



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

Laboratoire de construction mécanique

Projet de Fin d'Etudes  
Pour l'obtention du Diplôme de Master en  
Génie Mécanique

Option : fabrication mécanique et productive

Titre

**Amélioration du procédé de réglage des  
paramètres de soudage d' un poste a soudé  
MMA**

Proposé et encadré par :

**Mr. Abada mourad**

**Mr. Moussaoui billal**

**Mahmoud Ali Ahmed Halla**

Réalisé par :

**Chabane meriem**

**Djadi khaoula**

## *Remerciements*

C'est à ALLAH, que nous adressons toute notre gratitude en premier lieu.

On tient à remercier Monsieur MOUSSAOUI billal, notre Co-promoteur, et le chef de l'entreprise 2MP industrie, pour l'honneur qu'il nous a fait en acceptant d'être notre encadreur du projet et pour sa consécration, sa présence, son aide, ses conseils précieux et nous ouvert les portes de l'entreprise pour nous, et il nous a fourni tout le matériel nécessaire qui nous a aidés pour finir notre projet, et nous le remercierons de nous avoir traités comme des ingénieurs pas seulement comme des stagiaires.

Nous remercierons aussi Monsieur ABADA mourad, notre promoteur, pour fait acceptant d'être notre encadreur du projet, et pour dirigez-le vers l'entreprise 2MP industrie.

Ensuite, on gratifie MAHMOUD ALI AHMED Halla, la manager d'études et ingénierie dans l'entreprise 2MP industrie, qui nous a accompagnés pendant toute la durée de stage, et pour sa considération, sa présence, ses conseils et encouragements durant tout le temps alloué au projet, dans le propos de bien mener ce travail avec tout le satisfecit souhaité.

Nous ne remercierons jamais assez nos chères familles pour nous avoir toujours encouragés et nous avoir renseigné le gout du savoir et de l'ambition.

Nous remercierons aussi l'ensemble de la famille enseignante pour nous avoir formé durant toute ces années et tous ceux contribué de près ou de loin pour la réalisation de ce travail.

## Résumé :

L'assemblage par soudage est le moyen le plus répandu dans le domaine industriel, il consiste à assembler deux ou plusieurs corps métalliques. Notre travail consistait à améliorer la partie manuelle du réglage de la valeur d'ampérage du poste à souder MMA (Manuelle Métal Arc) en la rendant semi-automatique, cette amélioration permet de gain remarquable eu temps de travail, et si le travailleur était blessé par au bras.

## Abstract :

Assembly by welding is the most communing process the industrial field, it consists of joining two or more metallic structures by creating a permanent connection between them. However, this bond may contain types, advantages, disadvantages and defects on behavior of these assemblies.

In this dissertation, our work was to improve the manual part of setting the station amperage value in the welning machine MMA, by making it semi-automatic, this improvement allows a remarkable gain in working time, and if the worker had an injured in his arm.

## ملخص

تعد عملية التجميع بالتحليم الوسيلة الأكثر استخداما في المجال الصناعي، فهو يقتضي على جمع الأجسام المعدنية عن طريق إنشاء رابطة دائمة بينهم، في حين قد تحتوي هذه الرابطة على عدة عيوب التي تؤثر سلبا على سلوكها عند خضوعها لاجهادات دورية متكررة.

و مع ذلك، هذا التلاحم يحتوي على عدة أنواع و له الكثير من المميزات و العيوب. و في مذكرتنا، شملنا كل شيء يتمحور حول التحليم و آلة التحليم، و لقد عملنا على تطوير الجزء اليدوي الذي يسمح لنا بضبط شدة التيار اللازمة للقيام بعملية التحليم. و هذا التطوير يسمح لنا بكسب الكثير من الوقت و تلخيص ساعات العمل، و يساعد ايضا اذا كان العامل مصاب في ذراعه و لا يستطيع استعمال القوة.

## *Dédicace*

*Je dédie ce mémoire*

*A mes chers parents. Ma mère, qui m'a encouragé à aller de l'avant et  
Qui m'a donné tout son amour pour reprendre mes études, et  
Mon très cher père qui est être fier et trouver ici le résultat de longues années  
de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie  
Pour leur patience, leur amour, leur soutien et leurs  
Encouragements.*

*A ma sœur batoul et mon frère Mohamed*

*Je leur souhaite tout le succès... tout le bonheur*

*A mes amis et mes amours. Sur tout*

*Ismail, khaoula, farah ....Pour une sincérité si merveilleuse ...jamais oubliable, en leur  
souhaitant Tout le succès ...tout le bonheur.*

*A mademoiselle Ahmed Halla pour son aide, ses conseils précieux Sans oublier tous les  
professeurs que ce soit du*

*Primaire, du moyen, du secondaire ou de l'enseignement supérieur.*

*A toute ma famille surtout mon oncle Abdelhakim pour son aide et l'amour et le respect qu'ils  
m'ont toujours accordé*

*A tout personne*

*Qui m'a aidé à franchir un horizon dans ma vie*

*A tous ceux que j'aime.*

Chabane meriem

## *Dédicace*

Je dédie ce mémoire

A mes chers parents. Ma mère, qui m'a encouragé à aller de l'avant et  
Qui m'a donné tout son amour pour reprendre mes études, et  
Mon très cher père qui est être fier et trouver ici le résultat de longues années  
de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie  
Pour leur patience, leur amour, leur soutien et leurs  
Encouragements.

