le plus connu des procédés de soudure. Lorsque l'on approche l'électrode enrobée des pièces à assembler, il se crée un arc électrique qui dégage un fort pouvoir calorifique qui provoque la fusion de l'électrode, la figure 2.3 présente le principe de procédé à l'arc avec l'électrode enrobée.



**Figure 2.3: Principe de procédé à l'arc avec l'électrode enrobée [6]**

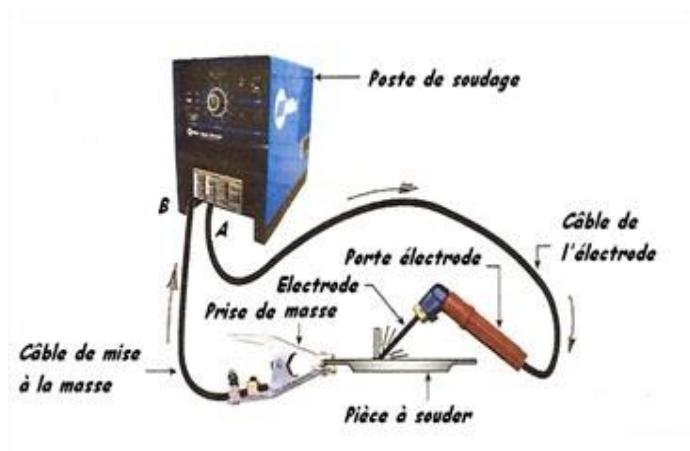
\* *Désignation*

- Désignation française : SAEE (Soudage à l'Arc avec Electrode Enrobée)
- Désignation américaine: SMAW (Shielded Metal Arc Welding)
- Désignation numérique : 111

### \* Matériels

Une installation de SAEE comprend:

- Un générateur de courant;
- Une pince porte électrode ;
- Un câble de masse ;
- Un câble d'alimentation.



**Figure 2.4 : Installation de SAEE [6]**

### \* Constitution d'une électrode classique

Elle est constituée de :

- L'âme : c'est un fil métallique plein de nature voisine du métal de base (acières non alliés et inoxydable), exception pour le soudage des fontes (âme en Ni).
- L'enrobage : il entoure l'âme sur toute la longueur excepté la partie terminale pour assurer un bon contact électrique avec le porte-électrode. L'extrémité opposée est meulée pour permettre le court-circuit avec la pièce et faciliter ainsi l'amorçage.

### \* Rôle de l'enrobage

Le rôle de l'enrobage c'est important dans le soudage, donc il ya Trois rôles importants :

- Rôles électriques : À froid, il est isolant et donc protège le soudeur de l'électrisation et contient des produits émissifs (oxydes et carbonates) favorisant amorçage et la stabilité de l'arc.
- Rôles mécaniques : La fusion de l'enrobage a un certain retard sur celui de l'âme ce qui crée un cratère qui guide l'arc.
- Rôle métallurgique : protection contre l'oxydation, Désoxydant du bain de fusion, Diminution de la vitesse de solidification et de refroidissement.

### \* Intensité de soudage

$$- I = 50 \times (\text{Ø de l'électrode} - 1)$$

- Paramètres de base à affiner par le soudeur

\* *Guide de choix*

Le tableau 2.2 présente les avantages et les inconvénients de SAFE.

**Tableau 2.2 : Guide de choix.**

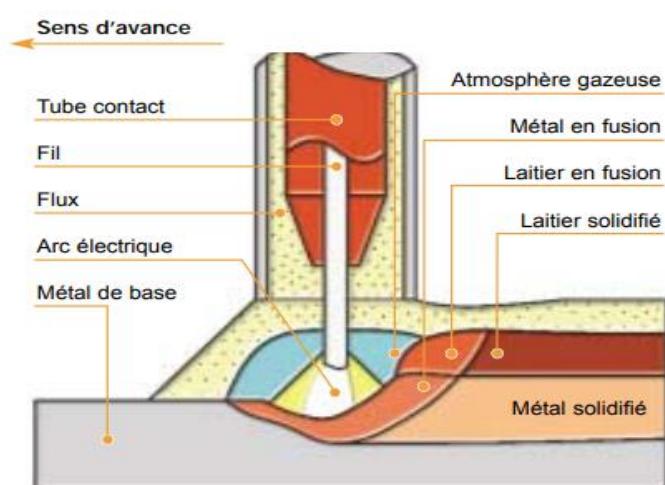
AVANTAGES	INCONVENIENTS
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Faible coût de l'installation</li> <li>- Facilité de mise en œuvre</li> <li>- Vaste domaine de produits</li> <li>- Vaste domaine d'utilisation</li> <li>- Cordon de qualité</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Faible facteur de marche</li> <li>- Faible taux de dépôts (1 à 2,5 kg / Heure)</li> <li>- Présence de laitier</li> <li>- Coût de l'étuvage des électrodes basiques</li> </ul>

### 2.3.2.2 Soudage à l'arc Submergé

\* *Principe*

L'arc créé entre le fil et la pièce à souder est protégé par une couche de flux. Cette couche de flux protège le bain de fusion de la contamination (oxydation du bain) et concentre l'apport d'énergie dans le joint. Le flux fond, se mêle intimement au bain de fusion, avec une action désoxydante, purifiante et enrichissante sur le métal en fusion, puis remonte à la surface du bain de métal pour former le laitier.

La figure 2.5 présente le principe de soudage à l'arc Submergé.



**Figure 2.5 : Principe de procédée de soudage à l'arc Submergé [7]**

\* *Désignation*

-Désignation française: Soudage à l'Arc sous Flux en Poudre (SAFP)

-Désignation américaine: Submerged Arc Welding (SAW)

-Désignation numérique: 121

*\* Matériels*

Une installation de SAFP comprend:

- Un générateur de courant continu ou alternatif ;
- Un coffret de commande et autre d'automatisme ;
- Un dévidoir entraînant le fil à une vitesse régulière ;
- Une alimentation en flux en poudre (trémie) ;
- Une torche qui assure le guidage du fil électrode ; dirige l'arc et amène le flux de protection ;
- Une gaine de torche et un câble de masse.

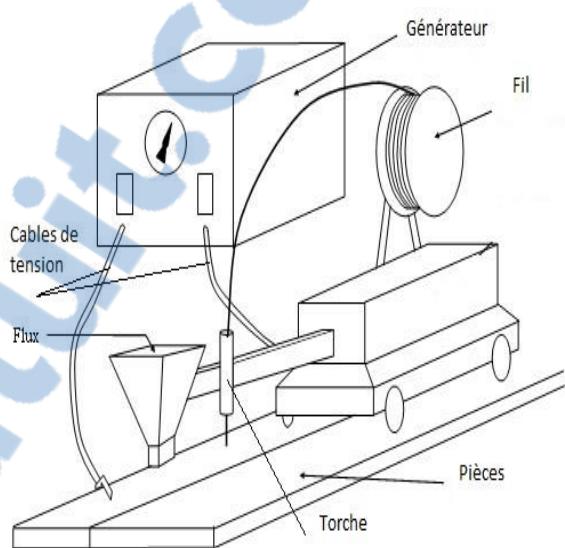


Figure 2.6 : Installation de SAFP [7]

*\* Type de courant utilisé*

En courant continu, l'arc submergé peut être utilisé en polarité :

- DC+ pour favoriser la pénétration
- DC- pour favoriser le taux de dépôt

Le courant continu est d'un emploi plus aisné et donne lieu à un meilleur amorçage et une stabilité supérieure de l'arc ainsi qu'une meilleure qualité du cordon.

*\* Domaines d'applications*

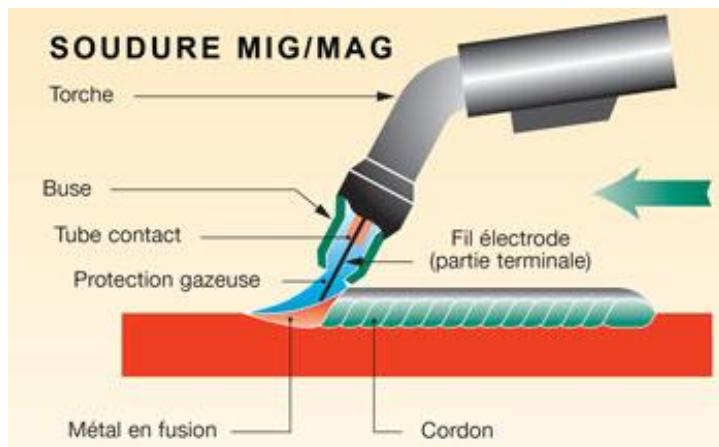
- Industrie légère ou lourd (acières non alliés) ;
- Appareils à pression (acières faiblement alliés) ;
- Industrie pétrochimique (acières inoxydables/base nickel) ;
- Les travaux de grande distance.

### 2.3.2.2 Soudage MIG/MAG

*\* Principe*

Le soudage électrique à l'arc en atmosphère gazeuse avec électrode fusible, est un procédé dans lequel la source de chaleur assurant la fusion simultanée des bords des pièces à assembler et du métal d'apport est un arc électrique jaillissant au sein d'une atmosphère inerte ou active entre les pièces à souder et une électrode consommable (fusible).

La figure 2.7 présente le principe de soudage MIG/MAG.



**Figure 2.7 : Principe procédée de soudage MIG/MAG [5]**

*\* Désignation*

-Désignation française

Soudage MIG: soudage à l'arc sous protection de gaz inerte avec fil-électrode fusible.

Soudage MAG: soudage à l'arc sous protection de gaz actif avec fil-électrode fusible.

-Désignation américaine: Gas Metal Arc Welding (GMAW)

-Désignation numérique: 131 (MIG), 135 (MAG).

*\* Matériels*

Schématiquement (Figure 2.8), une installation de soudage MIG/MAG comprend :



**Figure 2.8 : Installation de soudage MIG/MAG.**

- Un générateur de courant;
- Un coffret de commande, le plus souvent intégré au générateur;
- Un dévidoir entraînant le fil à une vitesse régulière;
- Une alimentation en gaz;
- Un dispositif de refroidissement à l'eau, lorsqu'on utilise des intensités supérieures à 300 A;
- Une torche ou pistolet, qui assure le guidage final du fil électrode, dirige l'arc et amène le gaz de protection au travers d'une base;
- Un faisceau regroupant le fil électrode guide dans un gain, le câble d'amenée du courant, les câbles reliés au coffret de commande, le tuyau de gaz et les canalisations d'eau si la torche est refroidie.

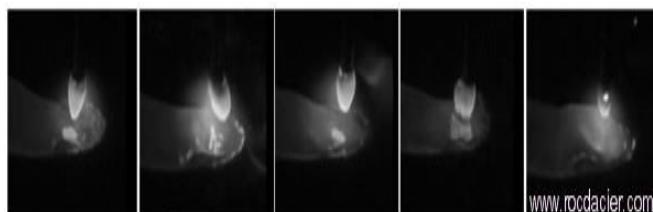
\* *Différents modes de transfert d'arc*

- Le transfert par court-circuit (short-arc)

L'intensité et la tension sont basses ( $I < 200$  A et  $U$  entre 14 et 20 V), la pénétration est bonne. Le métal se dépose par gouttes dans le bain de fusion par une série de courts circuits (50 à 200 environ par seconde) entre le fil d'apport et le métal à souder.

Cette méthode de transfert permet une bonne précision dans les passes de pénétration.

La figure 2.9 et 2.10 présente le principe transfert par court-circuit.



**Figure 2.9 : Transfert par court-circuit [8]**

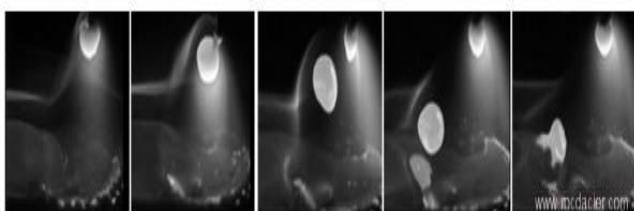


**Figure 2.10 : Cordon en court-circuit.**

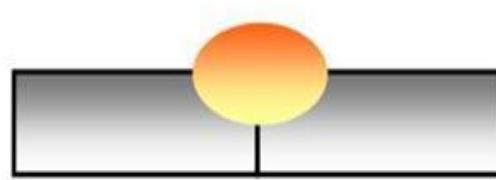
-Le transfert globulaire (grosse-goutte)

Il s'agit d'un régime intermédiaire entre le régime par court-circuit et le régime par pulvérisation axiale. Les projections sont difficiles à éviter.

La figure 2.11 et 2.12 présente le principe transfert globulaire.



**Figure 2.11 : Transfert grosse-goutte [8]**

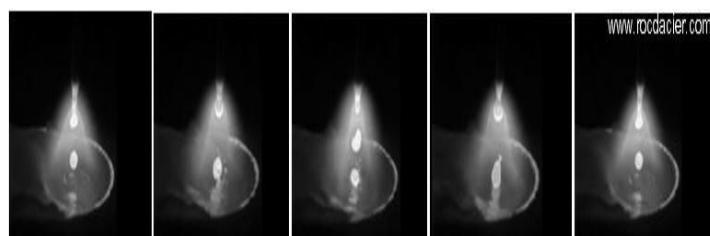


**Figure 2.12 : Cordon en transfert globulaire.**

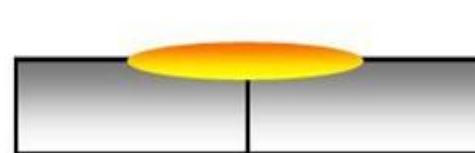
-Le transfert par pulvérisation axiale (spray-arc)

L'intensité et la tension sont élevées ( $I > 200$  A et U entre 20 et 40 V). L'extrémité du fil fond en très fines gouttelettes projetées dans le bain de fusion. L'arc est long et stable et le taux de dépôt est très important.

La figure 2.13 et 2.14 présente le principe transfert par pulvérisation axiale.



**Figure 2.13 : Transfert par pulvérisation axiale.**



**Figure 2.14 : cordon en pulvérisation**

**axiale.**

### \* Dévidage

Le dévidoir assure l'entraînement du fil électrode de la bobine jusqu'au tube contact. Son rôle est important car il doit permettre une vitesse de dévidage constante.

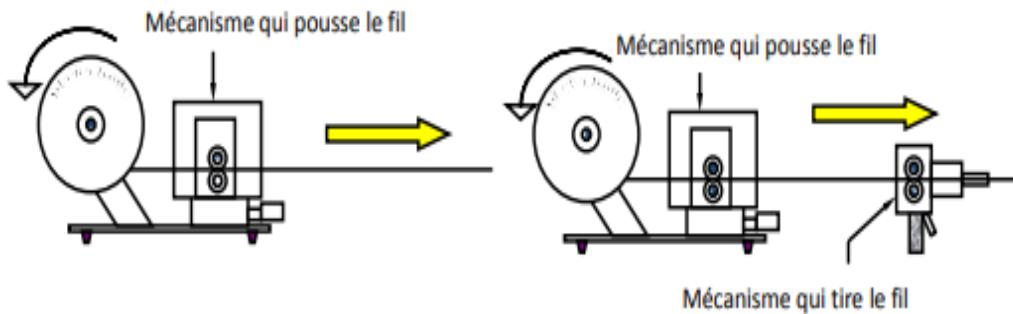
Selon la distance bobine - torche et la nature du fil, on peut trouver différents modes de dévidage.

-Poussé : le fil est poussé dans la gaine par les galets. C'est la solution la plus fréquente pour les petites Longueurs de faisceau (< 4 m).

-Tiré : le fil est tiré depuis un pistolet. Surtout utilisé pour les fils mous ou de petits diamètres, il permet également d'allonger les Longueurs de faisceau.

-Poussé - Tiré : Combinaison des deux systèmes précédents, cette solution est adaptée aux fils mous ou de petits diamètres, avec des Longueurs de faisceau plus importantes (> 8 m).

La figure 2.15 illustre le principe mode de dévidage.



**Figure 2.15 : Mécanisme de dévidage de fil d'apport [8]**

### \* Gaz de protection

Les gaz utilisés en soudage MIG/MAG sont nombreux. On peut les classer en parlant d'atmosphère:

-Inerte pure : Ar, He, Ar + He

-Active pure : CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>

-Activée : mélange à 2, 3 composants ou plus : Ar + CO<sub>2</sub>, Ar + O<sub>2</sub>, Ar + CO<sub>2</sub> + O<sub>2</sub>, Ar + CO<sub>2</sub> + O<sub>2</sub>

Le MIG correspond à l'utilisation d'une atmosphère inerte pure.

Le MAG correspond à l'utilisation d'une atmosphère active pure ou activée. Bien que l'on puisse utiliser les gaz à l'état pur et en mélange, chaque type de gaz aura une influence différente sur le bain liquide:

- L'argon : une pénétration assez profonde et étroite.
- Le dioxyde de carbone : un mouillage moyen, et une pénétration large.
- L'oxygène : un bon mouillage, une pénétration peu large mais profonde.
- L'hélium : un bon mouillage, une pénétration profonde et étroite, et une zone fondue large.
- L'hydrogène : sera utilisé uniquement sur acier non trempant et austénitique.
- L'azote : n'est utilisé que pour des protections envers d'acières austénitiques.

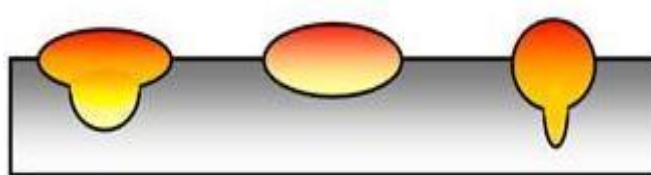
*\* Choix du gaz et influence du gaz sur le cordon :*

-Premier cordon : ARGON + O<sup>2</sup>

-Deuxième cordon : ARGON + CO<sup>2</sup>

-Troisième cordon : CO<sup>2</sup>

La figure 2.16 présente l'influence du gaz sur le cordon.



**Figure 2.16 : Influence du gaz sur le cordon [8]**

*\* Choix des diamètres du fil d'apport*

Le diamètre du fil s'effectue suivant les travaux de soudage à réaliser :

Exemples :

-Carrosserie : Ø 0,6 mm (40 à 100 A environ) ;

-Tuyauterie de faible épaisseur et tôlerie fine : Ø 0,8 mm (60 à 180 A environ) ;

-Soudage courant et passes de pénétrations : Ø 1,0 mm (100 à 300 A environ) ;

-Soudage d'épaisseurs 6 – 8 mm : Ø 1,2 mm (150 à 350 A environ) ;

-Soudage d'épaisseurs de 10 mm environ: Pour Ø 1,6 mm (200 à 700 A environ).

#### \* Domaines d'application

Le soudage MIG/MAG est un procédé qui renferme de multiples facettes. De très hautes performances de fusion peuvent être atteintes dans presque toutes les positions de soudage.

Ce procédé est toujours utilisé lorsqu'il s'agit d'entreprendre des travaux de soudage sur des aciers non-alliés, alliés à basse teneur ou super alliés, des matériaux à base de nickel ainsi que sur de l'aluminium.

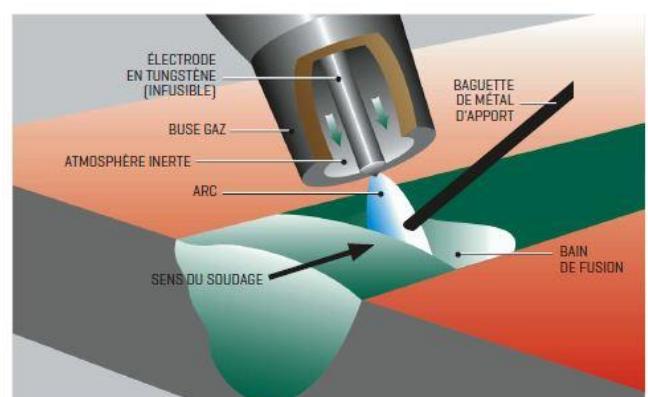
Par ailleurs, ce procédé de soudage est souvent utilisé, de multiples manières, dans la branche automobile et industrielle.

#### 2.3.2.4 Soudage TIG

##### \* Principe

La source de chaleur est un arc électrique qui est maintenu entre une électrode réfractaire (non consommable) et la pièce. Le métal d'apport (non obligatoire) est généralement amené séparément sous forme de baguettes ou dans certains cas d'automatisation par un fil de faible diamètre (de 0,6 à 1 mm) en bobine. Le gaz de protection du bain de fusion est toujours inert (Argon, Hélium ou mélange des deux). Il est complété par un gaz réducteur dans certaines applications. Le métal de l'électrode doit être réfractaire et thermo-émissif. C'est pour cela que le tungstène a été choisi.

La figure 2.17 présente le principe procédée de soudage TIG.



**Figure 2.17 : Principe procédée de soudage  
TIG [8]**

*\* Désignation*

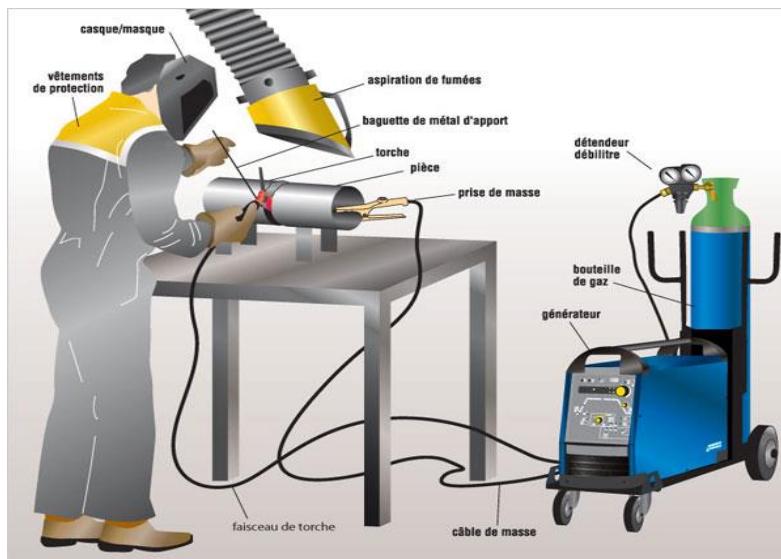
-Désignation française: Soudage TIG ou soudage à l'arc en atmosphère inerte avec électrode de tungstène (Tungstène Inerte Gaz)

-Désignation américaine: Gas Tungsten Arc Welding (GTAW)

-Désignation numérique: 141

*\* Matériels*

Schématiquement (figure 2.18), une installation de soudage TIG comprend:



**Figure 2.18 : Installation de soudage TIG.**

- Un générateur de courant délivrant du courant alternatif ou continu ;
- Un câble de retour de courant ;
- Un coffret de commande permettant le réglage des paramètres de soudage ;
- Une alimentation en gaz de protection ;
- Un dispositif d'amorçage à distance délivrant une tension de 6000V à haute fréquence ;
- Un dispositif de refroidissement (lorsque  $I_{\text{r}} > 200\text{A}$ ), une torche de soudage, avec l'électrode de tungstène et la buse d'amenée de gaz de protection ;
- Une gaine regroupant le câble d'amené du courant, les câbles reliés au coffret de commande,

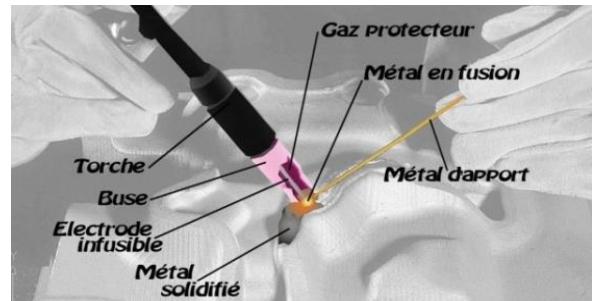
Le tuyau de gaz et les canalisations du liquide de refroidissement.

*\* Description de la torche*

Selon la figure 2.19 La torche contient de :

-La buse,

-L'électrode infusible.



**Figure 2.19 : Description de la torche TIG [8]**

*\* Buses utilisées en soudage TIG*

Les buses utilisées seront soit en céramique (rose foncé), en aluminium (rose clair) ou en corindon (blanc) et auront un diamètre qui pourra varier de 6 mm à 20 mm suivant l'intensité de soudage.

La figure 2.20 présente un exemple de buse en céramique :



**Figure 2.20 : Buse en céramique [8]**

*\* Electrodes réfractaires*

-Nature

L'électrode doit pouvoir résister à la chaleur produite par l'arc électrique. Le tungstène, avec une température de fusion de 3410°C est le métal qui répond le mieux au problème.

Pour augmenter la température de fusion de l'électrode et renforcer son pouvoir émissif, notamment pour faciliter l'amorçage de l'arc, on lui incorpore des additions d'oxydes de Thorium ( $\text{ThO}_2$ ), de Zirconium ( $\text{ZrO}_2$ ), de Lanthane ( $\text{LaO}_2$ ) ou de Cérium ( $\text{CeO}_2$ ) en quantités variant de 0,15 à 4,2 %.

- Les diamètres sont normalisés : 0,5 -1 -1,6 -2 -2,5 -3,2 -4 - 5 mm.
- Les longueurs également: 50 – 75 – 150 – 175 mm.

\* *Courants utilisés*

-Courant continu : s'utilise toujours en polarité directe (CC-). Le faisceau d'électrons ainsi émis entraîne un échauffement élevé de la pièce à souder et donne un arc stable à forte énergie donnant un bain de fusion étroit et profond.

La polarité inverse (CC+) donne un bain de fusion de faible pénétration et provoque surtout un échauffement trop important de l'électrode qui subit le bombardement électronique.

-Courant alternatif : n'est utilisé que pour le soudage des alliages d'aluminium. Très oxydables, ils sont toujours recouverts d'une couche d'oxyde d'alumine Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Cette alumine a la particularité de fondre vers 2000°C, alors que l'aluminium fond vers 660°C. Étant très difficile à fondre, on se retrouve ainsi avec une pellicule d'alumine qui recouvre le bain de fusion. En polarité inverse, le passage des électrons de la tôle vers l'électrode annuler la couche d'alumine réfractaire.

\* *Gaz utilisés*

**L'argon pur** est le plus couramment utilisé en soudage TIG.

**L'hélium** utilisé en complément à l'argon, l'arc développe une énergie plus importante et donc des performances accrues du fait de vitesse plus grande.

**L'hydrogène** utilisé en addition avec l'argon permet lui aussi d'obtenir un arc plus énergétique, donc une vitesse de soudage améliorée. En outre, une pénétration plus importante est constatée ainsi qu'un aspect plus esthétique du cordon de soudure.

\* *Affûtage des électrodes en tungstène*

Lors de la soudure TIG, l'affûtage des électrodes est un paramètre très important puisque la qualité de votre cordon dépendra en partie de cette opération.

Dans tous les cas les stries dues au meulage doivent être dans le sens de l'électrode et devront respecter un angle de 30° à 60° avec un méplat pour éviter les inclusions de tungstène dans le cordon de soudure, si vous soudez des aciers. Un affûtage à 90° sera réalisé pour souder des alliages légers tels que l'aluminium.

La figure 2.21 présente la bonne façon de l'affutage d'électrode.



**Figure 2.21: Bonne façon de l'affutage.**

#### \*Domaine d'application

Les principaux domaines d'application du soudage TIG sont: la construction de matériaux pour l'industrie chimique et alimentaires, la chaudronnerie d'acier inoxydable, les industries nucléaire, aéronautique et spatiale. De façon plus générale, les industries mettant en œuvre les aciers inoxydables et alliages légers. Ce procédé s'emploie principalement en soudage manuel mais peut s'automatiser.

### 2.3.3 Soudage par faisceau haut densité d'énergie

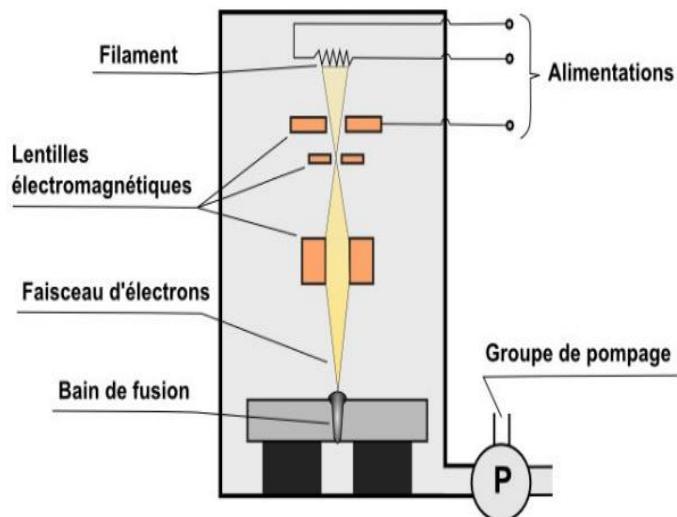
#### 2.3.3.1 Soudage par faisceau électrons

##### \* Principe

Ce procédé met en œuvre l'énergie d'un faisceau d'électrons accéléré. La fusion du métal est obtenue par le transfert de l'énergie cinétique en chaleur lorsque les électrons impactent les pièces. Généralement, les pièces à souder et le canon à électrons sont placés dans la même enceinte où règne un vide de  $10^{-6}$  Torr.

Le procédé nécessite une automatisation complète du fait que tout est dans une chambre à vide, le soudage par faisceau d'électrons permet l'assemblage de tôles d'acier de quelques 1/10 à 300 millimètres d'épaisseur, en une seule passe. La puissance du faisceau provoque la fusion presque instantanément sur toute l'épaisseur.

La figure 2.22 présente le principe de procédé faisceau électrons.



**Figure 2.22 : Principe de procédé faisceau électrons [9]**

\* *Désignation*

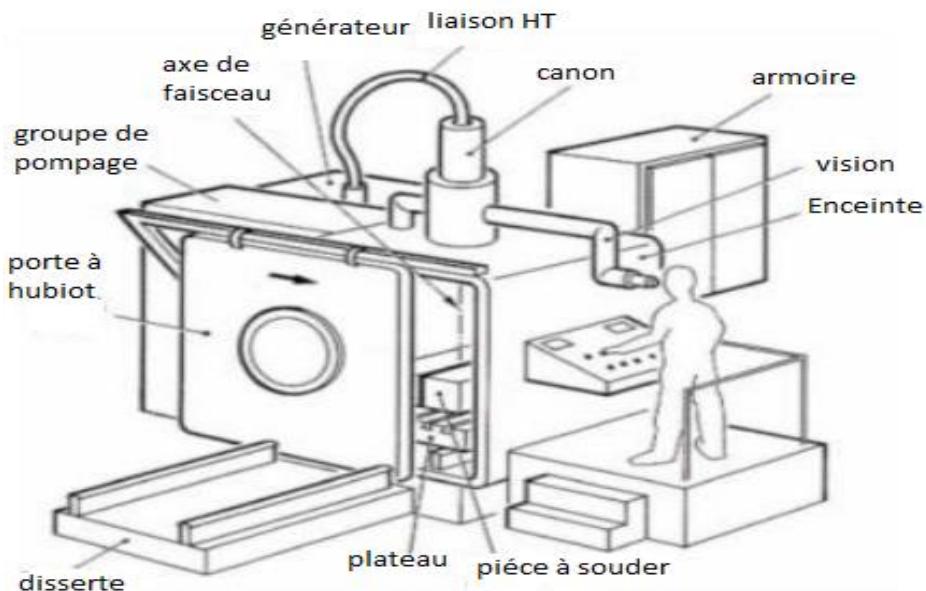
-Désignation française: Soudage par faisceau d'électrons

-Désignation américaine: Electron Beam Welding (EBW)

-Désignation numérique: 76

\* *Machines à souder par FE*

La figure 2.23 présente une machine à souder par FE.



**Figure 2.23 : Machine à souder par FE [9]**

- Une enceinte avec une porte à hublot pour le chargement des pièces ;
- Un canon à électrons associé à l'enceinte et son générateur électrique;
- Un système de pompage avec une vanne d'isolation pour maintenir le vide;
- Un positionneur ou table destiné à recevoir un support de pièces et équipé des moyens de déplacer l'ensemble par rapport au faisceau ;
- Un coffret de commande automatique permettant de régler les différents paramètres de l'opération et de commander le cycle de soudage.

*\* Technique de soudage*

La technologie est très bien adaptée au soudage en bout en un seul passage avec des épaisseurs pouvant aller jusqu'à 200 mm sur acier. Les surfaces jointes sont généralement fraîchies pour permettre un meilleur contact. Un métal d'apport peut être introduit sous forme de feuillard placé entre les pièces ou sous forme de fil amené en cours de soudage. Pour des pièces d'épaisseur modeste, il est possible d'obtenir de très bons résultats cosmétiques en utilisant, par exemple, un second passage du faisceau pour adoucir l'aspect de surface.

La plupart des métaux peuvent être soudés par cette méthode, y compris les métaux traditionnellement difficilement soudables sans apport de matière extérieure comme : les métaux réfractaires, les métaux faiblement allié, les métaux à grande conductibilité thermique, cuivre « Super alliages », tantale, titane, molybdène, etc.

*\* Caractéristiques du procédé*

- Gamme d'intensité : 10 à 500 mA ;
- Voltage : de 10 à 150 kV ;
- Puissance : 3 à 500 kW ;
- Gamme d'épaisseur : 0,2 à 200 mm.

*\* Avantages*

- Qualité exceptionnelle, pas de contamination du bain de fusion par oxydation et inclusion ;

- Déformations minimales, faible retrait mécanique ;



- Grande vitesse de soudage jusqu'à 15 m/min ;
- Pas de fumées, pas d'émission de poussières, protection complète contre le rayonnement dangereux ;
- Pénétration importante qui permet de souder en une seule passe des fortes épaisseurs sans métal d'apport ;
- Peu d'apport calorifique, zone affectée thermiquement très étroite.

*\* Inconvénients*

- Appareillage onéreux ;
- Préparation précise et soignée ;
- Temps pour faire le vide dans l'enceinte qui peut être une entrave pour de grandes pièces ;
- Dimensions importantes de l'enceinte sous vide ;
- Matériaux magnétiques en permanence non soudables.

*\* Domaine d'application*

L'utilisation du soudage par faisceau d'électrons trouve toute son utilité dans le soudage de pièces de grande taille où la distorsion après soudure doit être limitée au maximum. L'industrie nucléaire et l'aérospatiale sont à l'origine des premières applications industrielles. Grâce à la qualité des résultats obtenus, et malgré l'investissement nécessaire, on retrouve également cette technologie dans les milieux de l'automobile, notamment dans la soudure des pièces de transmission.

### **2.3.3.2 Soudage Laser**

*\* Définition du Laser*

Le mot LASER est l'acronyme de « Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation » (amplification de lumière par émission stimulée).

*\* Principe du laser*

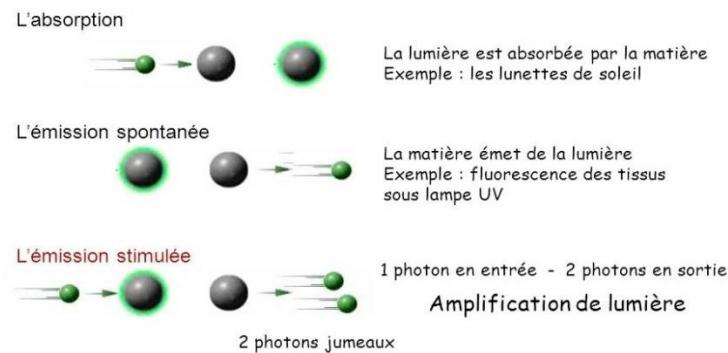
Les photons peuvent réagir avec la matière de trois manières :

- L'absorption : lorsqu'un photon rencontre un atome ce photon est absorbé par celui-ci. L'atome, initialement au niveau E1, passe alors au niveau supérieur E2 (devient excité).

-L'émission spontanée : lorsque l'atome est déjà excité, les électrons vont donc transiter spontanément vers un niveau d'énergie inférieur, en émettant un photon (devient désexcité).

-L'émission stimulée : lorsqu'un photon interagit avec un atome, à l'état excité, le photon n'est pas absorbé mais provoque la désexcitation de l'atome et l'émission d'un autre photon identique au photon incident (même fréquence et même direction).

La figure 2.24 présente le principe de laser.



**Figure 2.24 : Principe du laser [8]**

\* *Principe du soudage par laser*

Ce procédé est utilisé un rayon laser puissant généré dans une cavité comportant un milieu actif amplificateur et qui :

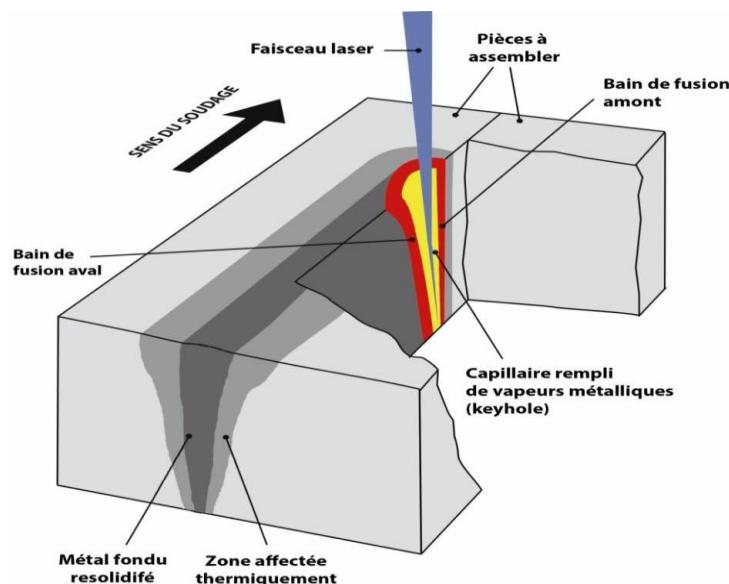
- Peut se propager dans l'air ambiant ;
- Peut être transporté à distance sans affaiblissement notable et dévié par réflexion ou réfraction;
- Peut être focalisé par un moyen optique simple, mais à faible distance.

En soudage, il faut protéger le métal en fusion par addition de gaz inerte.

Soudage par Laser L'impact du rayon laser sur la matière donne lieu à la formation d'un capillaire ou keyhole (trou de serrure). La puissance du rayon développée quasi intégralement à son point d'impact résulte une tension de vapeur élevée refoulant un film de métal en fusion vers les bords et donnant par suite naissance à une petite cavité que le faisceau emprunte en surface pour progresser. De proche en proche se forme un puits étroit qui se propage dans la matière. Ce puits, de diamètre à peine supérieur à celui du rayon laser, est occupé par un

plasma de vapeurs métalliques et ses parois sont tapissées d'un film de métal en fusion maintenu par capillarité. Lorsque le faisceau se déplace le long du plan de joint en soudage bout à bout, le métal en fusion est rejeté vers l'arrière et referme ainsi le capillaire en formant un cordon de soudure.

La figure 2.25 présente le principe de soudage par laser.

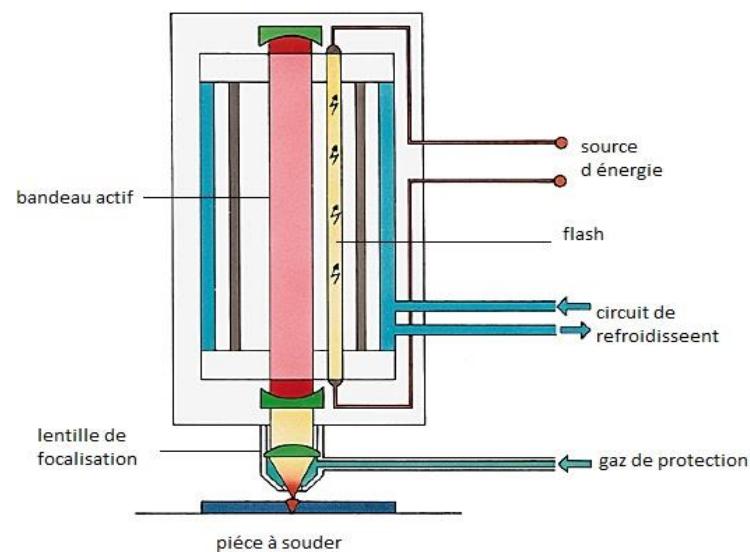


**Figure 2.25 : Principe du soudage par laser [8]**

\* *Installation de soudage par laser*

Le soudage par laser se conduit au moyen d'une machine automatique ou d'un robot.

Une installation de soudage par laser se compose de:



**Figure 2.26 : Installation de soudage par laser.**

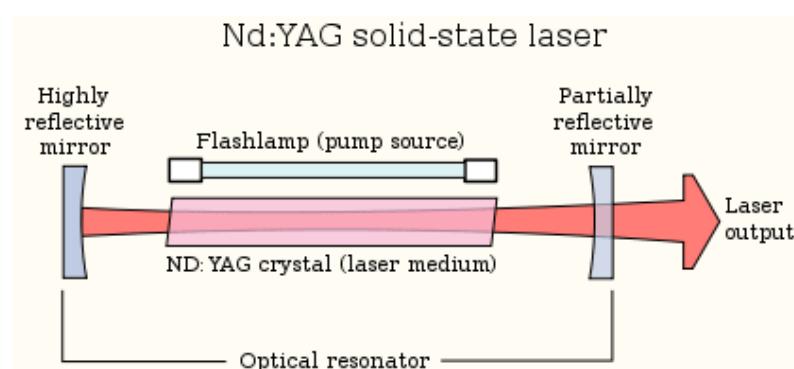
- Une source laser prend la place du générateur de courant d'arc ;
- Une tête de focalisation remplace la torche ;
- Un conduit optique amène le rayon laser de la source à la tête;
- Une alimentation en gaz de protection de la soudure et d'écrans de sécurité.

*\* Types de lasers utilisés en soudage*

Actuellement deux types de laser sont utilisés en soudage:

-Laser à solide Nd-Yag : peuvent fonctionner de façon impulsionnelle (excités par des lampes flash). La récurrence est de 300 impulsions par seconde d'une durée de 0,5 à 10 ms, et la puissance moyenne est de 500W.

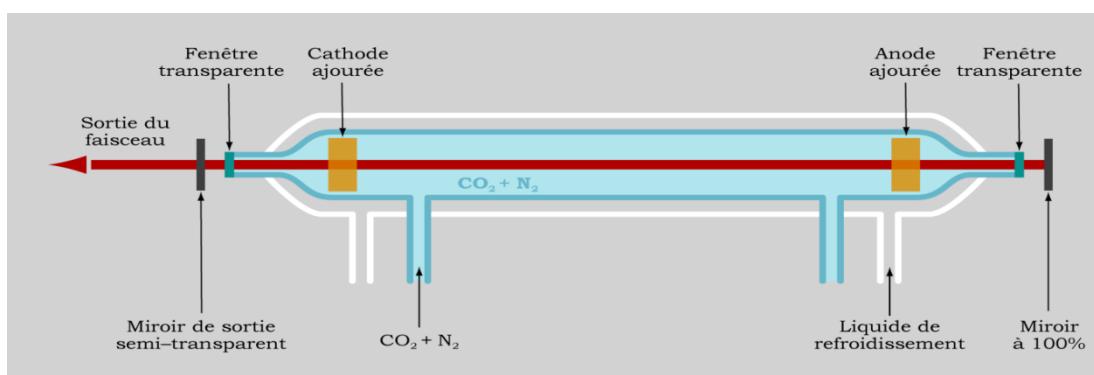
La figure 2.27 présente le laser à solide Nd-Yag.



**Figure 2.27 : Laser à solide Nd-Yag.**

-Laser à CO<sub>2</sub> : Ces Laser sont utilisés en soudure, découpe, en chirurgie. La masse d'un Laser à CO<sub>2</sub> peut atteindre plusieurs tonnes pour de fortes puissances.

La figure 2.28 présente le laser à CO<sub>2</sub>.



**Figure 2.28 : Laser à CO<sub>2</sub>.**

\* *Paramètres du soudage par laser*

- Puissance ;
- Elle est réglée en fonction de la pénétration et des épaisseurs à souder ;
- Focalisation et distance focale ;
- La distance focale influe sur la profondeur de champ et sur la largeur de la tâche focale ;
- Vitesse ;
- Elle intervient par le couple puissance-vitesse sur la pénétration et sur la productivité ;

\* *Avantage:*

- Soudage à grande vitesse (de 5 jusqu'à 20 m/min) avec grande précision (0.15 mm);
- Soudure de très bonnes qualité sans projections ni distorsion grâce à la faible chaleur transmise.

\* *Inconvénients*

- Coût de l'équipement ;
- Accostage des pièces ;
- Attention aux matériaux réfléchissants.

## **2.4 SOUDAGE PAR PRESSION ET FUSION**

### **2.4.1 Soudage par point**

\* *Principe*

Pour effectuer une liaison par points, les pièces à assembler sont superposées et serrées localement entre deux électrodes en alliage de cuivre. L'ensemble pièces-électrodes est traversé par un courant de soudage sous faible tension qui provoque un dégagement de chaleur, par effet JOULE, proportionnel aux résistances rencontrées.

$W=R \times I^2 \times t$ . (W: Joule, R: Ohm, I: ampère, t: secondes).

Schématiquement, le principe de soudage par point (figure 2.29).

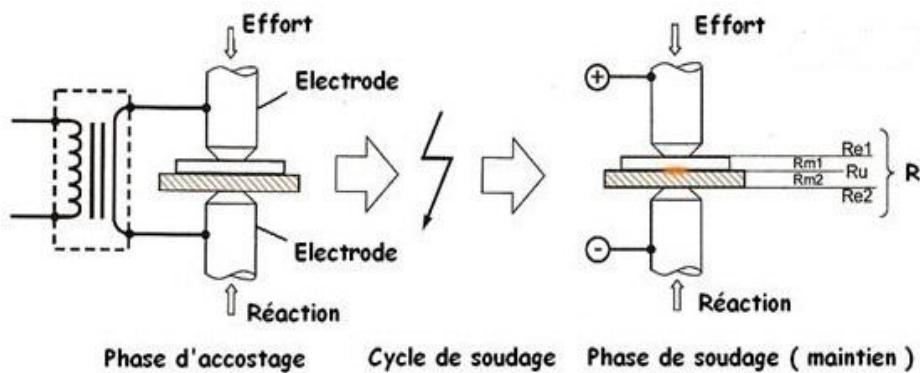


Figure 2.29 : Schéma de soudage par points [4]

\* *Désignation*

-Désignation Française: SP (Soudage par Point)

-Désignation Américaine: RSW (Resistance Spot Welding)

-Désignation Numérique: 21

\* *Machine de soudage par point*

La figure 2.30 présente une machine de soudage par point.

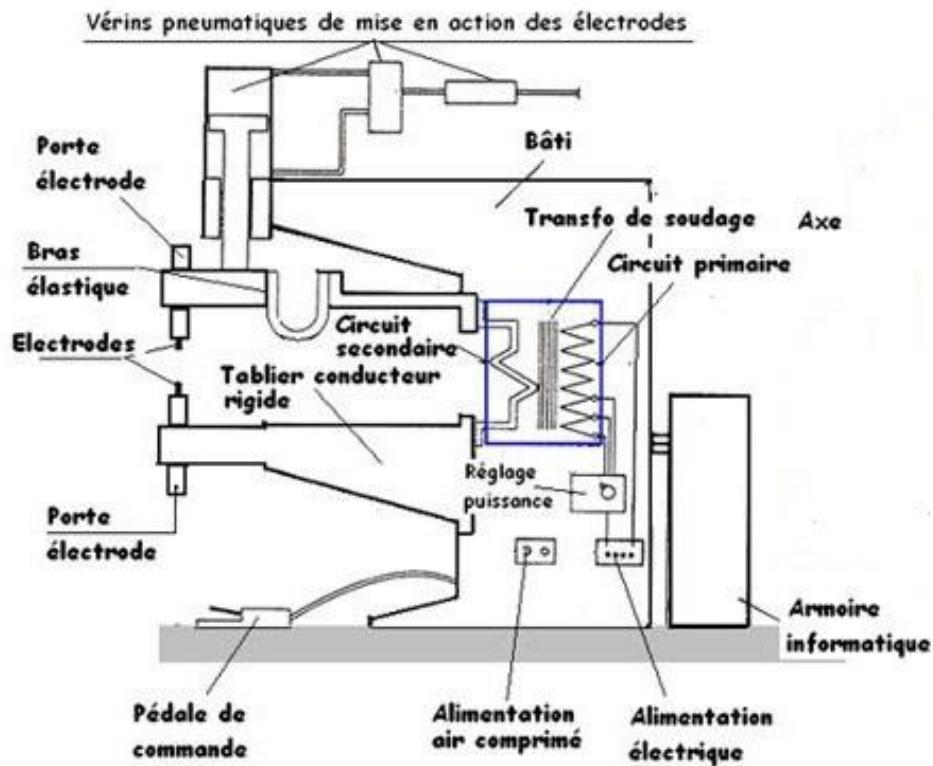


Figure 2.30 : Machine de soudage par point [4]

-Une machine à souder par points fixe typique comprend les éléments suivants (figure 2.29)

-Un bâti en C (ou col de cygne) qui supporte le bras supérieur et le bras inférieur ;

-Une tête d'effort (ou de pression) fixée à l'extrémité du bras supérieur ;

-Un bras inférieur supportant l'électrode inférieure ;

-Des conducteurs en cuivre refroidis par eau, amenant le courant aux électrodes ;

-Un transformateur, dit de puissance, abaisseur de tension, et un contacteur primaire ;

-Un coffret qui fournit les temps du cycle de soudage.