A mon amie Sofiane et ma belle parents

A ma belle jumelle Hadjer et mon âme sœur que j'aime beaucoup et ma sœur Samira et Mons  
frères Abderrahmane abdelleh  
Abdelfattah

Je leur souhaite tout le succès... tout le bonheur

A mes amis meriem et farah et nesrine et madina....Pour une sincérité si merveilleuse  
...jamais oubliable, en leur souhaitant Tout le succès ...tout le bonheur.

A mademoiselle Ahmed Halla pour son aide, ses conseils précieux, Sans oublier tous les  
professeurs que ce soit du

Primaire, du moyen, du secondaire ou de l'enseignement supérieur.

A tous ceux que j'aime.

Djadi khaoula

## Tableau de matière.

1	Chapitre 1 : généralité sur le soudage.....	2
1.1	Introduction :.....	2
1.2	Histoire de soudage :.....	2
1.3	Définition de soudage : .....	2
1.4	Définition et le fonctionnement d'un poste à souder :.....	3
1.5	Le poste à souder Sidex 340M :.....	4
1.6	Les différents types de soudage :.....	4
1.6.1	Le soudage au chalumeau : (soudage flamme) :.....	4
1.6.2	Le soudage TIG : .....	4
1.6.3	Le soudage MMA (manu al métal arc) : .....	5
1.6.4	Le soudage MIG/MAG : .....	5
1.6.5	Le soudage plasma : .....	5
1.6.6	Le soudage électrique par résistance (par point) :.....	5
1.7	Les avantages et inconvénients de chaque procédé de soudage :.....	5
1.7.1	MIG/MAG : .....	5
1.7.2	MMA :.....	6
1.7.3	TIG :.....	6
1.8	Caractéristiques importantes du poste à souder :.....	6
1.8.1	L'alimentation électrique : .....	6
1.8.2	Le courant de sortie (tension, puissance) : .....	7
1.8.3	Le taux de fonctionnement : .....	7
1.8.4	Les capacités d'isolation et de refroidissement : .....	8
1.8.4.1	L'isolation :.....	8
1.8.4.2	La limitation des harmoniques : .....	8
1.8.4.3	Le refroidissement :.....	8
1.8.5	Les dispositifs supplémentaires :.....	8
1.8.6	Les critères de la torche à souder : .....	8
1.9	Les composants de poste à souder : .....	9
1.9.1	Le transformateur :.....	9
1.9.1.1	Définition :.....	9
1.9.1.2	Les types des transformateurs : .....	9
1.9.2	Les Bobines :.....	9
1.9.2.1	Définition :.....	9

1.9.3	Le condensateur : .....	10
1.9.3.1	Définition : .....	10
1.9.4	La diode : .....	11
1.9.4.1	Définition : .....	11
1.9.4.2	Protection des diodes : .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
1.9.5	Un ventilateur : .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
1.10	Les différentes sources d'énergie utilisée en soudage : .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
1.10.1	La combustion d'un gaz combustible : .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
1.10.2	L'arc électrique : .....	14
1.10.3	L'effet joule : .....	14
1.10.3.1	Utilisation : .....	14
1.10.3.2	Applications : .....	14
1.11	Conclusion : .....	15
2	Chapitre 2 : Le procédé de soudage .....	16
2.1	Introduction : .....	16
2.2	Historique : .....	16
2.3	Le procédé de soudage : .....	17
2.3.1	Soudage par point par résistance : .....	17
2.3.1.1	Principe : .....	17
2.3.1.2	Utilisation : .....	17
2.3.2	Soudage l'arc électrique avec électrode enrobe : .....	18
2.3.2.1	Principe : .....	18
2.3.2.2	Utilisation : .....	18
2.3.2.3	Matériaux concerné : .....	18
2.3.2.4	Produit d'apport – matériel : .....	18
2.3.3	Soudage l'arc sous flux solide avec fil électrode : .....	19
2.3.3.1	Principe : .....	19
2.3.3.2	Utilisations : .....	20
2.3.3.3	Martiaux concernés : .....	20
2.3.3.4	Produit d'apport – matériel : .....	20
2.3.4	Soudage MIG/MAG : .....	20
2.3.4.1	Principe : .....	20
2.3.4.2	Utilisation : .....	21
2.3.4.3	Martiaux concernés: .....	21