\* *Remarque*

Quel que soit le modèle, les machines de soudage par points doivent pouvoir effectuer les trois opérations suivantes :

- Presser les pièces à souder l'une contre l'autre en appliquant la force prévue et les maintenir en place.
- Faire passer le courant de soudage nécessaire par les pièces à souder.
- Contrôler le temps de soudage (t).

\* *Paramètres du soudage par point*

-Effort : l'action de l'effort s'exerce durant tout le cycle de soudage, c'est-à-dire avant, pendant et après le passage de courant.

Avant le passage du courant, il établit l'accostage des électrodes sur les pièces et des pièces entre elles.

Pendant le passage du courant, les électrodes ont un rôle électrique et un rôle thermique.

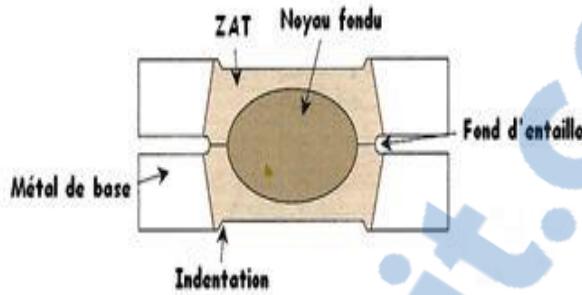
Après le passage du courant, l'effort appliqué effectue le forgeage de la soudure afin de lui conférer ses qualités mécaniques.

-Courant : l'intensité de courant dépend de la nature des matériaux à souder (par leur résistivité), des épaisseurs et de l'effort appliqué.

-Temps de passage de courant : Il intervient physiquement par le biais de la notion d'énergie ( $Q=R \cdot I^2 \cdot t$ ).

\* *Point soudé*

La figure 2.31 présente le schéma d'un point soudé selon une coupe dans un plan contenant l'axe des électrodes.



**Figure 2.31 : Schéma du point soudé [4]**

Globalement, trois zones principales peuvent être distinguées. La première est le noyau fondu, zone où l'acier est passé à l'état liquide puis s'est refroidi très rapidement jusqu'à la température ambiante. La deuxième est la zone dite "affectée thermiquement" (ZAT), c'est-à-dire la zone où la microstructure du métal de base a été modifiée par le cycle thermique imposé par le procédé de soudage.

Enfin, la dernière zone est celle du métal de base proprement dit, où la microstructure est inchangée.

\* *Cycle de soudage*

Un cycle de soudage complet comprend les phases suivantes:

- L'accostage : les électrodes se rapprochent et viennent se serrer sur les pièces à souder à l'endroit prévu et sous un effort donné ;
- Le soudage : le courant passe, déclenché par la fermeture du contacteur du circuit de puissance;
- Le forgeage ou maintien d'effort à la fin duquel les électrodes s'écartent et reviennent au repos.

La figure 2.32 illustre le cycle de soudage.

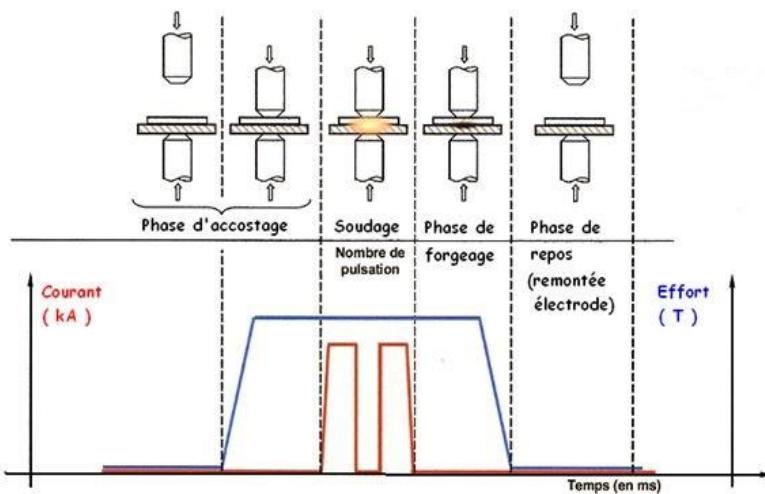


Figure 2.32 : Schéma du cycle de soudage.

\* *Electrodes utilisé*

Les électrodes sont des pièces en cuivre ou alliage de cuivre qui sont emmanchées dans des porte-électrodes fixés à l'extrémité des bras de la machine à souder.

La figure 2.33 présente les différents types d'électrodes.

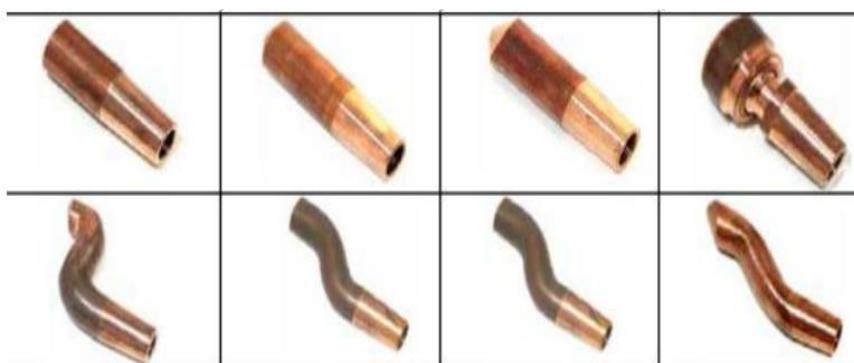


Figure 2.33 : Différents types d'électrodes [4]

Elles ont un rôle électrique, mécanique, thermique :

-**Électrique** : elles doivent avoir une bonne conductibilité électrique, mais le cuivre pur est déconseillé car ses caractéristiques mécaniques sont trop faibles, on utilise le plus souvent un alliage de cuivre au chrome qui présente une résistivité plus élevée.

-**Mécanique** : accostage des pièces, maintien du creuset plastique.

-**Thermique** : le pompage thermique agit sur le développement et la position du point dans l'assemblage.

*\* Avantages*

- Limitation de la pollution, pas de modification structurale, sécurité d'exploitation, pas ou peu de préparation, pas de déformation, pas d'apport (métal ou atmosphère), esthétique du produit fini, prix de revient ;
- Peu d'énergie ;

-Vitesse d'exécution, amortissement important des machines, qualification élémentaire pour le personnel.

*\* Inconvénients*

- Assemblage par recouvrement uniquement ;
- Epaisseur soudée limitée à la puissance de la machine ;
- Difficulté de contrôle de la qualité des points soudés.

## 2.5 SOUDAGE PAR PRESSION

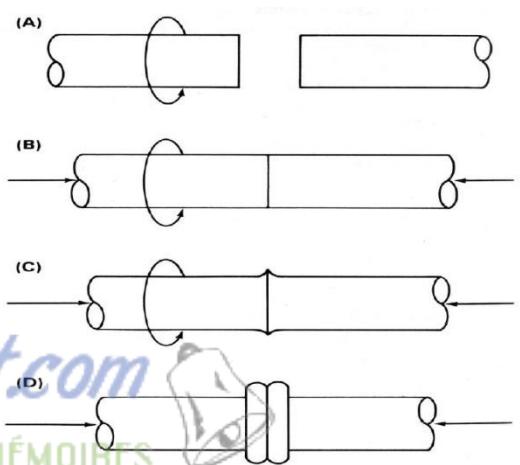
### 2.5.1 Soudage par Friction

*\* Principe*

Le soudage par friction est un procédé de soudage mécanique où l'apport de chaleur nécessaire au soudage est fourni par le frottement des pièces à assembler. L'une est fixe, l'autre est animée d'un mouvement, soit linéaire, soit en rotation (le plus utilisé), lorsque la température est atteinte, on applique un effort supplémentaire de forgeage.

Ce procédé simple et rapide, il permet d'obtenir des liaisons comportant une zone thermiquement affectée relativement étroite, du fait qu'il n'est pas nécessaire de passer par l'état liquide.

La figure 2.33 présente le principe de soudage par friction.



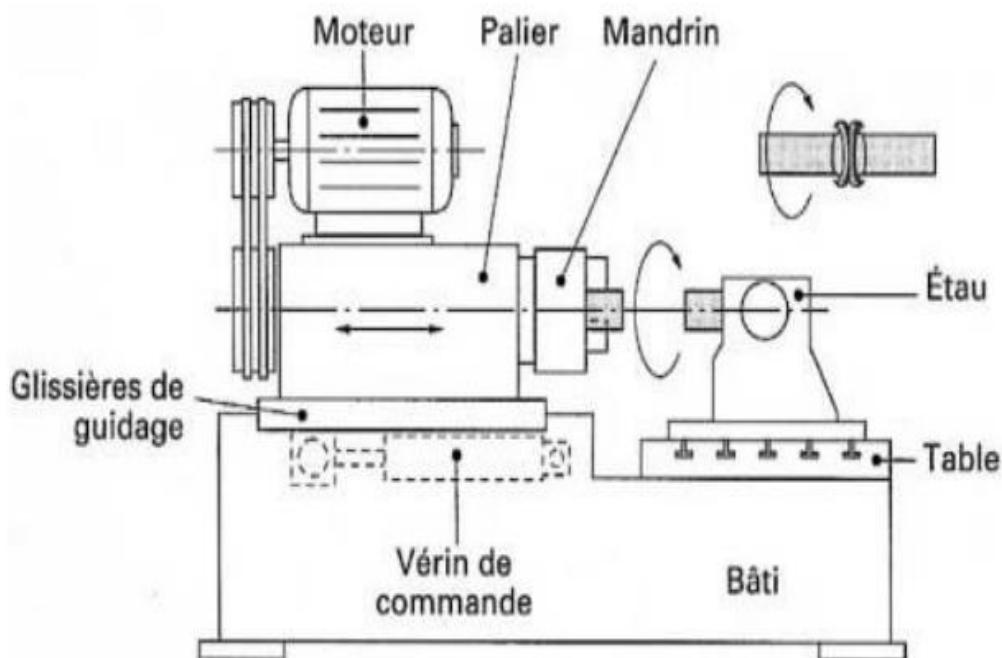
**Figure 2.34 : Principe de soudage par friction [11]**

\* *Machine de soudage par friction*

Une machine de soudage par friction contient les éléments suivants:

- Broche : est un palier dont l'axe peut être plein ou creux. Son rôle est de recevoir le mandrin tournant auquel elle transmet le couple de friction.
- La partie mobile et le bâti : On distingue les deux dispositions: Les machines à broche fixe et table mobile avec séparation des fonctions de rotation et d'avance-effort;
- Étaux et mandrins : Ils reçoivent les pièces à souder.

La figure 2.35 présente une machine de soudage par friction.



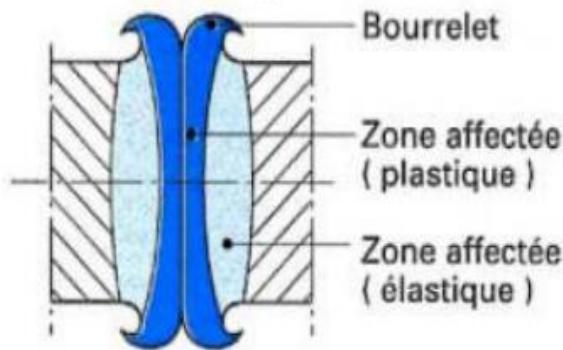
**Figure 2.35 : Machine de soudage par friction [11]**

\* *Caractéristiques du procédé*

- Vitesse de rotation : 50 à 80 000 t/min
- Pression axiale : 15 à 400 MN/m<sup>2</sup>
- Gamme de diamètre : 1 à 150 mm
- Durée de cycle : 5 à 500 s
- Mise en œuvre : Machine standard à raccorder, outillage spécifique.

\* *Section transverse d'une soudure par friction*

La figure 2.36 présente le schéma d'un Section transverse d'une soudure par friction.



**Figure 2.36 : Section transverse d'une soudure [11]**

\* *Applications*

Dans l'automobile, l'aéronautique, le ferroviaire, la mécanique générale , l'électricité , le matériel de travaux public : soupapes de moteurs, composants de transmission, cartouches d'air bag, les ponts de voitures, ponts de tracteurs et de remorques de poids lourd, les tiges de vérin hydraulique, les axes d'articulation à rotule, les paliers de chenilles, petits connecteurs électriques, tiges de forage.

\* *Avantages*

- Exécution de joint de qualité : pas d'inclusion, déformation et contrainte limitée, cycle de soudage contrôlé, soudage autogène et hétérogène.
- Permet d'obtenir une microstructure à grains fins dans la zone de soudage. Cordon de bonne étanchéité.
- Grande productivité : Rapidité d'assemblage de surfaces importantes ; automatisation possible. Équipement mécanique, robuste et simple.
- Pas de consommables : métal d'apport, gaz de protection ; pas consommation d'énergie importante.

\* *Inconvénients*

- Limitation du procédé par la mise en rotation d'un des composants, importante précision de l'alignement axial du joint soudé.

-Investissement important, effort de bridage important, besoin d'un dispositif d'appui arrière.

\* *Hygiène et sécurité*

-Pas de radiation, pas de risque électrique, absence de fumées et de projections, risques des machines outils tournantes.

## **2.6 CONCLUSION**

Chaque procédé a ses avantages et ses inconvénients selon l'application, selon que l'on soude en atelier, ou en extérieur, selon l'accessibilité de la pièce, selon les possibilités d'utiliser.

Le choix du procédé le plus adapté dépend de très nombreux paramètres, à la fois techniques et économiques.

Pour la réalisation de projet on choisit le procédé MIG, compte tenu de ses nombreux avantages et facile à utiliser.

## **Chapitre 3**

**Etude et réalisation d'un  
attelage à boule pour  
véhicule léger avec  
gabarit.**

### 3.1 INTRODUCTION

Ce chapitre présente l'étude et la conception d'un attelage à boule pour véhicules légers avec gabarit, avec des documents techniques tels que le QMOS et DMOS et les fiches techniques des assemblages, enfin une modélisation de la boule en utilisant Abaqus pour calculer la résistance aux efforts de traction et de compression de la pièce maîtresse (la boule d'attelage).

### 3.2 DEFINITION D'ATTELAGE

Un attelage est un dispositif qui se place sous le véhicule à l'arrière afin de pouvoir y accrocher une remorque, une caravane, un support porte-vélo, etc. En plus c'est une pièce importante pour la sécurité.

En général, il est constitué de deux pièces métalliques fixées sur les cotés arrière droit et gauche d'un tube métallique, plus la boule d'attelage fixée verticalement sur le tube, le plus souvent d'un diamètre de 50 mm.

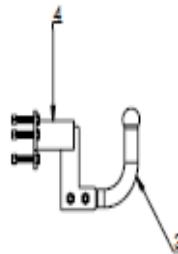
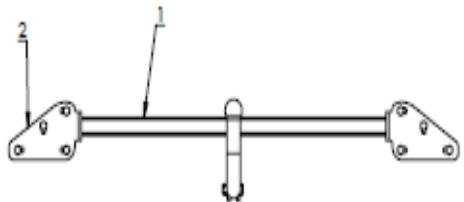
### 3.3 DEFINITION DE GABARIT

Dans toutes les activités de construction répétitive, un gabarit est un outil d'une forme déterminée auquel on fait référence pour assurer le travail en série ...

### 3.4 HOMOLOGATION D'ATTELAGE

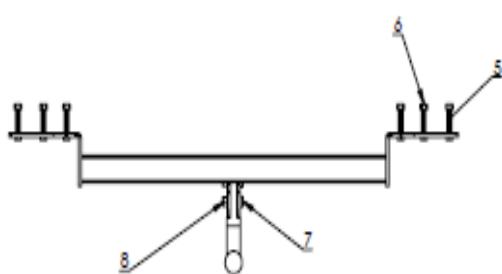
L'attelage doit répondre aux critères suivants :

- Respect des points de fixation constructeur.
- Position de la boule d'attelage :
  - Hauteur : 35 à 42 cm, véhicule en charge.
  - Dépassement de la boule (par rapport à la longueur hors tout du véhicule).
- Distance boule.
- Présence d'un câble ou d'une chaîne entre remorque et attelage assurant en cas de rupture le guidage de la remorque.

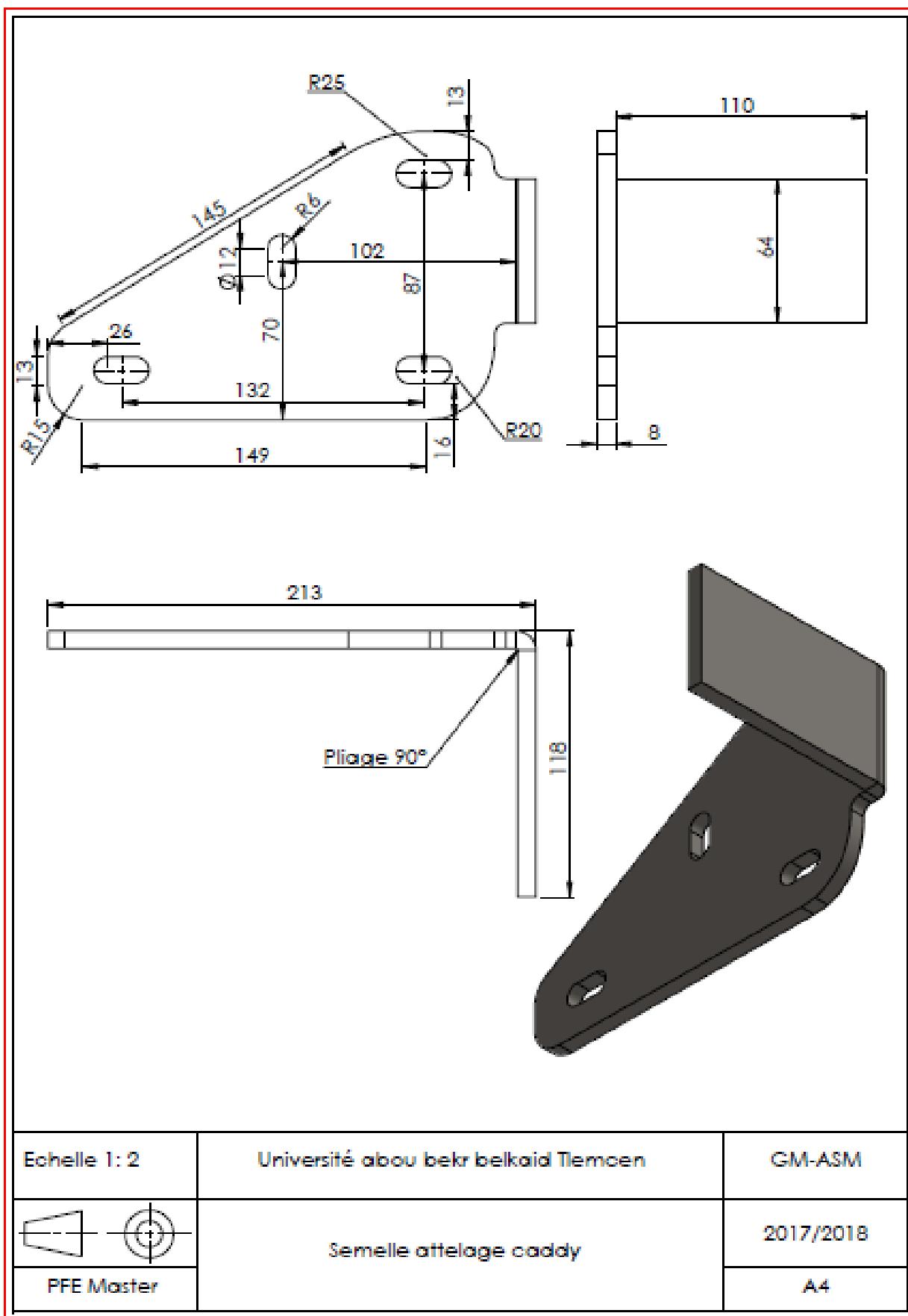


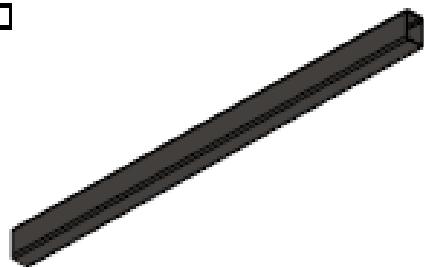
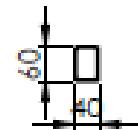
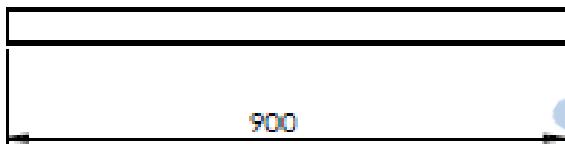
Tolérances générales : ±0.25

Etat de surface général: Brut

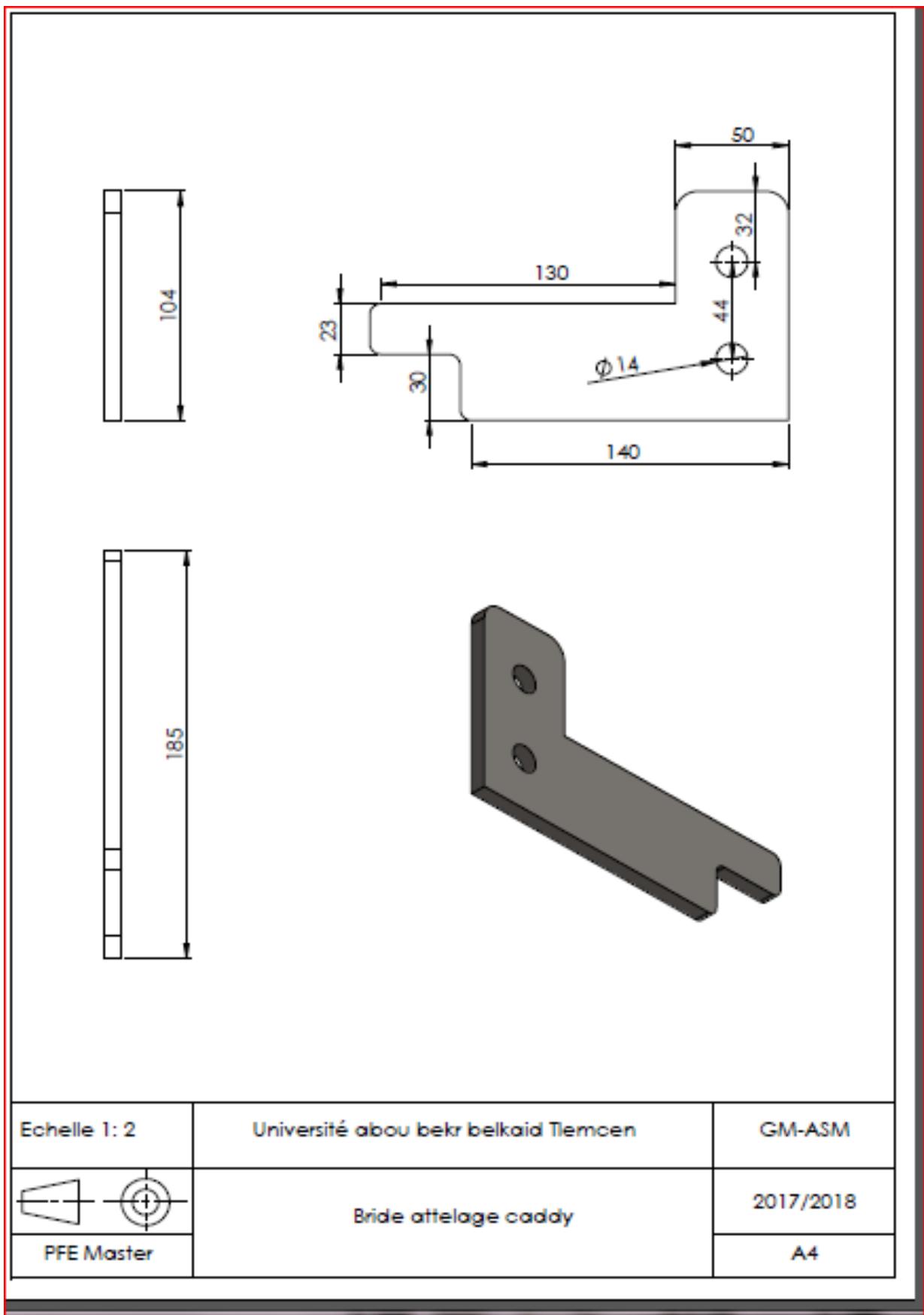


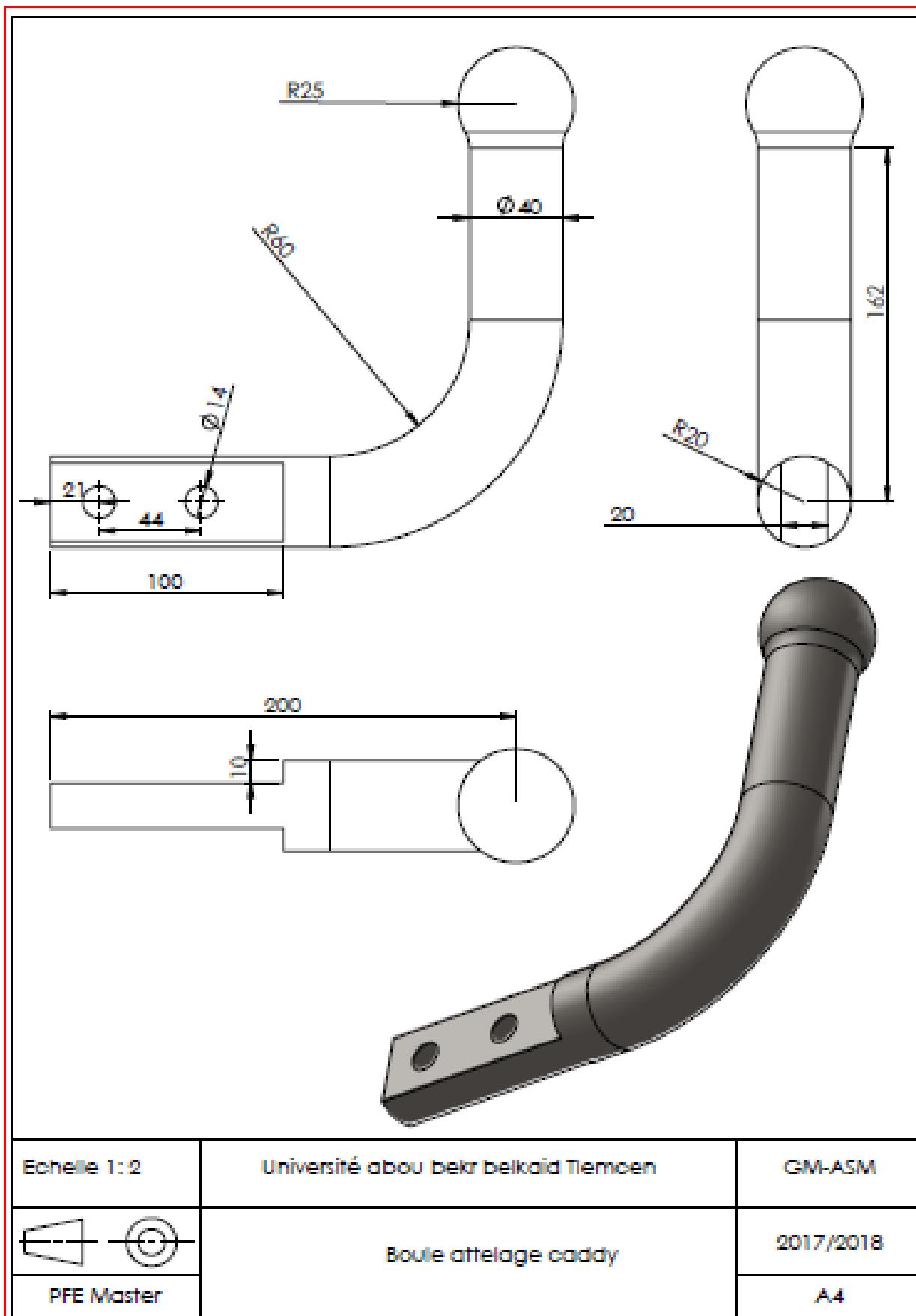
Rep	Nb	DESIGNATION	MATIERE	OBSERVATION
Echelle	1:10	Université Abou Bekr BELKAID- Tlemcen-		GM-ASM
		Atelage Caddy		2017/2018
PFE Master				A3

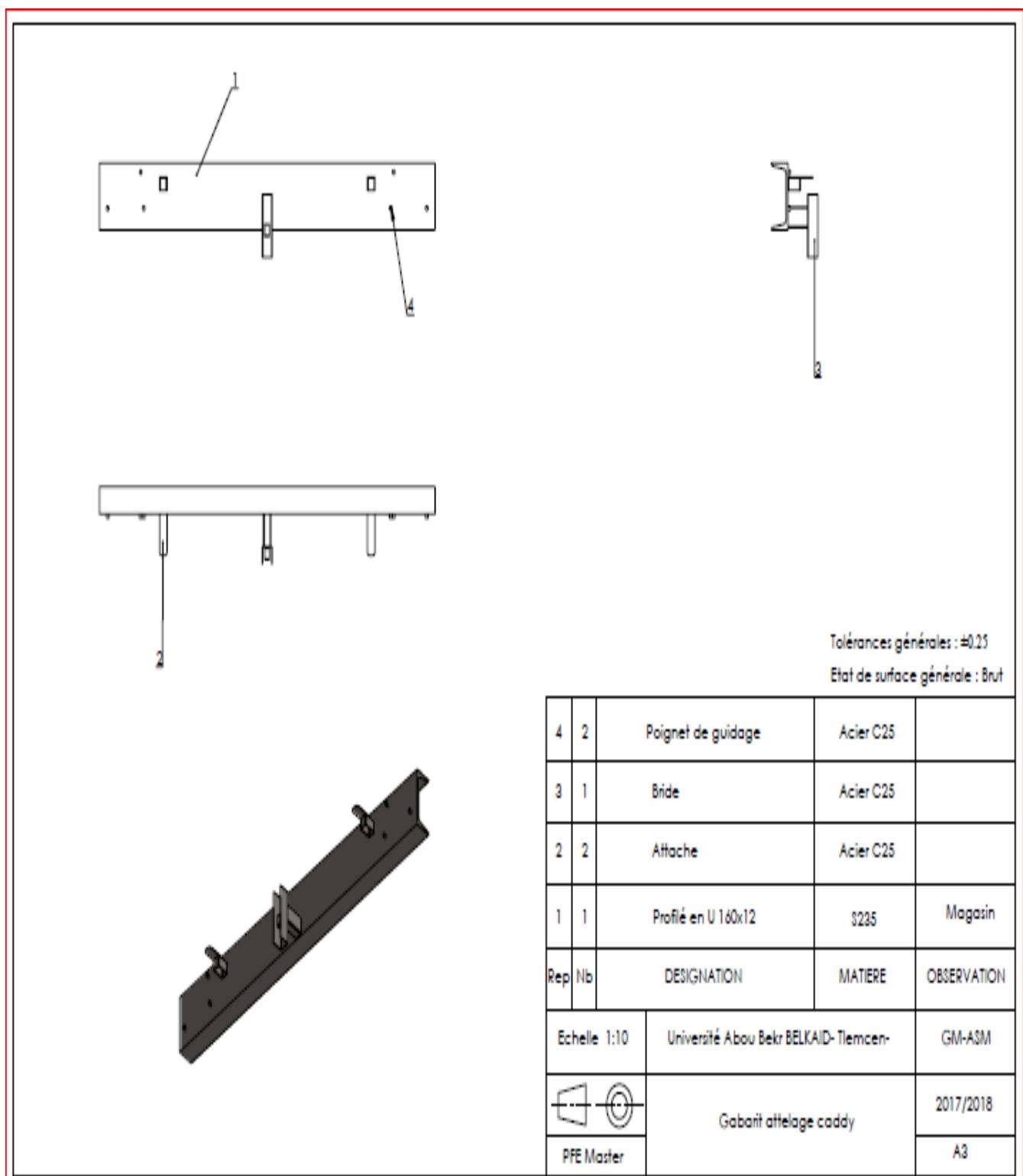


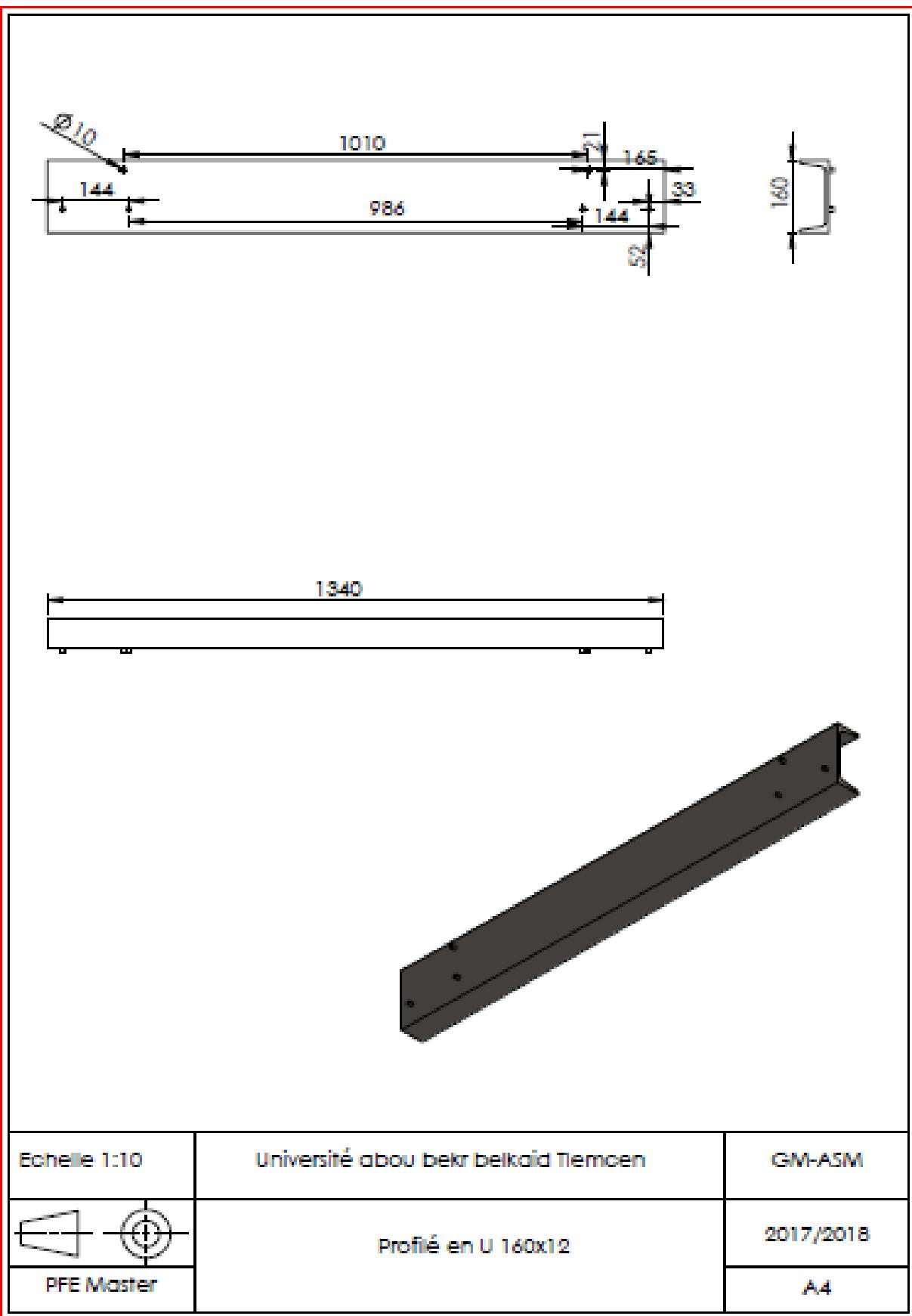


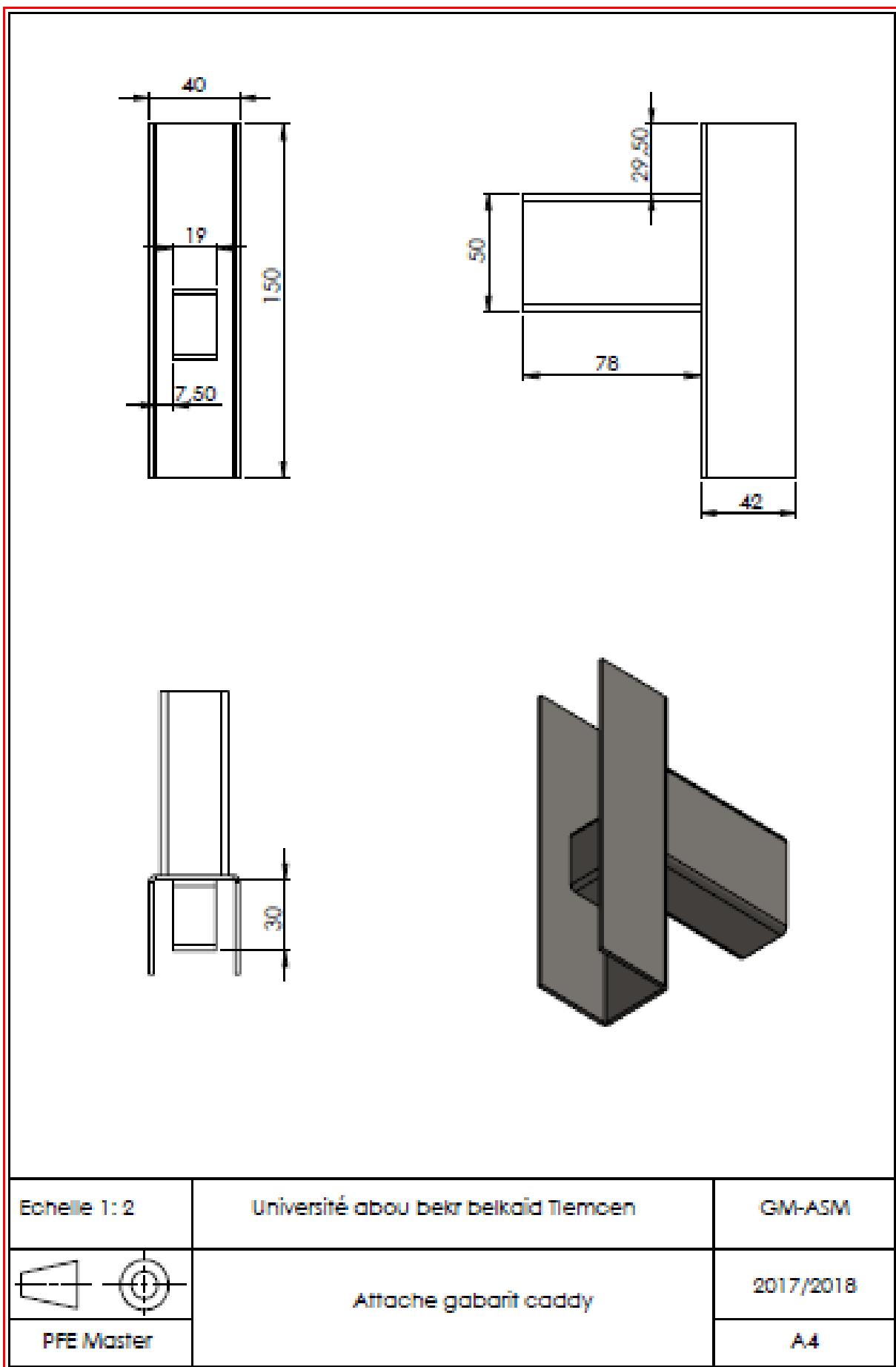
Echelle 1:10	Université abou bekr belkaid Tlemcen	GM-ASM
	Tube attelage caddy	2017/2018
PFE Master		A4