2.3.4.4	Produit d'apport – gaz - matériel: .....	21
2.3.5	Le soudage TIG : .....	21
2.3.5.1	Principe :.....	21
2.3.5.2	Utilisation : .....	22
2.3.5.3	-Matériaux concerne : .....	22
2.3.5.4	Produit d'apport – gaz – matériel :.....	23
2.3.6	Le soudage Oxyacéthylique :.....	23
2.3.6.1	Principe :.....	23
2.3.6.2	Utilisations :.....	23
2.3.6.3	Martiaux concernés :.....	24
2.3.6.4	Produit d'apport – gaz – matériel :.....	24
2.4	Les caractéristique des procédés de poste à souder :.....	24
2.4.1	Le type d'énergie mise en œuvre :.....	24
2.4.2	Les paramètres physiques :.....	25
2.4.3	Le mode d'élaboration de la continuité de la matière :.....	25
2.4.4	La morphologie de la liaison qu'ils permettent de réaliser :.....	25
2.5	Conclusion : .....	27
3	Chapitre 3 : Le contrôle et défauts de soudage .....	28
3.1	Contrôle de soudage. ....	28
3.1.1	Introduction :.....	28
3.1.2	Contrôle avant le soudage :.....	28
3.1.3	Contrôle pendant le soudage: .....	28
3.1.4	Contrôle après le soudage :.....	28
3.1.5	Définition des trois temps de contrôle :.....	29
3.1.5.1	Avant le soudage : .....	29
3.1.5.2	Pendant le soudage : .....	29
3.1.5.3	Après le soudage : .....	29
3.1.6	Les essais de soudage :.....	29
3.1.6.1	Essais non destructif des soudures: .....	30
3.1.6.2	Essais destructifs des soudures :.....	34
3.1.6.3	Essais semi-destructifs des soudures : .....	38
3.1.7	Rapport de l'essai : .....	38
3.1.8	Sécurité.....	38
3.2	Les défauts de soudage : .....	39

3.2.1	Introduction :.....	39
3.2.2	Préparation des pièces à souder :.....	39
3.2.3	Déformation des soudures :.....	40
3.2.4	Défauts de soufflures ou cavités :.....	40
3.2.4.1	Définition :.....	40
3.2.4.2	Types de soufflures fréquentes :.....	40
3.2.4.3	Cause des soufflures :.....	41
3.2.4.4	Remèdes contre le défaut de soufflures:.....	41
3.2.5	Défauts de fissures :.....	41
3.2.5.1	Définition :.....	41
3.2.5.2	Types de fissures fréquentes :.....	41
3.2.5.3	Causes des fissures :.....	42
3.2.5.4	Remèdes contre les fissures.....	42
3.2.6	Défauts d'inclusion :.....	42
3.2.6.1	Types d'inclusions fréquentes:.....	43
3.2.6.2	Cause de l'inclusion:.....	43
3.2.7	Défaut de manque de fission (collage) :.....	43
3.2.7.1	Définition :.....	43
3.2.7.2	Types de manque de fusion :.....	44
3.2.8	Des défauts de collage :.....	44
3.2.8.1	Les causes de collage :.....	44
3.2.8.2	Remèdes :.....	44
3.2.9	Défaut de pénétration :.....	44
3.2.9.1	Définition :.....	44
3.2.9.2	Cause des défauts d'excès de pénétration :.....	45
3.2.9.3	Remèdes :.....	45
3.2.10	Défaut de d'effondrement :.....	45
3.2.10.1	La cause de d'effondrement :.....	45
3.2.10.2	Remèdes :.....	46
3.2.11	Défauts de retassures et criques:.....	46
3.2.11.1	Définition :.....	46
3.2.12	Défaut de morsure et caniveau :.....	46
3.2.12.1	Définition :.....	46
3.2.12.2	Remèdes :.....	46