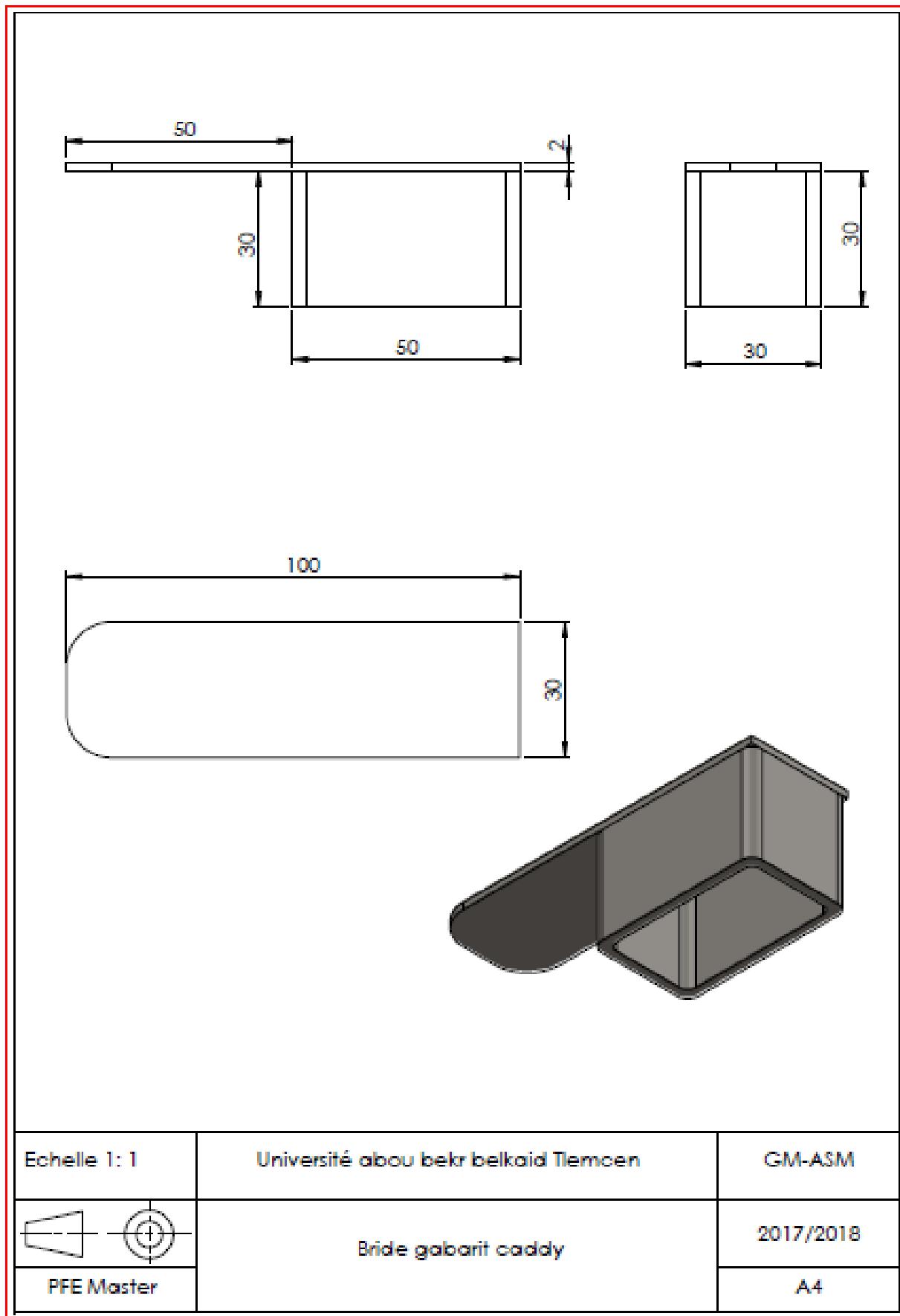


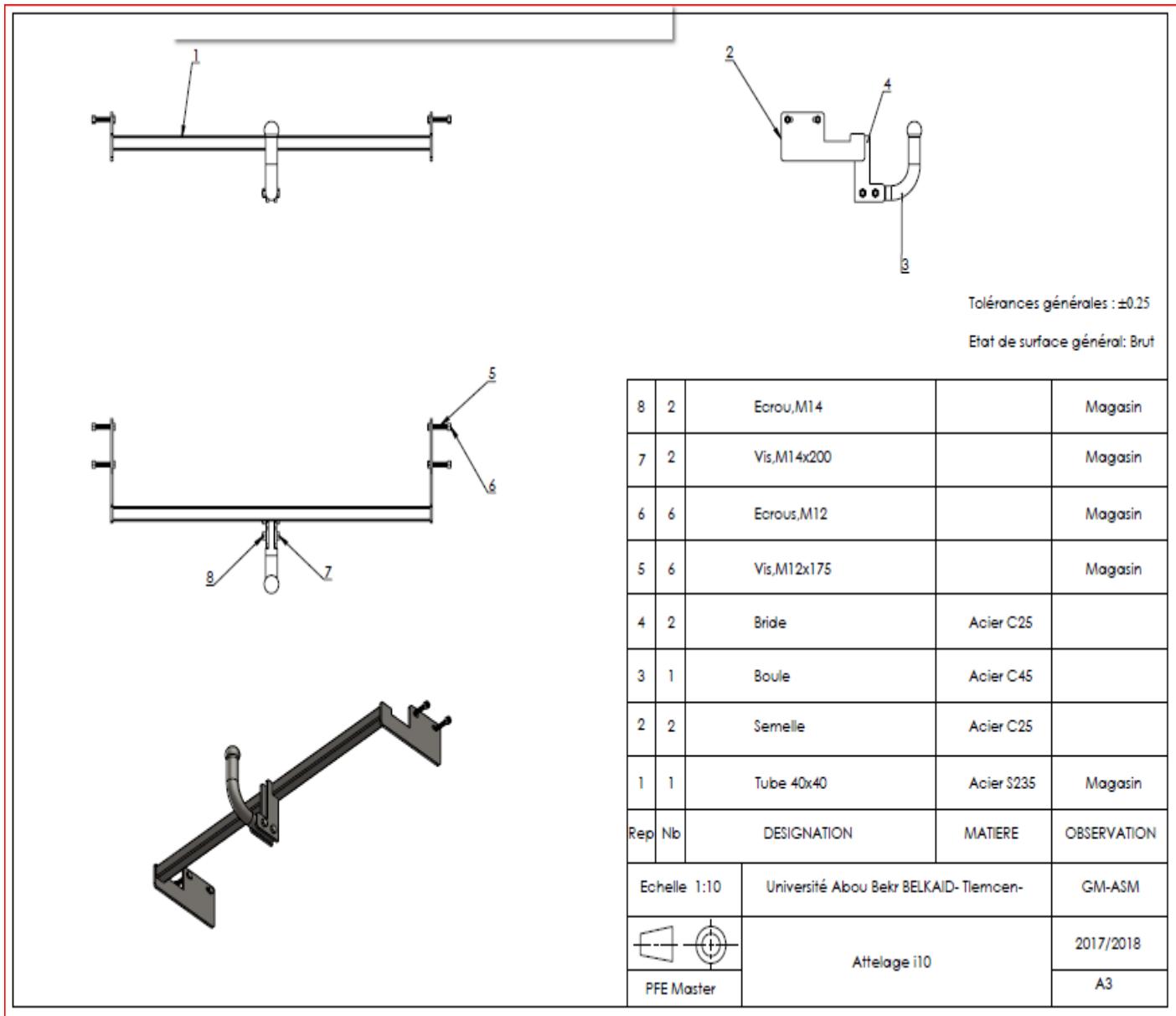


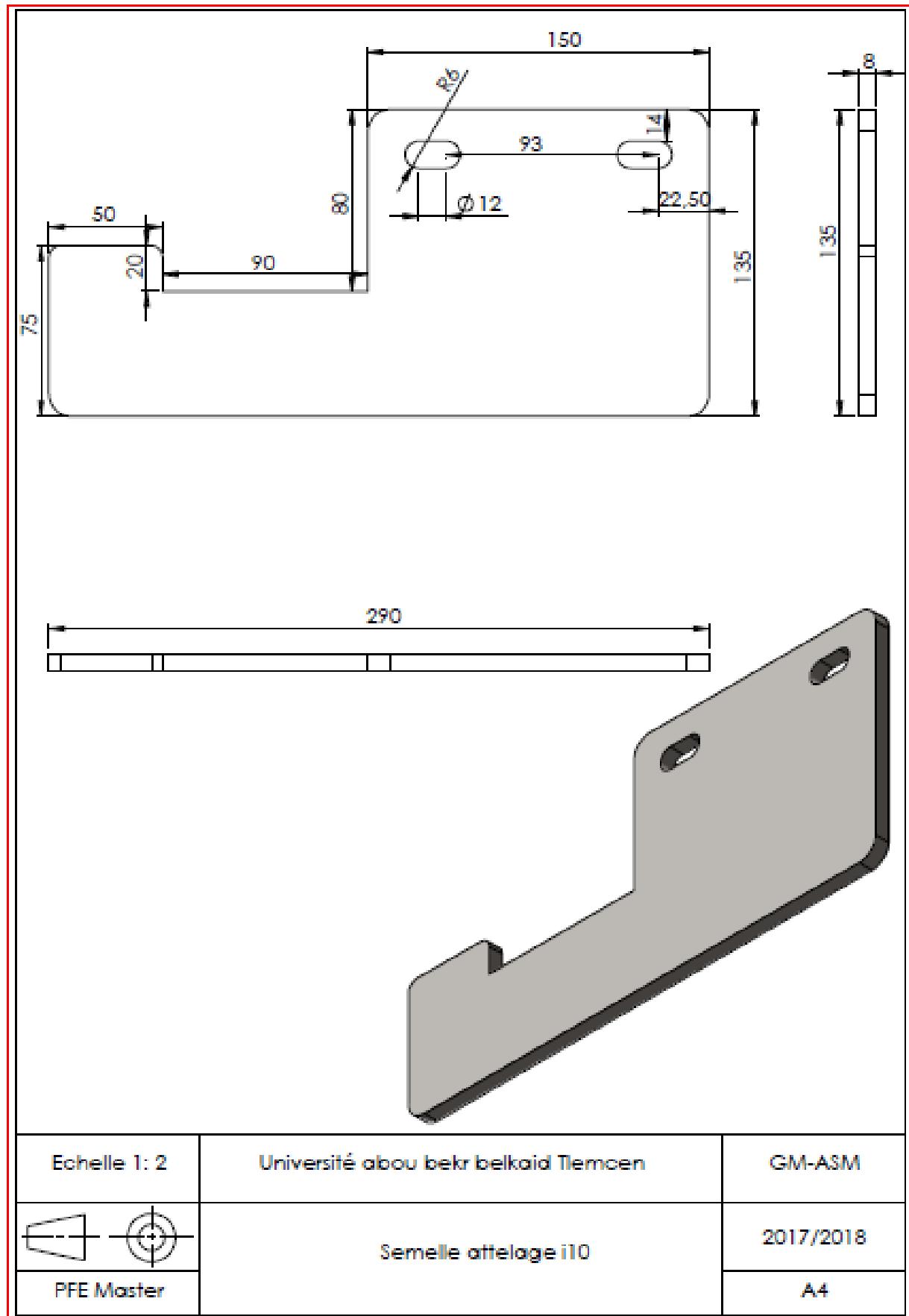


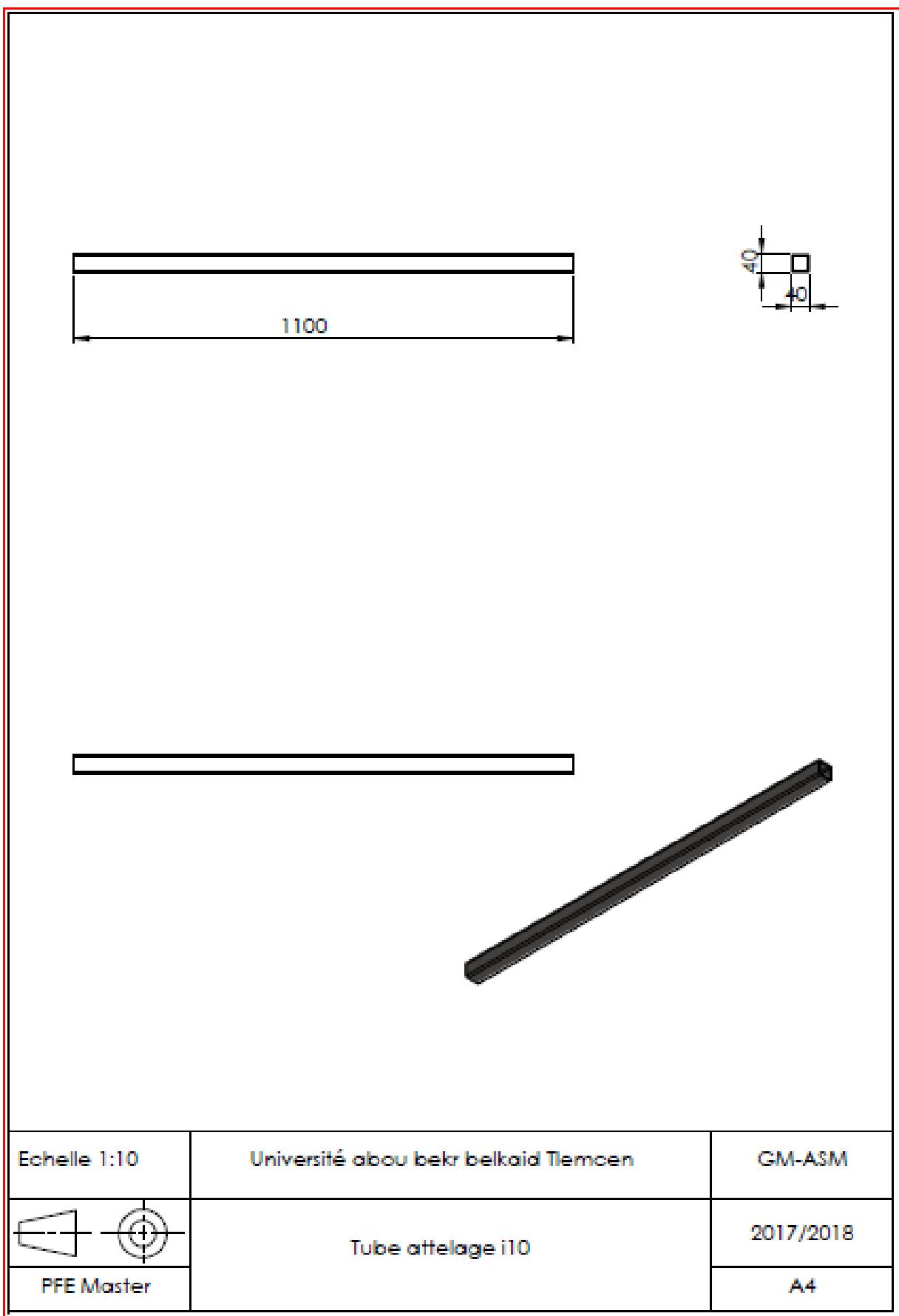


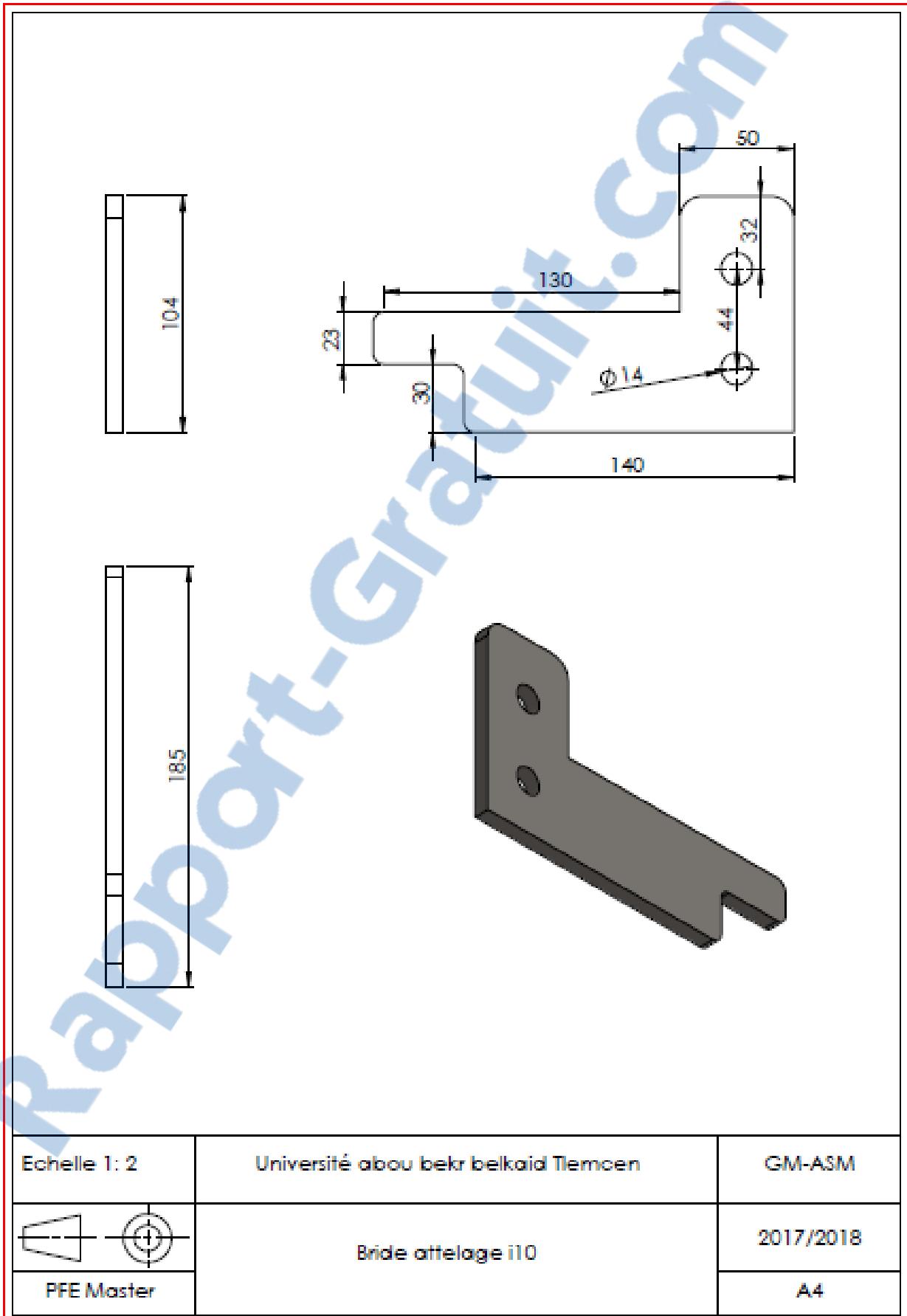


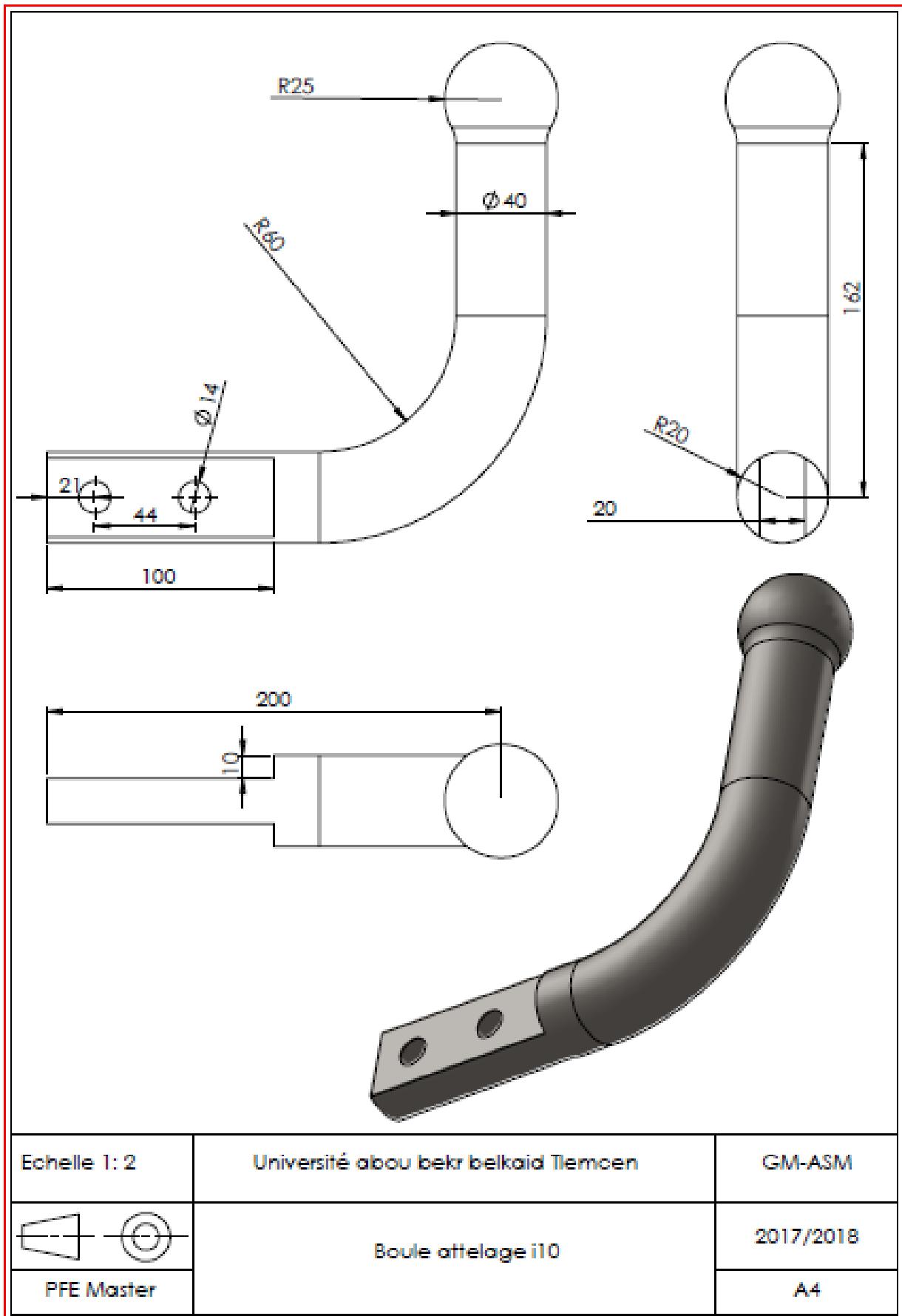


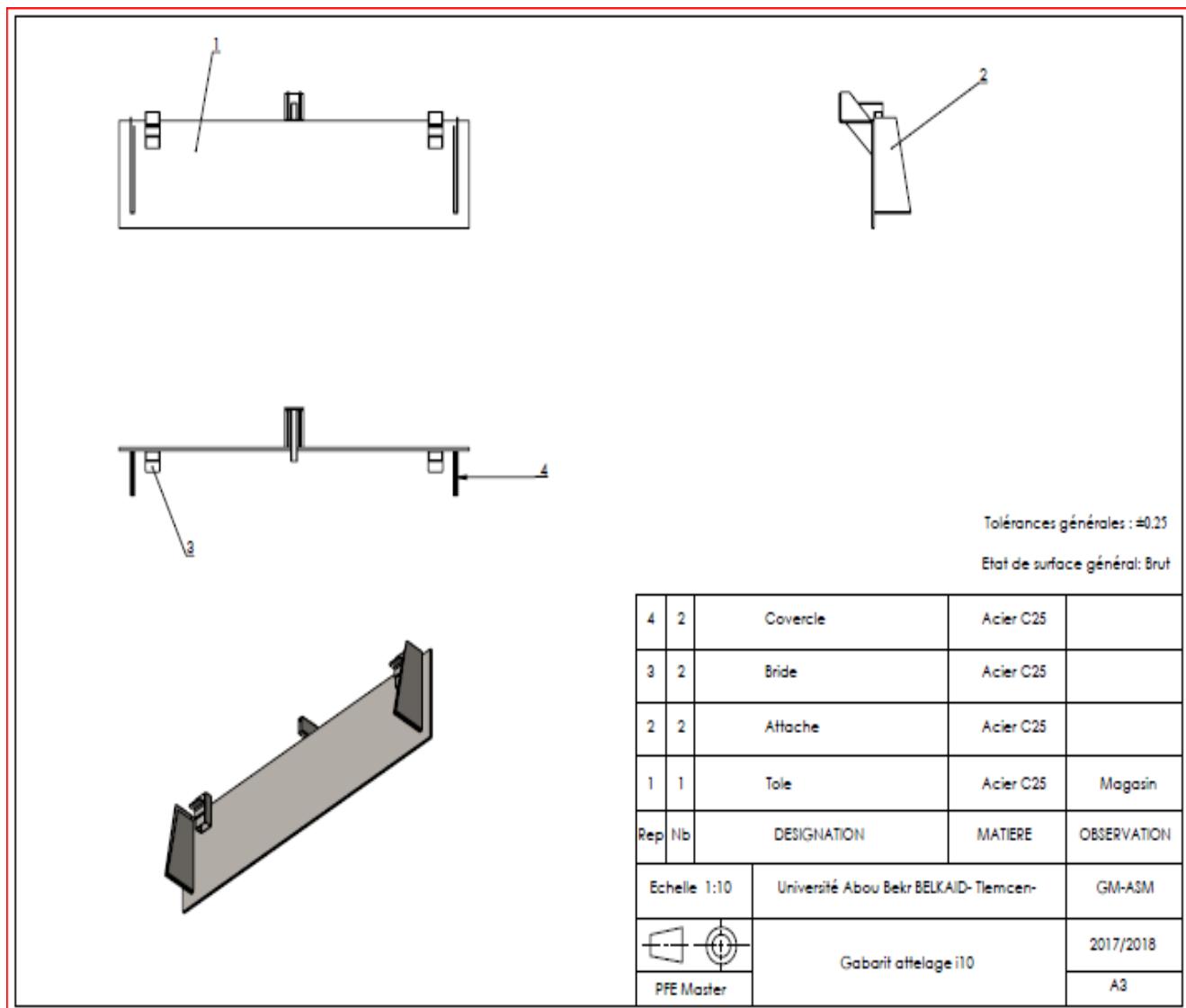


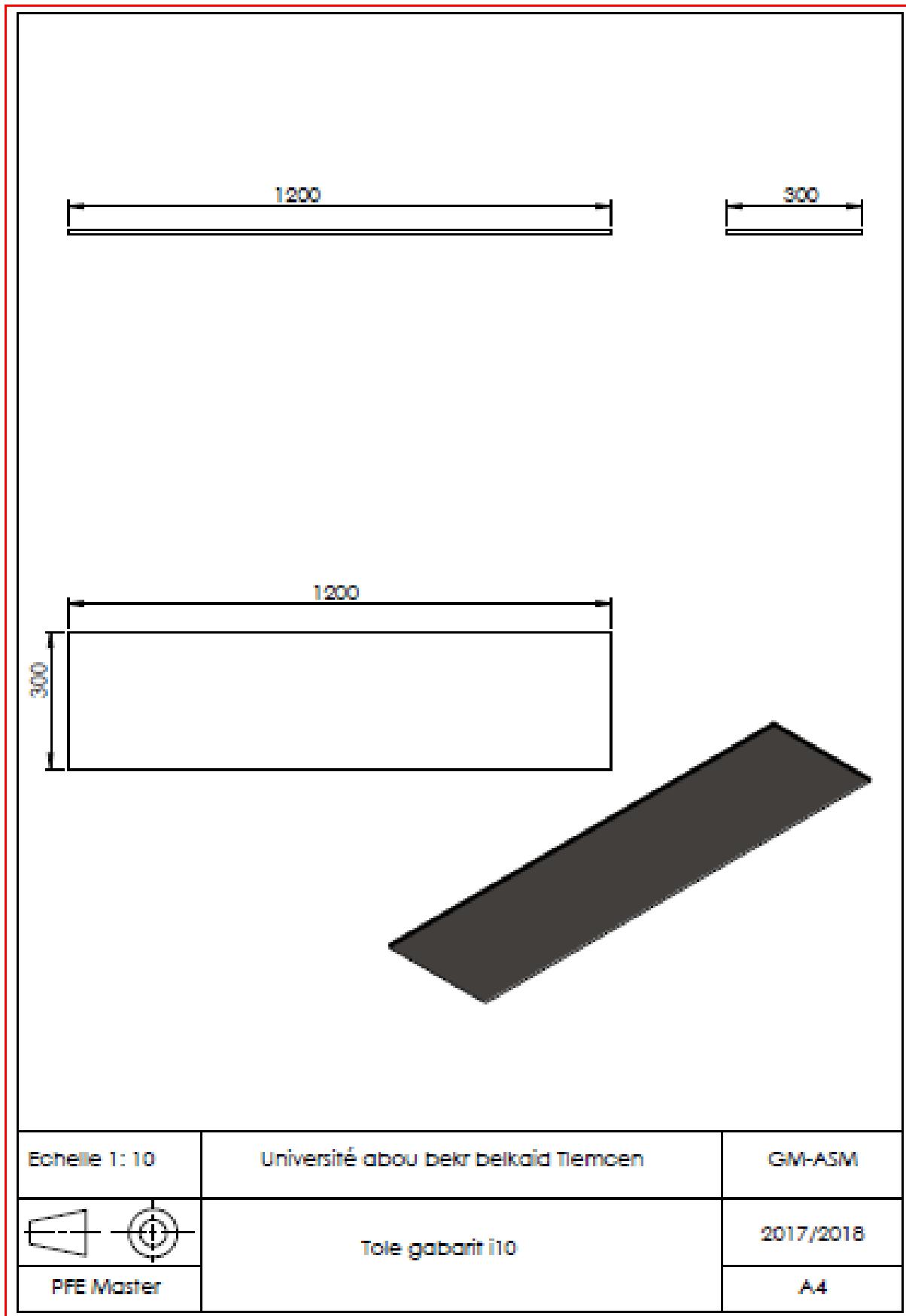


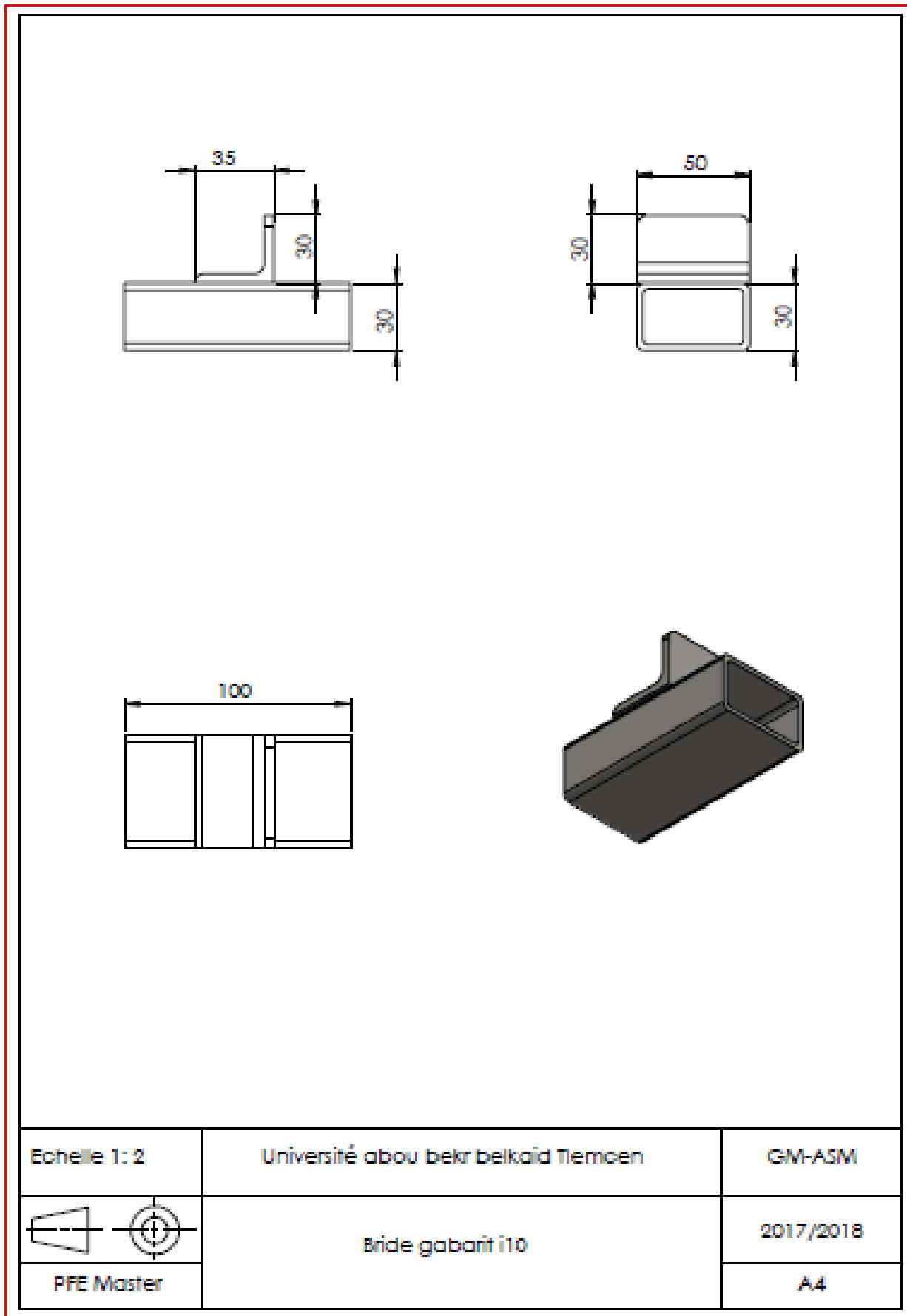


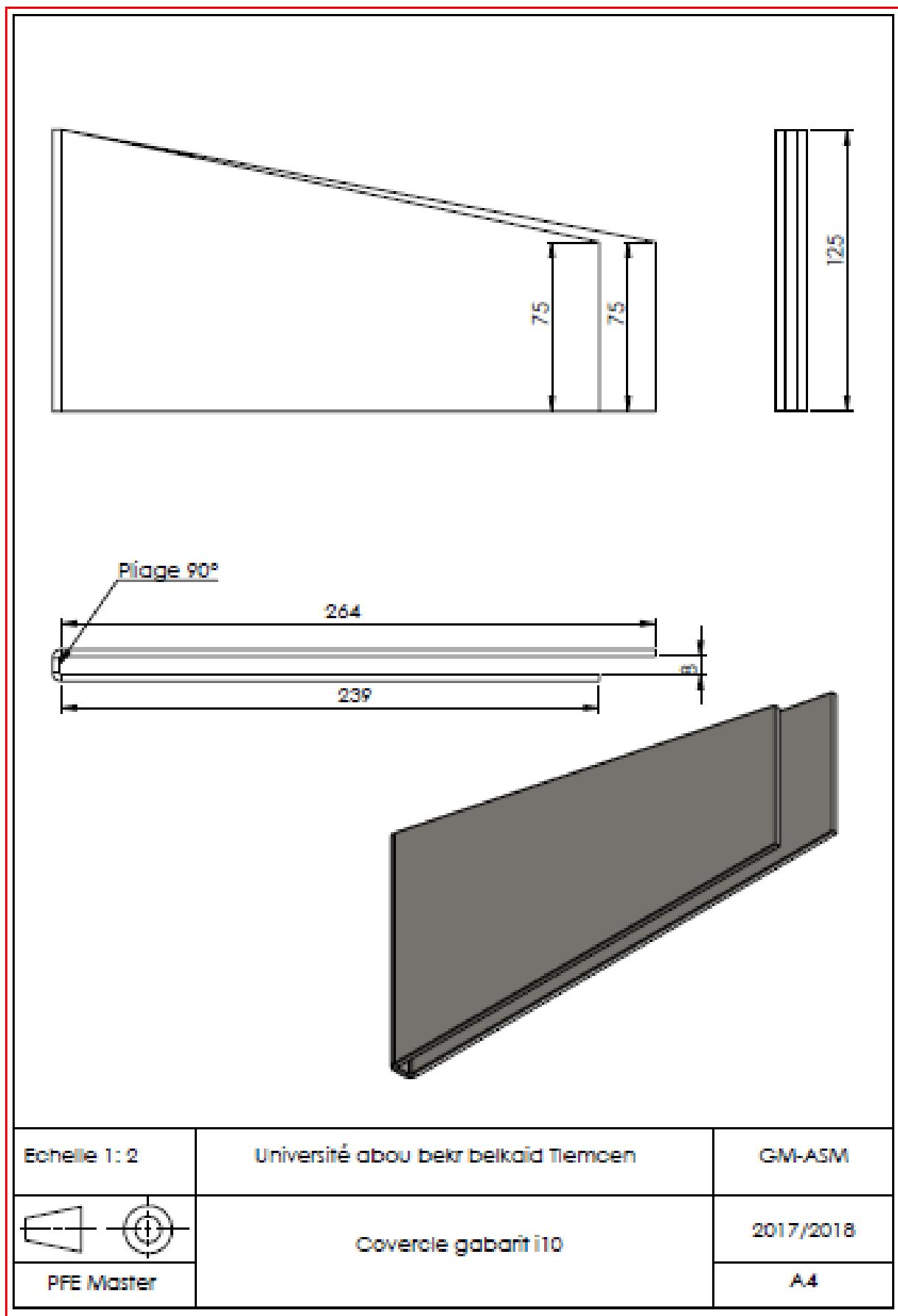


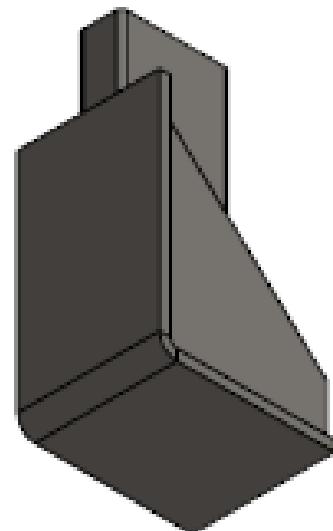
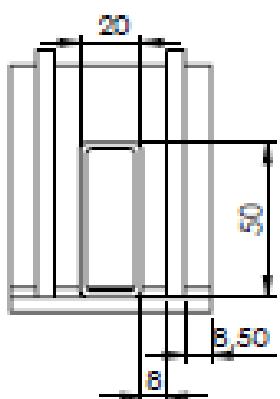
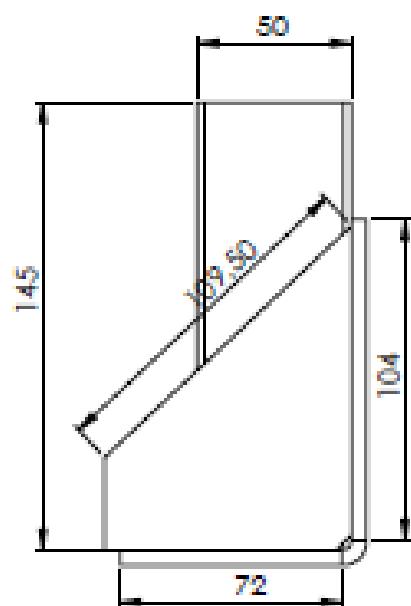
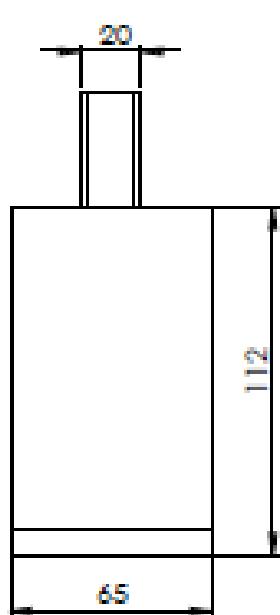




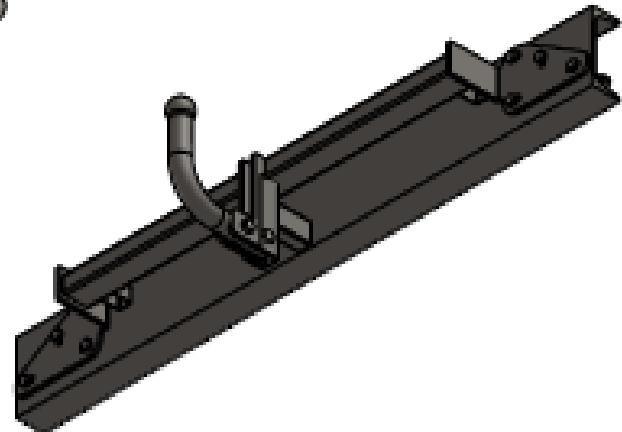
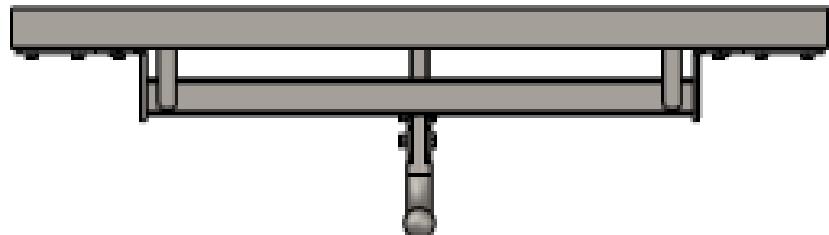




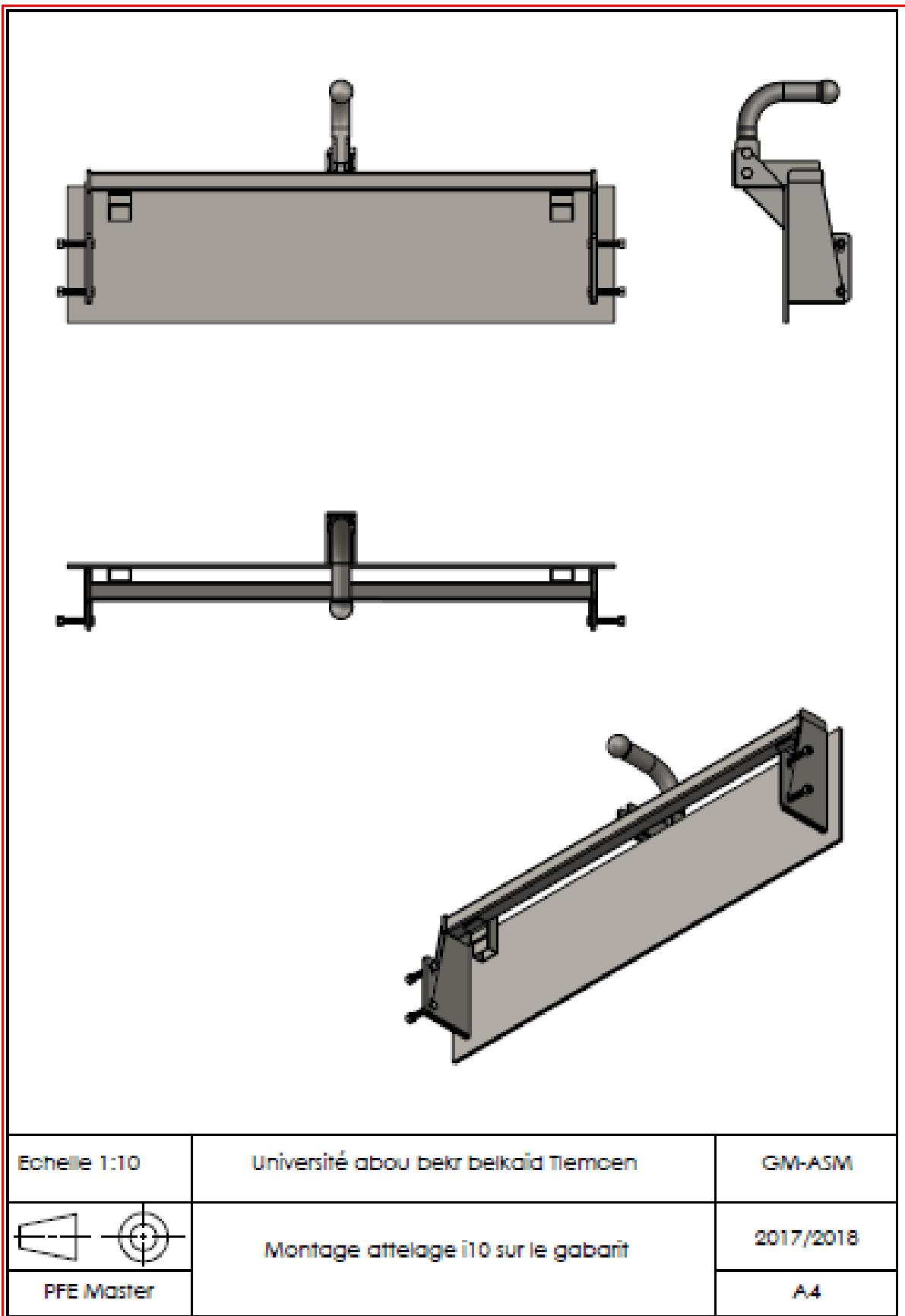




Echelle 1:2	Université abou bekr belkaid Tlemcen	GM-ASM
	Attache gabarit i10	2017/2018
PFE Master		A4



Echelle 1:10	Université abou bekhr belkaïd Tlemcen	GM-ASM
	Montage attelage caddy sur le gabarit	2017/2018
PFE Master		A4



## 3.8 Documents technique

### 3.8.1 Fiche technique de l'assemblage

Les tableaux ci-dessous (3.1) à (3.4) présentent les propriétés de masse de chaque assemblage.

**Tableau 3.1 : Propriété de masse attelage Hyundai i10.**

Propriété	Valeur	Unités
Masse	13081.77	grammes
Volume	1663816.93	millimètres cubes
Spécifie	531880.76	millimètres cubes
Centre de gravité	X = 128.64 Y = 35.83 Z = 1097.76	millimètres

**Tableau 3.2: Propriété de masse attelage Caddy.**

Propriété	Valeur	Unités
Masse	11524.67	grammes
Volume	1639725.17	millimètres cubes
Spécifie	536930.43	millimètres cubes
Centre de gravité	X = 209.32 Y = -30.64 Z = 1291.63	millimètres

**Tableau 3.3: Propriété de masse gabarit Caddy.**

Propriété	Valeur	Unités
Masse	3377.79	grammes
Volume	3296670.17	millimètres cubes
Spécifie	759637.93	millimètres cubes
Centre de gravité	X = 50.15 Y = 127.36 Z = 1324.58	millimètres

**Tableau 3.4 : Propriété de masse gabarit Hyundai i10.**

Propriété	Valeur	Unités
Masse	3476.68	grammes
Volume	3476682.21	millimètres cubes
Spécifie	1131373.67	millimètres cubes
Centre de gravité	X = 12.93 Y = -5.18 Z = -13.06	millimètres

### 3.8.2 Propriété de matière utilisée (acier C25)

L'acier au carbone est un acier dont le principal composant d'alliage est le carbone, entre 0,20 et 0,25 % ; les autres éléments d'alliages étant en quantité très faible.

Plus la teneur en carbone s'élève, la résistance de l'acier peut être augmentée par traitement thermique, au détriment de sa ductilité.

Le tableau 3.5 présente la propriété de l'acier C25.

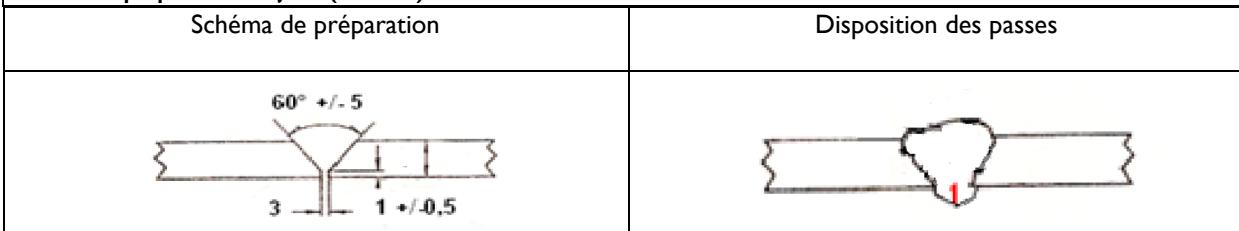
**Tableau 3.5 : Propriété de l'acier au carbone.**

Propriété	Valeur	Unités
Coefficient de Poisson	0.29	S.O.
Module de cisaillement	80000	N/mm <sup>2</sup>
Masse volumique	7858	kg/m <sup>3</sup>
Limite de traction	425	N/mm <sup>2</sup>
Limite d'élasticité	282.69	N/mm <sup>2</sup>
Coefficient de dilatation thermique	1.2e-005	/K
Conductivité thermique	52	W/ (m*K)
Chaleur spécifique	486	J/ (kg*K)

### 3.8.3 Descriptif de Mode opératoire de soudage (DMOS)

Les DMOS comportent toutes les informations nécessaires à un soudeur pour gérer une tâche de soudage.

Sur cette DMOS en rédiger toutes les informations nécessaires pour la préparation avant soudage, les réglages du poste à souder ainsi que les informations sur les matériaux mis en œuvre (métal d'apport et matériaux soudés) sont mentionnées.