3.2.13	Défaut géométrique des cordons :.....	47
3.2.13.1	Défaut de convexité: .....	47
3.2.13.2	Défaut de concavité:.....	47
3.2.13.3	Défaut d'alignement:.....	48
3.2.13.4	Déformations angulaires: .....	48
3.2.13.5	La Causes : .....	48
3.2.13.6	Remèdes .....	48
3.2.14	Défaut au rochage : .....	48
3.2.15	Pollution ferreuse : .....	49
3.2.16	Mauvaise reprise de cordon : .....	49
3.2.17	Projection : .....	49
3.3	Conclusion : .....	51
4	Chapitre 4: Amélioration dans le poste à souder.....	52
4.1	Introduction :.....	52
4.2	Un poste à souder avec un rhéostat : .....	52
4.3	Généralité sur transmission : .....	52
4.3.1	Définition des engrenages :.....	52
4.3.2	Théorie succincte des transmissions par engrenage:.....	53
4.3.2.1	Principes de l'engrènement :.....	53
4.3.2.2	Les différents types d'engrenage : .....	54
4.4	Le but et une explication de notre amélioration :.....	57
4.4.1	Le réglage de l'intensité de soudage :.....	57
4.5	Les éléments qui on a utilisé dans notre amélioration : .....	58
4.5.1	Un moteur : .....	58
4.5.1.1	Application numérique :.....	59
4.5.2	Des engrenages: .....	59
4.5.2.1	Application numérique :.....	59
4.5.2.2	Courroies crantées (ou synchrones) :.....	61
4.6	Etude de la conception d'une courroie crantée :.....	62
4.6.1	Les caractéristique du les deux poulies :.....	62
4.6.2	Les caractéristiques de courroie :.....	62
4.6.2.1	Le rapport de transmission de courroie :.....	62
4.6.2.2	Matériaux des courroies :.....	63
4.6.2.3	La longueur de courroie : .....	63

4.6.2.4	Puissance de service :.....	63
4.6.2.5	Détermination de pas :.....	64
4.6.2.6	Vitesse linéaire V de la courroie :.....	64
4.6.2.7	Puissance de base $P_b$ de la courroie : .....	65
4.6.2.8	Choix de largeur de courroie :.....	65
4.7	La fixation de système :.....	66
4.8	notre travail dans la société:.....	66
4.9	Conclusion : .....	66

## Liste des définitions

- (1) Oxyde : est un composé chimique acide résultant de l'association d'un corps, avec au moins un atome d'oxygène et un atome d'un autre élément.
- (2) La fissure de fatigue : Un objectif majeur en mécanique de la rupture, et plus spécifiquement pour la fissuration de fatigue, est d'avoir accès à la répartition réelle des facteurs d'intensité des contraintes le long d'un front de fissure en trois dimensions.
- (3) Coridonage : Procédé de préparation de surface consistant à projeter à l'aide d'une buse sous pression un abrasif sur la pièce à nettoyer. Différents types de projectiles peuvent être utilisés en fonction de la fragilité de la pièce à nettoyer et de l'effet souhaité.
- (4) Meulage : c'est une opération qui consiste à enlever des matériaux à l'aide d'une meuleuse. Il existe plusieurs formes et plusieurs modèles de meuleuse. Les types de meulage sont nombreux car les différentes techniques de meulage sont en fonction du travail à réaliser.
- (5) Contrôle des surfaces par ressuage : Le ressuage est une technique de contrôle surfacique qui permet de déceler les défauts débouchant sur tous types de matériaux non poreux. C'est une technique simple à mettre en œuvre, qui nécessite une mise en œuvre rigoureuse pour garantir une sensibilité optimale.
- (6) Ultrasons : est une onde mécanique et élastique, qui se propage au travers de supports fluides, solides, gazeux ou liquides.
- (7) Le redressage : Les opérations de redressage et formage mécanique consistent généralement à finaliser la forme d'un composant ou d'une structure métallique.

## Liste des figures

- Figure. 1.1** : le poste à souder Sidex 340M.  
**Figure. 1.2** : bobine torique.  
**Figure. 1.3** : bobine l'air.  
**Figure. 1.4**: le condensateur.  
**Figure. 1.5**: la diode.  
**Figure. 1.6** : Diode branchée dans le sens passant.  
**Figure. 1.7** : Diode branchée dans le sens bloquant.  
**Figure. 2.1** : Soudage l'arc électrique avec électrode enrobe.  
**Figure. 2.3** : soudage MIG/MAG.  
**Figure. 2.4**:détail d'une torche.  
**Figure. 2.5** : soudage TIG.  
**Figure. 2.6** : soudage Oxyacétylénique.  
**Figure. 2.7** : les différentes températures de la flamme oxycéténique.  
**Figure. 2.8**: les procédés d soudage en fonction de l'énergie mise en œuvre.  
**Figure. 3. 1** : 1-la présence de caniveaux. 2 une surépaisseur ou une sous-épaisseur (gorge a), 3 un manque de pénétration.  
**Figure.3.2**: ressuage coloré.  
**Figure.3.3**: ultrasons.  
**Figure.3.4** : essai de résilience.  
**Figure.3.5**: la dureté brinell.  
**Figure.3.6**: méthode d'essai.  
**Figure.3.7** : Sécurité Les éléments nécessaires pour de bonne condition de travail.  
**Figure.3.8** : Défaut de soudure soufflure.  
**Figure.3.9** : Défaut de soudure fissures.  
**Figure.3.10** : la fissure longitudinale.  
**Figure.3.11**: défaut d'inclusion.  
**Figure.3.12** : inclusion de laitier.  
**Figure.3.13** : manque de fusion.  
**Figure.3.14** : Défaut de soudure excès de pénétration.  
**Figure.3.15** : Types d'effondrements.  
**Figure.3.16** : Défaut de soudure soufflure et cavité.  
**Figure.3.17** : Défaut de morsure et caniveau.  
**Figure.3.18** : Convexité et concavité.  
**Figure.3.19** : Défaut d'alignement.  
**Figure.3.20** : Déformations angulaires.  
**Figure 4.1** : télécommande.  
**Figure 4.2** : Différents types d'engrenage.  
**Figure 4.3**-Principe de la transmission (a) par friction, (b) par obstacle.  
  
**Figure 4.4** : Terminologie principale définissant les caractéristiques d'une denture droite.  
**Figure 4.5** : les types des engrenages.  
**Figure 4.6**: Pignon crémaillère.  
  
**Figure 4.7** : les types des engrenages.  
**Figure 4.8** : engrenages concourants  
**Figure 4. 9** : les trois types des dentures.  
**Figure 4.10** : l'assemblage de système.  
**Figure 4.11** : le pignon de moteur (soleil).

**Figure 4.12 :** le satellite (élément dans la transmission plantaire).

**Figure 4.13 :** engrenage du nombre des dents 10.

**Figure 4.14 :** engrenage du nombre des dents 33.

**Figure 4.15 :** engrenage du nombre des dents 33.

**Figure 4.16 :** engrenage du nombre des dents 11 (la petite poulie de la courroie).

**Figure 4.17:** Ligne primitive d'une courroie crantée.

**Figure 4.18 :** La fixation de système.

**Figure 4.19 :** moteur central.

**Figure 4.20 :** poste a souder.

## Liste des tableaux

**Tableau. 1.1 :** les avantages et l'inconvénient de chaque procédé.

**Tableau. 2.1:** Les plus utilisés seront l'électrode rutile et basique.

**Tableau. 2.2:** comparatif de procédés.

**Tableau.3.1:** symboles Rockwell.

**Tableau.3.2 :** Il présente les principaux défauts en fonction du procédé de soudage utilisé.

**Tableau.3.3:** reprend certains défauts communs et y présente en plus les moyens de les éviter.

**Tableau .4.1 :** les caractéristiques d'engrenage.

**Tableau 4.2 :** les différents types d'engrenages.

**Tableau 4.3 :** Intensité moyenne de soudage pour la position à plat.

**Tableau 4.4 :** caractéristiques des engrenages.

**Tableau 4.5 :** Les caractéristiques des poulies.

**Tableau 4.6 :** Les valeurs du coefficient de service  $K_s$ .

**Tableau 4.7 :** Les valeurs de pas à partir de ce type.

**Tableau 4.8 :** Coefficient correcteur  $K_b$  fonction de la largeur des courroies crantées.

## **List des graphes**

**Grphe 4.1 :** (gammes) puissances transmissibles des courroies crantées.

**Grphe 4.2 :** puissance de base des courroies crantées.

# Introduction générale

## La liste de symbole :

I : intensité de courant (A).

U : tension (V).

C : capacité (F).

Q : charge.

T : température.

L : l'inductance de la bobine.

$W_2$  : l'énergie électrique.

$L_0$  : la longueur initiale.

$L_u$  : longueur de rupture.

$W_i$  : Energie initiale.

$W_r$  :Energie résiduelle .

$W$  : Energie absorbée (j).

M : masse (kg).

HB : la dureté.

F : charge (daN).

$F_0$  : charge initiale (daN)

$F_1$  : surcharge (daN).

P : pas (mm).

m : module.

h : la hauteur de dent.

b : largeur denture.

$h_a$  : saillie.

$h_f$  : creux.

$\Omega_{\text{sort}}$  : la vitesse angulaire de l'arbre sortie (rad/s).

$\Omega_{\text{entr}}$  : la vitesse angulaire de l'arbre d'entrée (rad/s).

$T_{\text{sort}}$  : le couple de l'arbre de sortie (Nm).

$T_{\text{entr}}$  : le couple de l'arbre d'entrée.

D : diamètre.

N : la vitesse de rotation (tr/min).

P : la puissance (w).

C : le couple (N.M).

Z : nombre de dent.

$R_v$  : rapport de transmission.

$D_p$  : diamètre primitif (mm).

$N_D$  : la vitesse de rotation de la grande poulie.

$N_d$  : la vitesse de rotation de la petite poulie.

$d_p$  : diamètre primitif de la petit poulie.

$D_p$  : diamètre primitif de la grande poulie.

$Z_d$  : nombre de dents de la petite poulie.

$Z_D$  : nombre de dents de la grande poulie.

$C_d$  : le couple de la petite poulie.

$C_D$  : le couple de la grande poulie.

$a$  : l'entraxe (mm).

$K_s$  : coefficient de service.

$P_b$  : puissance de base.

$K_b$  : coefficient correcteur fonction de la largeur des courroies crantée.