**Descriptif de mode opératoire de soudage****Du constructeur ou du fabricant (DMOS)****Code : N°1****Lieu :** Agro-industrie Tlemcen**EXAMINATEUR OU ORGANISME D'INSPECTION :** ..... / .....**DMOS référence N° :** 1**PV-QMOS N° :** ..... / .....**Méthode de préparation et nettoyage :** OXYCOUPAGE / MEULAGE**Constructeur ou fabricant :** ..... / .....**Spécification matériau de basse :** Acier C25**Nom du soudeur :** XY**Epaisseur du matériau de basse (mm) :** 8**Procédé de soudage :** I31**Diamètre du matériau de basse (mm) :** ..... / .....**Type de joint :** V**Position de soudage de l'assemblage :** PA**Détails de préparation de joint (Schéma) :****Paramètre de soudage :**

Passé N°	Procédé	Dimension Métal d'apport	Courant A	Voltage V	Type de courant polarité	Alimentation en fil	Energie de soudage
1	I36	01.2	140	19	CC+	15CM/MIN	
2							
3							

**Métal d'apport :** fil fourré**Autres information :** .....**Marque et type :** ..... / .....**Reprise spéciale ou séchage :****Soudage pulsé détails :** ..... / .....**Gaz de protection/flux :** endroit : CO2**Distance de maintien :** ..... / .....**Débit de gaz** endroit : 18L/min 2**Temporisation, Fréquence :** ..... / .....**Type d'électrode de tungstène/Dimension :** ..... / .....**Détails de plasma :** ..... / .....**Température de préchauffage :** ..... / .....**Angle de torche :** ..... / .....**Température entre passes :** ..... / .....**Constructeur ou du fabricant****Examinateur ou organisme d'inspection**

Nom, date et signature

Nom, date et signature

### **3.8.4 Qualification de Mode Opératoire de Soudage (QMOS)**

Le QMOS c'est une qualification effectuée pour contrôler la validité des paramètres de soudage.

Nous avons fait deux contrôles pour la validation : contrôle visuelle et contrôle par ressuage.

**EXAMEN PAR RESSUAGE**  
**Liquide Pénétrant Examination**

<b>Client :</b> Etudiants	<b>Code n° :</b> 01	<b>Désignation :</b> QMOS
<b>Identification :</b> acier C25	<b>Stage d'examen :</b> Après soudage	<b>Matière :</b> Acier C25
<b>Spécification de référence :</b> NF EN 25817		<b>Etendue du contrôle :</b> 100%

**Produit utilisés :**

<b>Pénétrant :</b>	<b>Type :</b> coloré	<b>Fluorescent :</b> <input type="checkbox"/>
	<b>Marque :</b> Brent	<b>Référence :</b> ..... / .....
<b>Lavage :</b>	<b>Nature :</b> solvant	<b>Eau :</b> <input type="checkbox"/>
	<b>Marque :</b> Brent	<b>Référence :</b> ..... / .....
<b>Révélateur :</b>	<b>Type :</b> Base volatil	<b>Liquide :</b> <input type="checkbox"/>
	<b>Marque :</b> Brent	<b>Référence :</b> ..... / .....

**Condition d'examen :**

<b>Etat de surface :</b>	Brut <input type="checkbox"/>	Brossé <input checked="" type="checkbox"/>	Sablé <input type="checkbox"/>	Autre <input type="checkbox"/>
<b>Température de pièce :</b> 10 à 40°C				
<b>Nettoyage préalable :</b>	Oui <input checked="" type="checkbox"/>			
	Non <input type="checkbox"/>			

**Application de pénétrant :** Mode d'application : Pinceau

Durée d'application : 15 min

<b>Elimination de pénétrant :</b> Méthode :	Eau <input type="checkbox"/>	Solvant <input checked="" type="checkbox"/>	Autre <input type="checkbox"/>
Séchage :	Evaporation <input type="checkbox"/>	Air chaud <input type="checkbox"/>	Chiffon propre <input checked="" type="checkbox"/>
<b>Application de révélateur :</b> Méthode :	Pulvérisation <input checked="" type="checkbox"/>	Trempé <input type="checkbox"/>	
<b>Eclairage :</b>	Naturel <input checked="" type="checkbox"/>	Artificiel <input type="checkbox"/>	Noire <input type="checkbox"/>

**Résultat :****Observation :**

Aucune indication ne décèle lors de cet examen.

Conforme à la spécification <input checked="" type="checkbox"/>	Non Conforme à la spécification <input type="checkbox"/>	Fiche annexe <input type="checkbox"/>
---	--	---------------------------------------

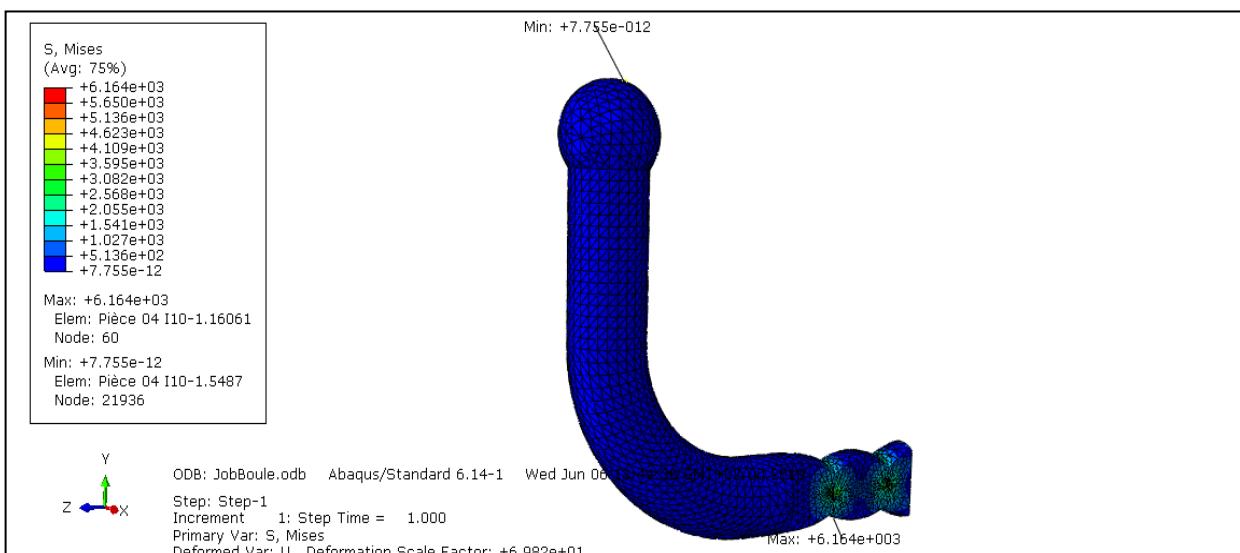
### 3.9 Modélisation de la boule en utilisant le code de calcul Abaqus

Les calculs de la résistance aux efforts de traction et de compression de la boule a été effectuer par logiciel de calcul Abaqus.