## Liste des abréviations

SMAW : Soudage à l'arc à l'électrode enrobée.

GMAW : Soudage sous protection gazeuse actif à électrode fusible MAG.

GMAW : Soudage sous protection gazeuse inerte à électrode fusible MIG.

FCAW : Soudage fil fourré sans gaz.

GTAW : Soudage sous protection gazeuse à électrode réfractaire (TIG).

PAW : Soudage plasma.

RSW : Soudage par résistance par point.

FSW : Soudage par friction-malaxage.

EBW : Soudage par faisceau d'électrodes.

ZAT : Zone affectée thermiquement.

MM A : manu al métal arc

MIG/MAG : métal inerte gaz/ métal actif gaz.

TIG : Tungstène inerte gasThermo.

OA : Soudage chalumeau.

CC ou DC : courant continu.

CA ou AC : ou alternatif.

HF : Haute Fréquence.

R : Rutile.

RR : rutile pais.

B : Basique.

C : Cellulosique.

COFREND : comité français des essais non destructifs.

TTAS : traitement thermique après soudage.

DMOS : descriptif de mode opératoire de soudage.

PVC : fibres de verre ou de carbone.

US : ultrasons.

HRC :Health Research Board

HRA :Health Research Authority.

HRE : hormone response element

HRF : Heritage Rose Foundation,

- **Introduction général:**

L'assemblage par soudage est l'un des procédés les plus utilisés dans le monde l'industrie, sont développement est passé par plusieurs étape jusqu'aux nouveaux procédés qui sont le MIG, MAG, ASW, soudage par faisceau laser, a l arc électrique...etc.

La soudure est le nom donné au joint formé par la fusion des bords des pièces à souder entre elles.

Le soudage est un domaine de construction électromécanique très vaste où les spécialistes, techniciens, ingénieurs et chercheurs continuent de faire des progrès très importants en vu d améliorer son efficacité

Le soudage à l'arc électrique est la procédure utilisée pour assembler deux pièces métalliques, en profitant de la chaleur produite par l'arc électrique qui se forme entre une électrode et le matériau à souder. L'arc de soudage peut être alimenté par une machine génératrice de courant alternatif. Cette machine de soudage est essentiellement un transformateur statique monophasé approprié pour la fusion des électrodes. Pour éviter que les capacités de service ne soient pas dépassées, les postes à souder sont équipées d'une protection contre les surcharges qui coupe automatique de l'alimentation électrique en cas de surcharge. L'opérateur doit alors attendre quelques minutes avant de retourner travailler. La maîtrise de la technologie de soudage passe par une connaissance approfondie des systèmes de soudage.

Le but de notre travail est une étude et conception d'un poste a souder.

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

- Le première chapitre, nous avons aborde une généralité sur le soudage.
- Le deuxième chapitre, les procédés de soudage.
- Le troisième chapitre, sur les défauts et le contrôle de soudage.
- Le quatrième chapitre, amélioration dans le poste a soudé

Nous avons clôturés par une conclusion générale.

## **1 Chapitre 1 : généralité sur le soudage.**

### **1.1 Introduction :**

Parmi les procédés d'assemblages, le soudage occupe une place importante dans toutes les branches d'industrie, car il permet d'adapter au mieux, les formes de construction aux contraintes qu'elles sont appelées à supporter en service.

Il existe deux cas de soudage :

- La soudure Autogène : Le métal qui compose le joint est de même nature que les pièces à souder.
- La soudure Hétérogène : Le métal qui compose le joint est de nature différente des pièces à souder.

### **1.2 Histoire de soudage :**

Le soudage est un procédé qui a été utilisé depuis l'antiquité pour l'objet d'assurer la continuité de la matière à assembler.

Les égyptiens et les peuples de l'est méditerranéen ont utilisé le soudage pour assembler des pièces en fer il y a plus de 3000ans.

L'historien grec Hérodote déclare dans l'histoire (du 4ème siècle A.V J.C) que Glaucos de Chios est le seul homme qui ait trouvé l'art de souder le fer.

Le soudage n'était pas limité à assembler seulement le fer, par contre l'exemple le plus ancien dans le domaine de soudage est en (3300-3100 A.V JC) du petit chien à bélière en or, il a été soudé dans une température supérieure à 800°C et il est collectionné dans le musée du Louvre (Paris).

Un autre exemple de soudage en or a été fabriqué il y a plus de 2000ans est constitué par un petit boîtier.

### **1.3 Définition de soudage :**

Le soudage est une opération d'assemblage où la continuité métallique entre les parties à souder est réalisée en portant les métaux à la température de fusion, par l'intermédiaire d'une source d'énergie.

L'opération peut être appliquée aux métaux ainsi qu'aux matières thermoplastiques et au bois le soudage permet d'obtenir une continuité de la nature des matériaux assemblés.