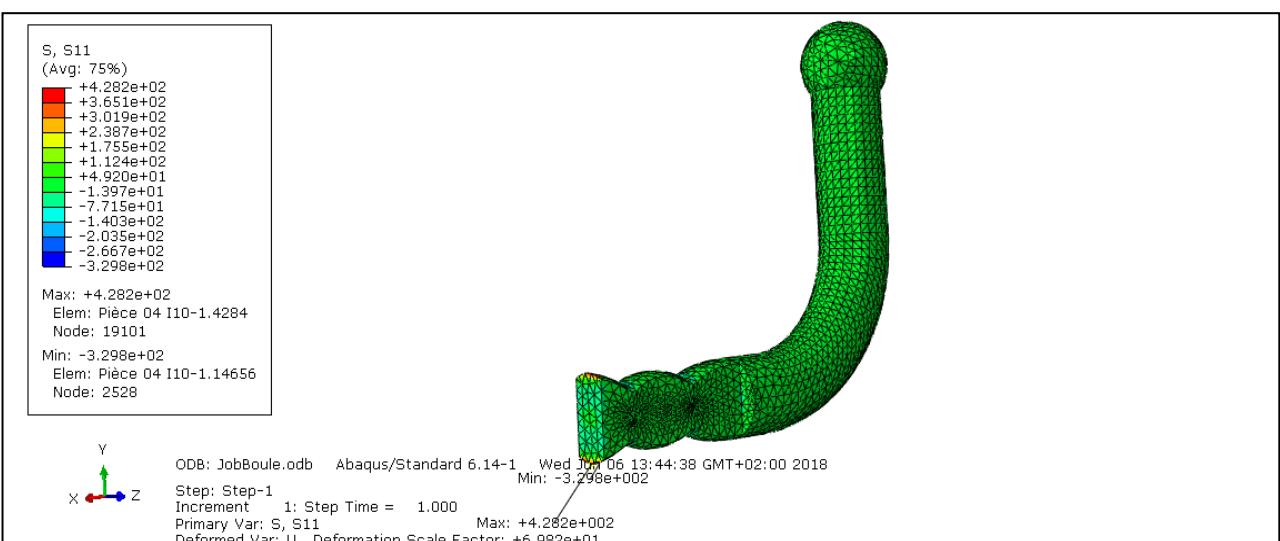
#### 3.9.1 Cas de traction

On applique une charge de 3 KN sur la boule d'attelage.

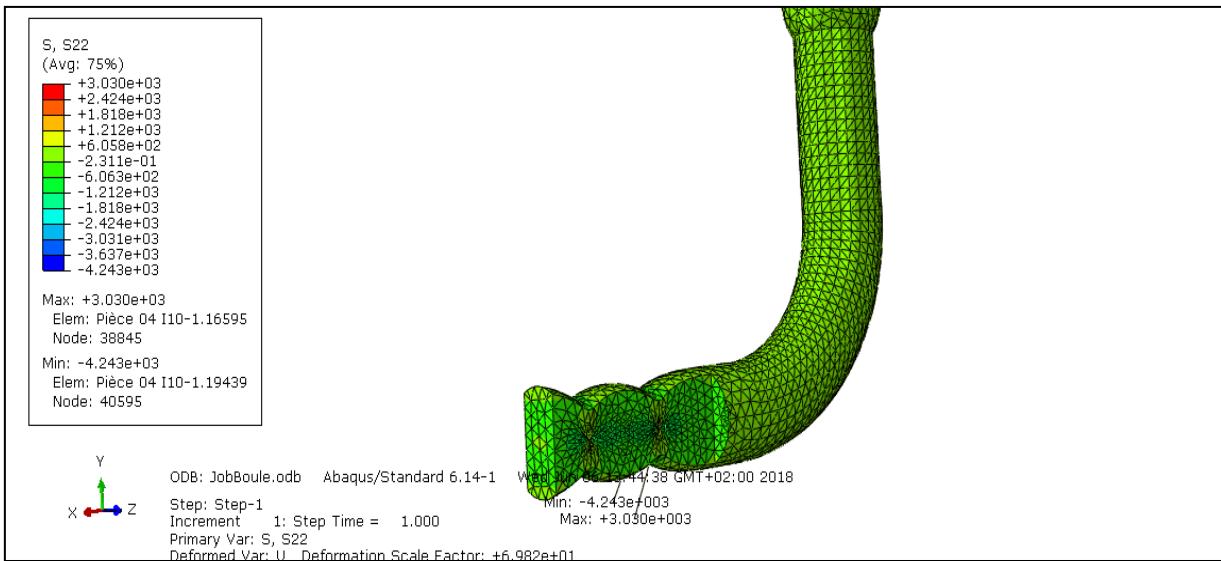
Les figures ci-dessous (3.1) à (3.11) présentent la modélisation de la boule dans le cas de la traction.



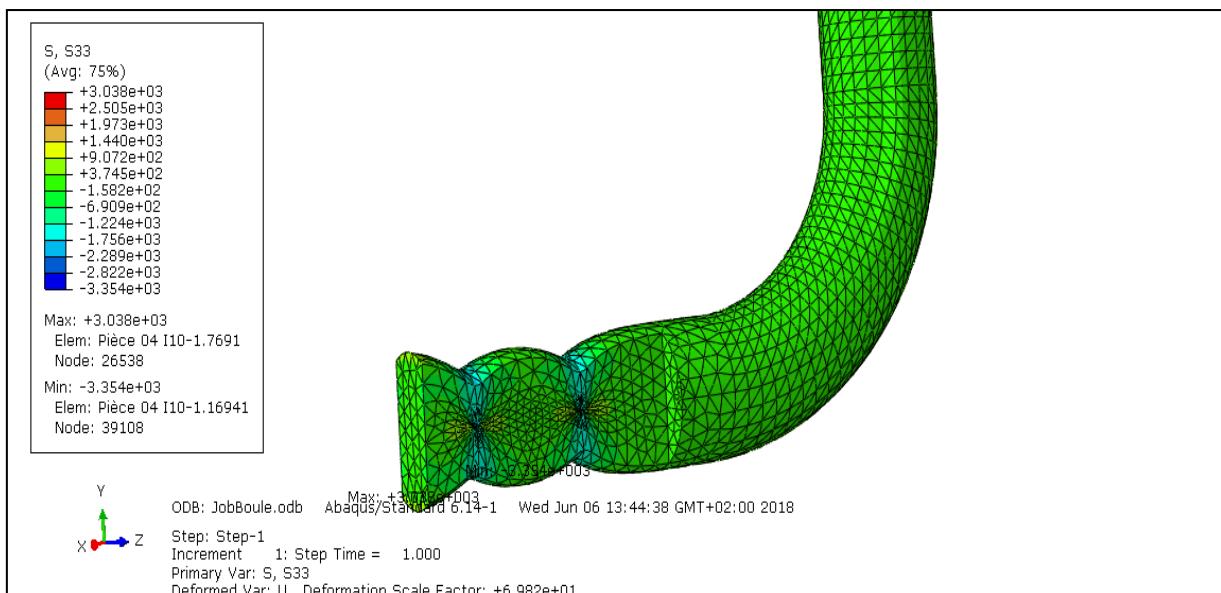
**Figure 3.1 : Concentration des contraintes moyennes sous l'effet de l'effort de traction.**



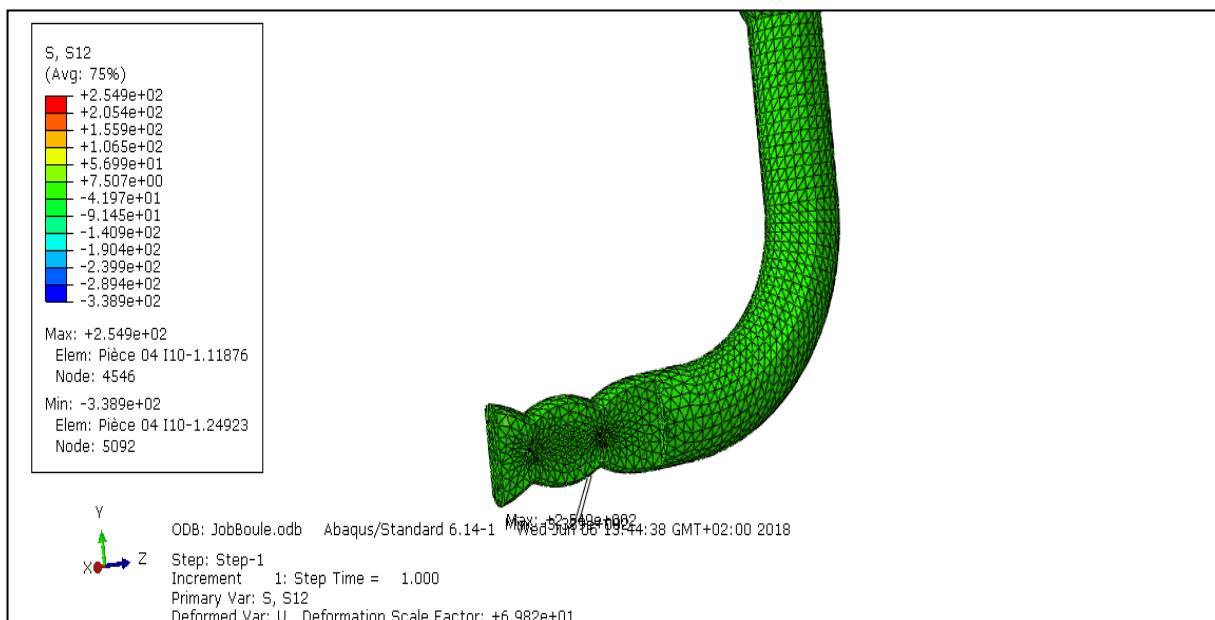
**Figure 3.2 : Concentration des contraintes axiale suivant l'axe (x) sous l'effet de l'effort de traction.**



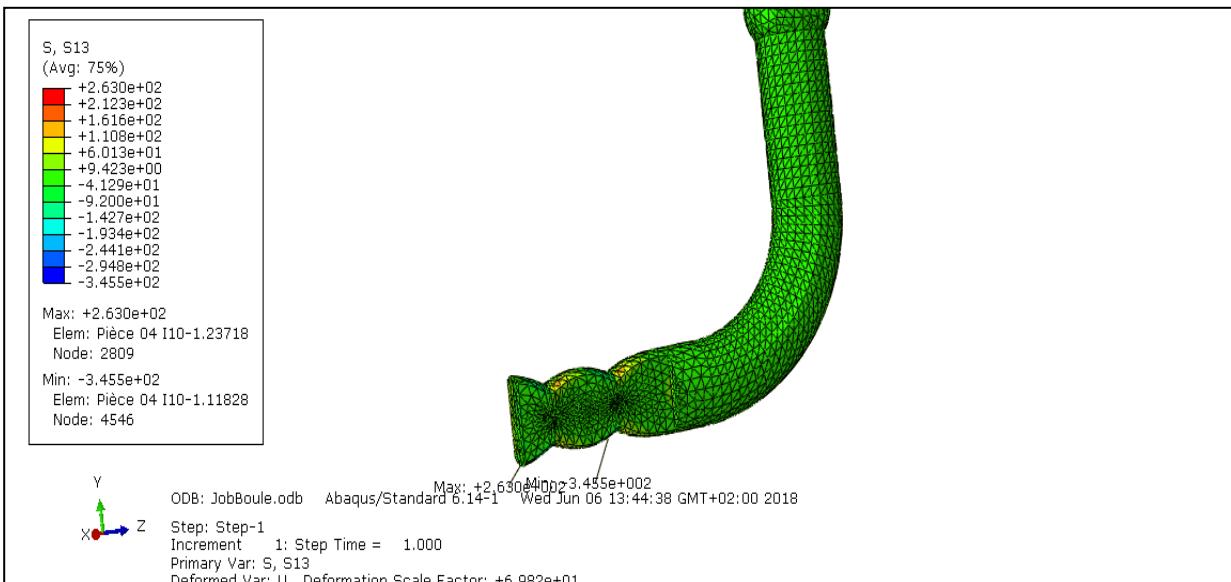
**Figure 3.3 : Concentration des contraintes axiale suivant l'axe (y) sous l'effet de l'effort de traction.**



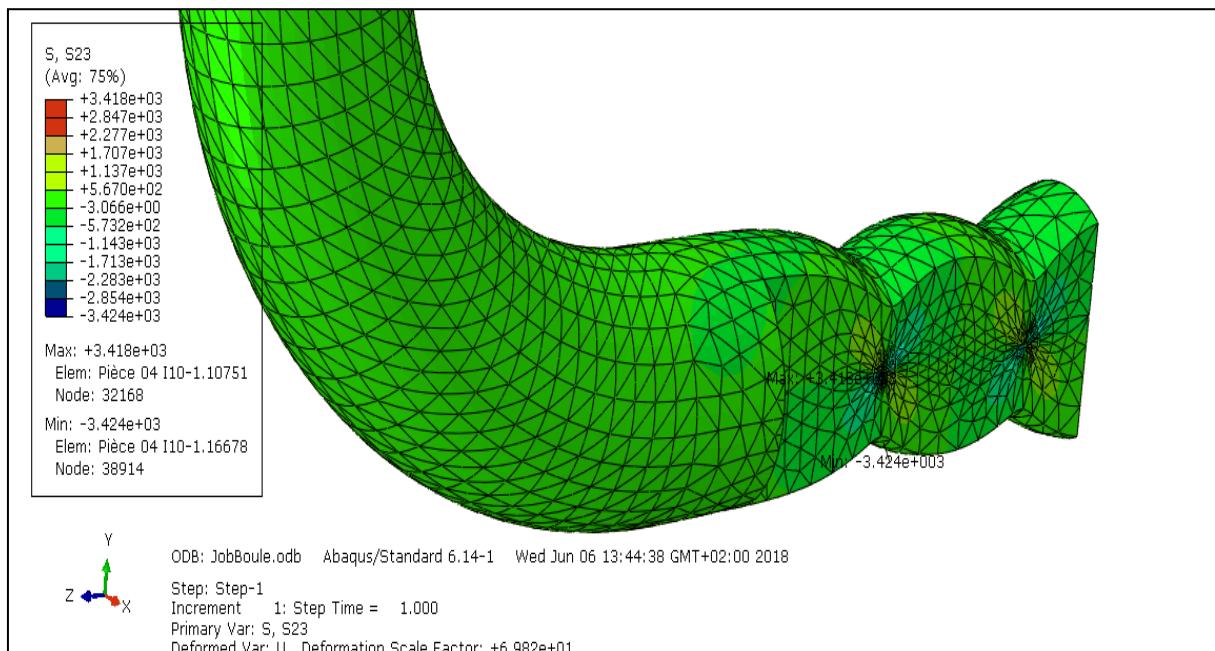
**Figure 3.4 : Concentration des contraintes axiales suivant l'axe (z) sous l'effet de l'effort de traction.**



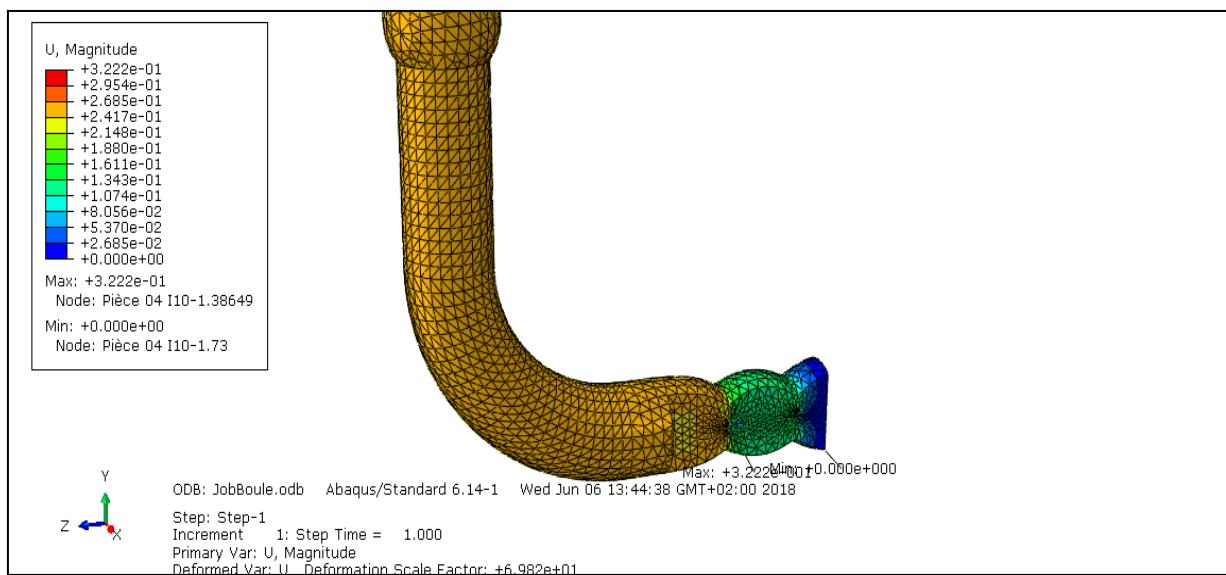
**Figure 3.5 : Concentration des contraintes de cisaillement suivant l'axe (xy) sous l'effet de l'effort de traction.**



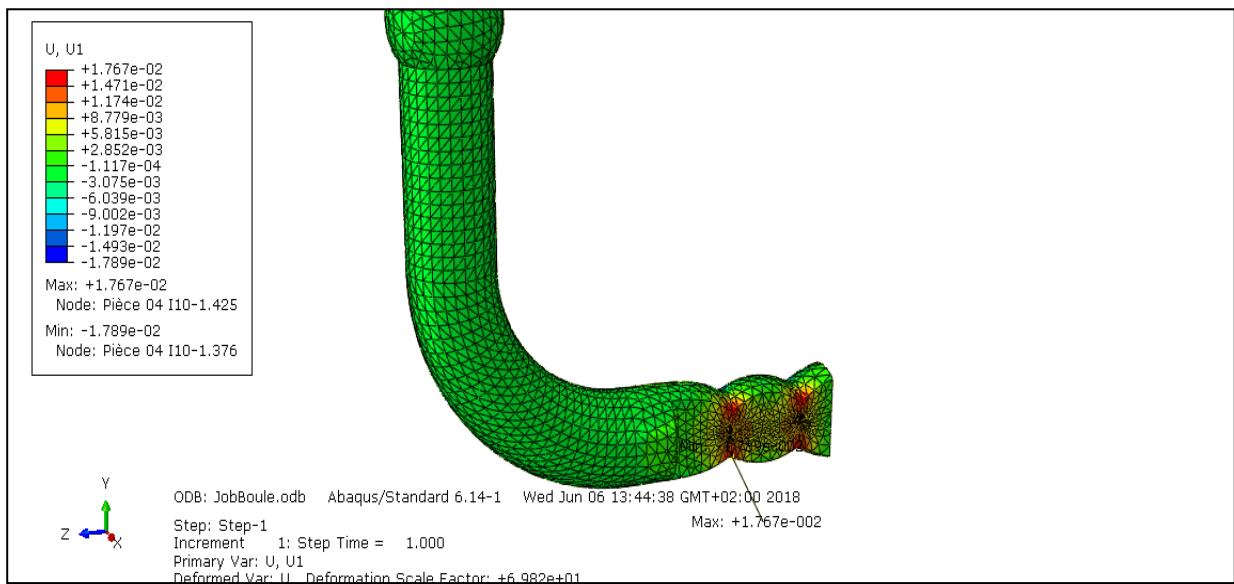
**Figure 3.6 : Concentration des contraintes de cisaillement suivant l'axe (xz) sous l'effet de l'effort de traction.**



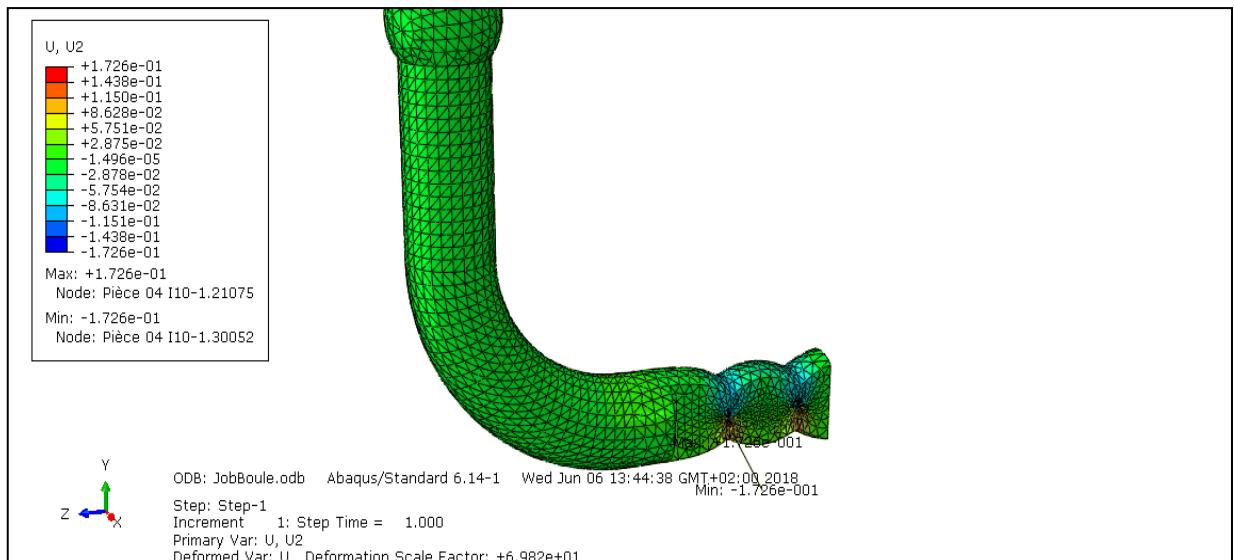
**Figure 3.7 : Concentration des contraintes de cisaillement suivant l'axe (yz) sous l'effet de l'effort de traction.**



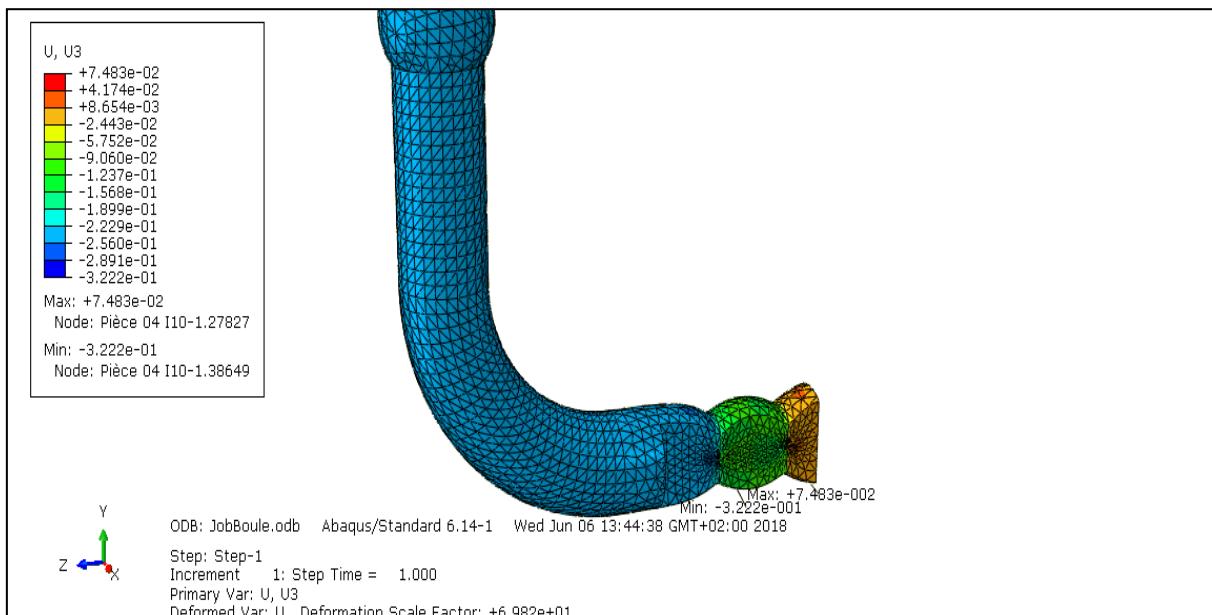
**Figure 3.8 : Déplacement moyen de la boule sous l'effet de l'effort de traction.**



**Figure 3.9 : Déplacement de la boule suivant l'axe (x) sous l'effet de l'effort de traction.**



**Figure 3.10 : Déplacement de la boule suivant l'axe (y) sous l'effet de l'effort de traction.**



**Figure 3.11 : Déplacement de la boule suivant l'axe (z) sous l'effet de l'effort de traction.**

### 3.9.1.1 Discussion

Donc la concentration des contraintes ou le risque de rupture se produit dans les régions de perçage ou les valeurs des contraintes sont élevées.