Le soudage lui-même consiste à faire fondre les pièces à assembler le métal de base ainsi qu'un métal d'apport sous forme de fil ou baguette le chauffage peut être assuré par différentes sources d'énergie les plus courantes étant la flamme (chalumeau) et l'arc électrique, mais on peut aussi utiliser l'effet joule l'induction électromagnétique, l'échauffement par friction un laser ;....

Le chauffage doit être suffisant pour faire fondre les métaux (température du liquide)

- Bronze : 900 à 1085°C
- Acier : 1380 à 1538°C
- Alliage aluminium : 500 à 1600°C
- Alliage de nickel : 940 à 1660°C
- Alliage de titane : 950 à 1670°C.

#### **1.4 Définition et le fonctionnement d'un poste à souder :**

Le poste à souder à l'arc est un transformateur électrique modifiant un courant électrique faible pour obtenir un courant électrique grand pour de soudage.

En outre, c'est un appareil qui renvoie un courant continu ou alternatif, en fonction de celui-ci, générant des arcs électriques entre la masse et l'électrode.

Les paramètres de l'appareil sont : La tension électrique, l'intensité du courant, le type du courant et sa polarité si continue, et la fréquence. La tension est un paramètre d'usine. Modifiable ou pas, influe à l'amorçage et peu pour le soudage.

L'intensité est la force de l'arc électrique, plus sa valeur est élevée, plus le métal chauffe et se liquéfie. On la règle en fonction des électrodes, matériaux, leurs dispositions et la position de souder. Le type du courant influe surtout sur l'amorçage de l'arc électrique en fonction des électrodes utilisées.

En alternatif, on a une chance sur deux pour que la baguette colle ; En continue, L'électrode se branche généralement sur le moins (-) et la masse sur le plus (+).

Dans le cas contraire, le cordon de soudure est peu profond mais présente un bon aspect en surface avec des baguettes compatibles. La fréquence, dépend généralement du secteur, n'est pas variable. Il s'agit de la vitesse de génération des arcs électrique. Elle est de 25 Hz (impulsions par seconde) pour un poste à souder «classique» en courant alternatif (dépendant des 50 Hz du secteur). Ça valeur diffère selon les poste à souder en courant continue, se référer à la notice de l'appareil.

Le principe de fonctionnement d'un poste à souder électrique est le suivant : la source de chaleur nécessaire au soudage est produite par un transformateur haute-tension, alimenté par le courant secteur et donnant un courant à haute intensité.

Ce courant, à travers les électrodes, donne une série continue d'étincelles, comparable à un arc électrique.

L'arc électrique ne s'obtient qu'avec du courant contenu, avec l'alternatif le sens du courant change entre 50 et 60 fois par seconde, selon les périodes.

Les électrodes sont, d'une part, le métal à souder lui-même et, d'autre part la baguette de soudure qu'on appelle d'ailleurs communément : l'électrode.

La chaleur développée par l'arc est de l'ordre de 4000° et permet naturellement des soudages rapides puisque le métal entre immédiatement en fusion.

Les électrodes sont, en général constituées s'un fil métallique d'épaisseur variable enrobée de flux décapant.

### **1.5 Le poste à souder Sidex 340M :**



**Figure. 1.1 : le poste à souder Sidex 340M.**

C'est un poste à souder avec électrode enrobée Schiele métal arc welding conforme aux normes : CE(EN-60974-1), produire par l'entreprise Moussaoui industrie.

- Puissance maxi : 22,00KVA.
- Alimentation primaire triphasé : 220/380-50/60Hz.
- Courant : DC/CD.
- Tension à vide : 55 à 67V.
- Courant de soudage : 45A-320A.
- Diamètre d'électrode : 2 à 6 ,3 mm.
- Poids 108 kg.
- Dimensions : 880× 670×670 mm.
- Classe d'isolation : H.
- Indice de protection : 23.

### **1.6 Les différents types de soudage :**

#### **1.6.1 Le soudage au chalumeau : (soudage flamme) :**

Est l'une des technique de soudage les plus connues et les plus employées, son principe est simple ; il faut obtenir une flamme à l'aide du chalumeau et de deux types de gaz (gaz carburant + gaz comburant).

#### **1.6.2 Le soudage TIG :**

Le soudage TIG est un soudage de qualité, avec la possibilité de souder les faibles épaisseurs un arc stable elle nécessite une dextérité particulière du soudeur les domaines d'application les plus courants sont :

- l'aéronautique.
- l'automobile
- la tuyauterie industrielle
- l'agro-alimentaire.

### **1.6.3 Le soudage MMA (manu al métal arc) :**

Est une technique de soudage à l'arc électrique le but est de créer un court-circuit qui provoque un arc électrique et un très grand dégagement de chaleur (4000 voire 4500°C) c'est l'électrode qui sert de métal d'apport et qui permet donc de réaliser la soudure en fondant sur la pièce à souder.