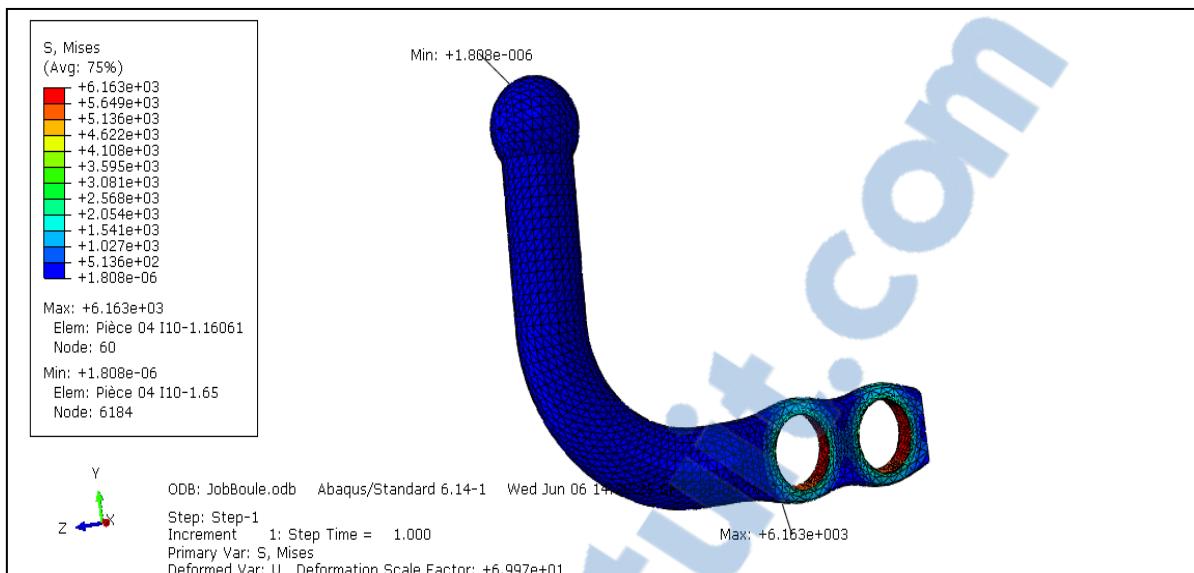
Les déplacements sont au maximum dans la zone de perçage.

Donc la boule est bien dimensionnée et elle peut supporter les charges externe de traction.

### 3.9.2 Cas de compression

Une charge de 3 KN est appliquée sur la boule d'attelage.

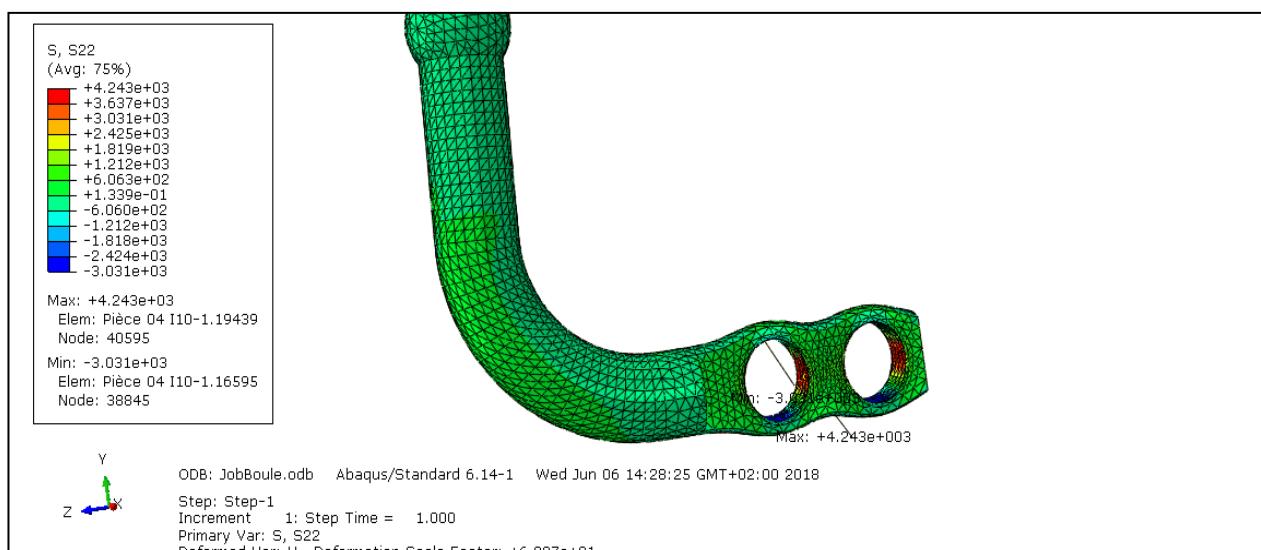
Les figures ci-dessous (3.12) à (3.22) présentent la modélisation de la boule dans le cas de la compression.



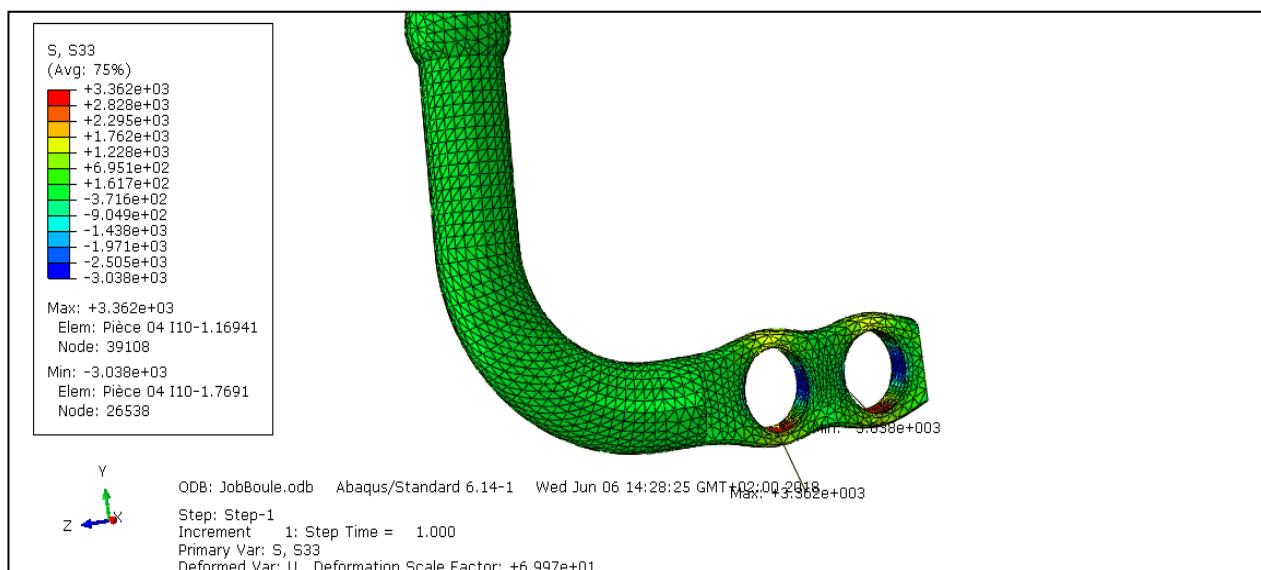
**Figure 3.12 : Concentration des contraintes moyenne sous l'effet de l'effort de compression.**



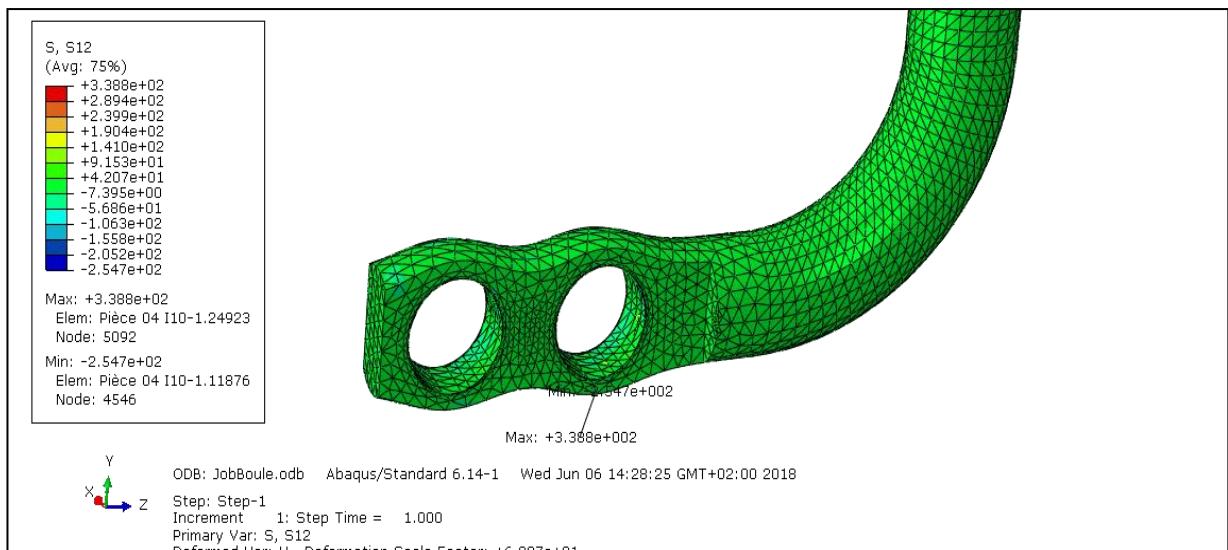
**Figure 3.13 : Concentration des contraintes axiale suivant l'axe (x) sous l'effet de compression.**



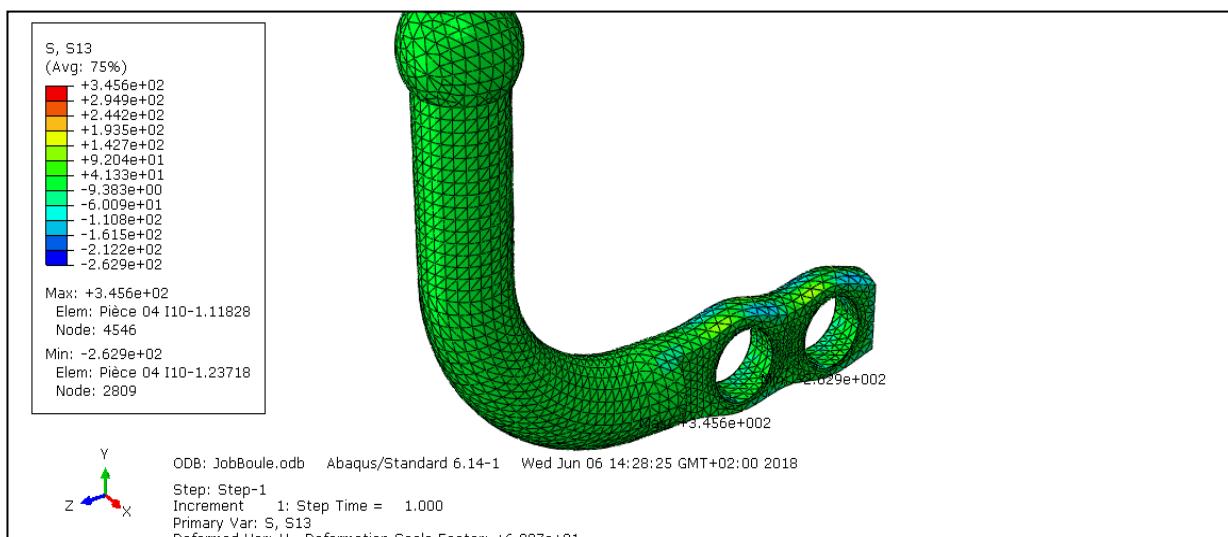
**Figure 3.14 : Concentration des contraintes axiale suivant l'axe (y) sous l'effet de l'effort de compression.**



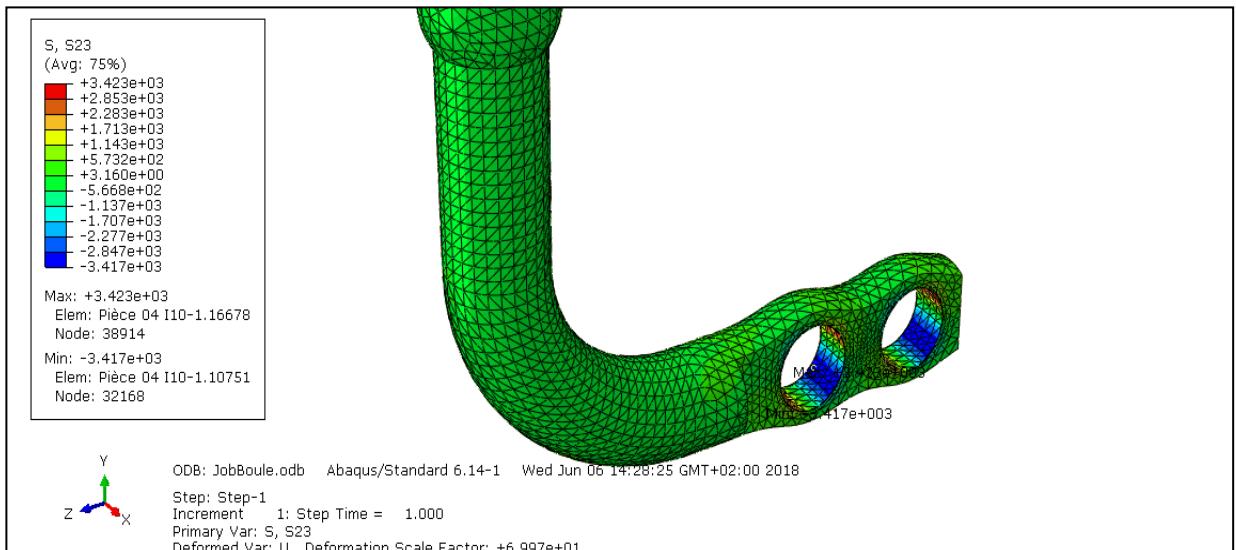
**Figure 3.15 : Concentration des contraintes axiale suivant l'axe (z) sous l'effet de l'effort de compression.**



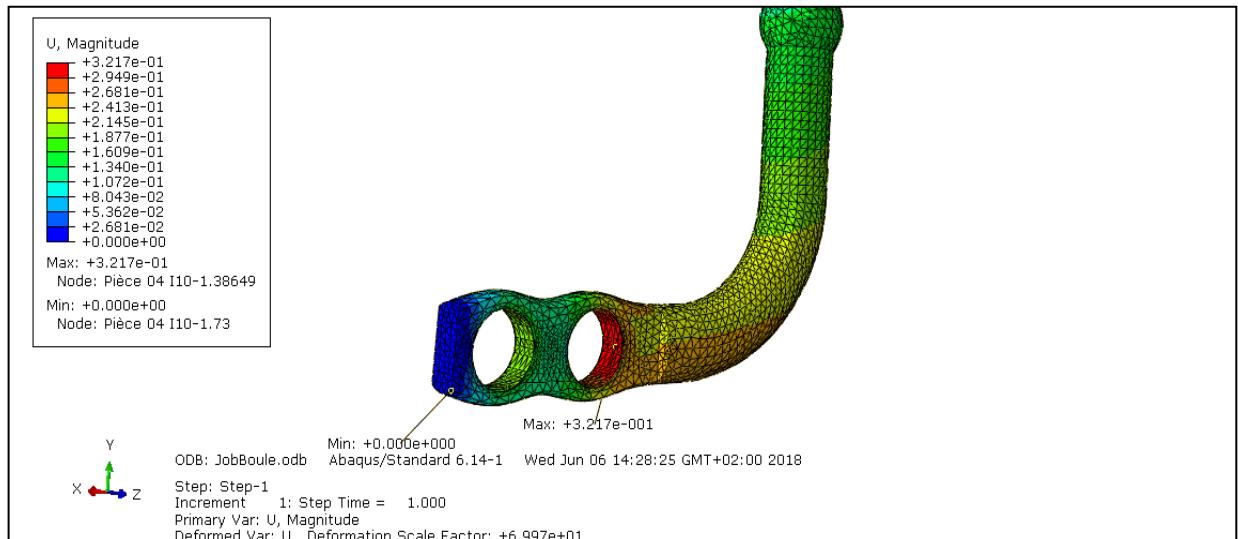
**Figure 3.16 : Concentration des contraintes de cisaillement suivant l'axe (xy) sous l'effet de l'effort de compression.**



**Figure 3.17 : Concentration des contraintes de cisaillement suivant l'axe (xz) sous l'effet de l'effort de compression.**



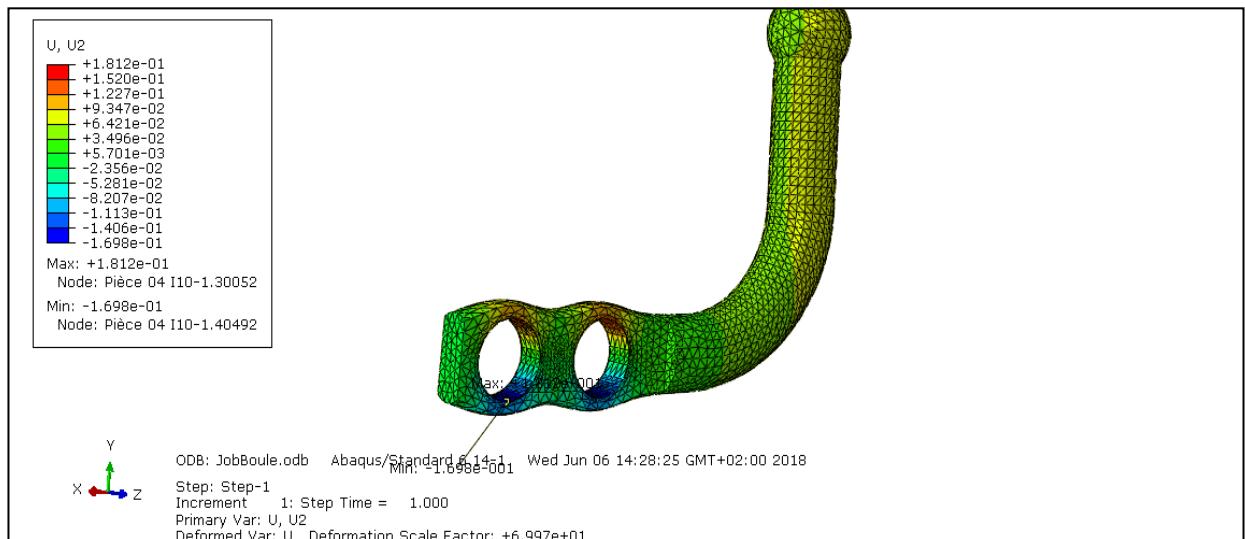
**Figure 3.18 : Concentration des contraintes de cisaillement suivant l'axe (yz) sous l'effet de l'effort de compression.**



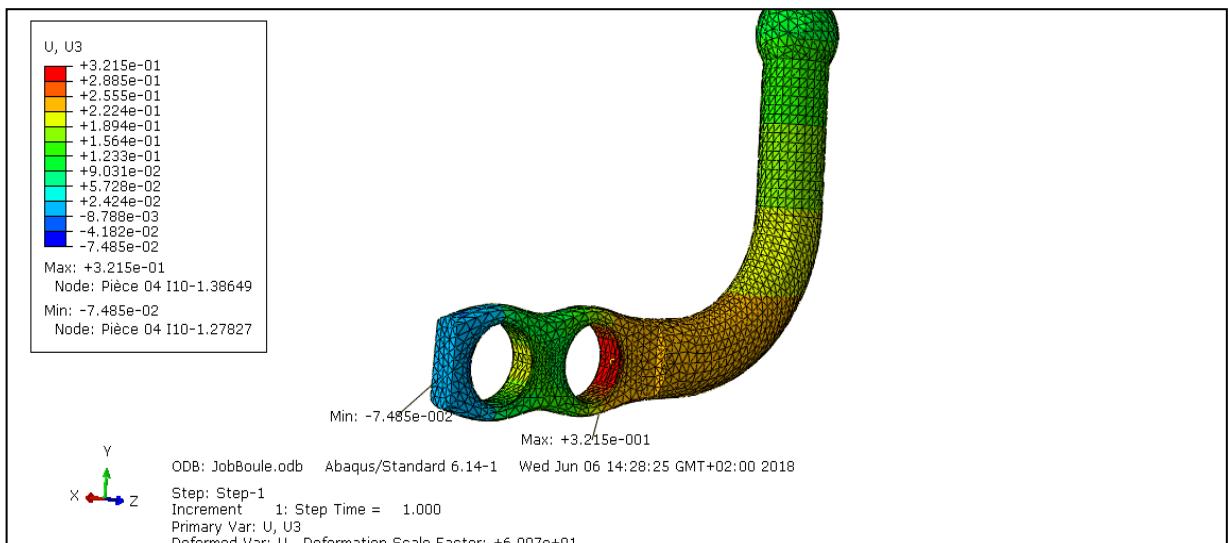
**Figure 3.19 : Déplacement moyen de la boule sous l'effet de l'effort de compression.**



**Figure 3.20 : Déplacement de la boule suivant l'axe (x) sous l'effet de l'effort de compression.**



**Figure 3.21 : Déplacement de la boule suivant l'axe (y) sous l'effet de l'effort de compression.**



**Figure 3.22 : Déplacement de la boule suivant l'axe (z) sous l'effet de l'effort de compression.**

### 3.9.2.1 Discussion

Même remarque de cas de traction, la concentration des contraintes ou le risque de rupture se produit dans les régions de perçage ou les valeurs des contraintes sont élevées.

Les déplacements sont au maximum dans la zone de perçage.

Donc la boule est bien dimensionnée et elle peut supporter les charges externes de compression.

## 3.10 Conclusion

L'attelage est une pièce importante pour la sécurité et pour relier la remorque au véhicule seulement par la boule d'attelage.

Cette approche globale permet de finaliser le design de l'attelage pour la réalisation d'attelage dans les meilleures conditions.

**Conclusion**

**Générale**

Le soudage couvre aujourd’hui l’ensemble des activités concernées par la mise en œuvre des métaux en feuilles, tubes et profilés, que l’on rencontre dans les grandes et petites installations industrielles de production et de transformation (nucléaire, chimie, pétrochimie, agro-alimentaire, pharmacie, cosmétique...), dans les transports chemin de fer automobile, marine, aéronautique, ouvrage, d’art, eau, gaz, produits divers...), le stockage (gaz, liquides, solides...) et l’environnement.

Ce secteur occupe une place importante dans l’ensemble de l’industrie mécanique tant par son volume d’activités que par la modernité des techniques qu’il requiert, notamment dans la maîtrise de la qualité.

L’objectif de ce travail consiste à concevoir et réaliser un attelage à boule pour véhicules légers avec gabarit à l’aide du logiciel SolidWorks version 2013 et Abaqus.

La conception de chaque attelage et gabarit s’est déroulée au niveau de bureau d’études dans le Groupement Bir Seba Sonatrach situé à Ouergla. La fabrication du prototype du projet a été effectuée au niveau des ateliers de production de l’entreprise Agro-industrie Kherbouch Tlemcen. Des documents techniques de soudage tel que DMOS et QMOS et autres fiches techniques, en plus une simulation à l’aide de logiciel Abaqus.

## Références bibliographiques

### Livre

[1] Welding and Cutting: a guide to fusion welding and associated welding processes, Houldcroft, Peter, Industrial Press, Edition 1989.

[2] Leptons-Technologies: soudabilité des métaux.

[3] André Chevalier, Guide dessinateur industriel, Edition 2004

### Thèse

[4] Sylvain DANCETTE, Comportement mécanique des soudures par points: mécanismes et stratégies de prédiction dans le cas des tôles en acier pour automobile, Thèse de doctorat, École doctorale matériaux de Lyon, France, 2009.

[5] Bachir MEZRAG, Etude de l'influence des paramètres de soudage sur la microstructure et le comportement mécanique des assemblages acier-aluminium obtenus par soudage à l'arc MIG-CMT, Thèse de doctorat, 10 septembre 2015.

### Webographie

[6] <https://www.soudage-equipement.com/blog/content/uploads/2017/02/Cours-MMA-.pdf>

[7] <http://www.lincolnelectric.com/assets/global/Products/K356-2/SUBARC-WELDING-fr.pdf>

[8] <https://www.rocdacier.com/cours-de-soudage/>

[9] <http://ep-c.fr/services-industriel/le-soudage/139-le-soudage-par-faisceau-de-electron.pdf?type=raw>

[10] <http://www.sdservice.fr/Recapitulatif-procedes-soudage.pdf>

[11] <http://ep-c.fr/services-industriel/le-soudage/138-le-soudage-par-friction.pdf?type=raw>