### **1.6.4 Le soudage MIG/MAG :**

Le soudage à l'arc sous protection gazeuse (GMAW) présente deux variantes selon que le gaz de protection est inerte (argon) ou actif (CO<sub>2</sub>) on parlera dans le premier cas (gaz inerte) de soudage MIG

Bien qu'il permette de souder des plaques d'épaisseur très diverses le soudage sous gazeuse est surtout utilisé pour souder des tôles minces.

### **1.6.5 Le soudage plasma :**

Une technique utilise un arc électrique et qui reprend les procédés du soudage TIG et MIG le jet plasma est obtenu après création d'un arc électrique a besoin d'un gaz supplémentaire en plus du gaz principal.

### **1.6.6 Le soudage électrique par résistance (par point) :**

Est un processus thermoélectrique par lequel de la chaleur est générée dans l'interface des pièces à souder, il fonctionne en faisant passer un courant électrique à travers les pièces durant un temps contrôlé avec précision et sous une pression contrôlée également appelée force.

## **1.7 Les avantages et inconvénients de chaque procédé de soudage :**

### **1.7.1 MIG/MAG :**

- + Rapidité et possibilité de souder des tôles fines.
- + Plus facile à démarrer et à arrêter
- + Il permet une productivité » relativement élevée
- + Il nécessite ni changements fréquents d'électrodes ni élimination de laitier.

-travail en extérieur difficile (par ce que le poste il est grand il n'est pas portatif).

**1.7.2 MMA :**

+facile d'utilisation en intérieur et extérieur tous la position.  
 -nettoyage requis à chaque changement d'électrode.

**1.7.3 TIG :**

+Permet de souder de fines épaisseurs  
 +Cordon de soudage esthétique et fin  
 +Tous les métaux peuvent être soudés et cela avec le même gaz (argon pur)  
 -travail difficile en extérieur et intérieur de procédé.  
 -faible vitesse de soudage  
 - apport important d'énergie.

	Utilisation	métal	avantage	Inconvénient
Poste MMA	-début, maçon, chaudronnerie atelier, chantier.	Acier, inox, fer	-poste léger -facile d'utilisation -économie l'énergie.	-nettoyage requis à chaque changement d'électrode
Poste MIG/MAG	Atelier, chantier, carrosserie.	Acier, aluminium	-procède automatisable -vitesse élevée -large plage d'épaisseur	Travail en extérieur difficile
Poste TIG	Chaudronnier, carrosserie	Acier, alu, inox, cuivre, tôles fines	-soudage tôles fines -qualité de soudure exceptionnelle. -le travail extérieur	Lenteur du procède le travail est plus long

**Tableau. 1.1 : les avantage et l'inconvénient de chaque procédés.**

**1.8 Caractéristiques importantes du poste à souder :**

Un poste à souder à l'arc n'est pas qu'un simple transformateur électrique modifiant un courant d'entrée pour obtenir un courant électrique de soudage.

Des nombreuses caractéristiques distinguent entre eux les différents postes à souder :

**1.8.1 L'alimentation électrique :**

Le poste à souder est en général alimenté en énergie électrique par du courant provenant du secteur sauf pour le groupe autonome de soudure qui est équipé d'un groupe électrogène. Le courant secteur alimentant un poste à souder est soit du courant électrique monophasé en 220 V, soit du courant électrique en triphasé 380 V. Un poste à souder monophasé délivre une intensité de soudage généralement inférieure à 200A alors que les postes à souder triphasés délivrent généralement au-delà de 200A (400 à 600A). Cependant un poste à

soudure monophasé est capable de moins de puissance pour travailler en continu alors que le triphasé pourra travailler plus longtemps, car la puissance est supérieure. Dans ce cas, l'intensité du courant est comparable à la pression d'un jet d'eau et la puissance au débit. Un jet d'eau à grande hauteur est possible avec peu de puissance, mais pendant moins longtemps et avec moins de débit qu'avec plus de puissance.

Avant de brancher un poste à souder sur un groupe électrogène, il faut s'assurer que la puissance en kVa délivrée par le groupe est de deux fois la puissance de soudage délivrée par le poste : exemple pour 200A d'intensité de soudage, le groupe électrogène de 4 kVa est requis (notamment pour le soudage TIG).

### 1.8.2 Le courant de sortie (tension, puissance) :

Le courant de sortie délivré par le poste à souder est caractérisé par la puissance de soudage en ampères (A), la tension à vide en Volts (V) et le type de courant continu (CC ou DC) ou alternatif (CA ou AC).

L'intensité du courant de soudage : elle varie en fonction du procédé de soudage et augmente avec la taille de l'électrode :

- Pour le soudage à l'électrode enrobée (MMA), un diamètre de l'électrode de 4,0 mm nécessite environ 200A de puissance de soudage pour un poste monophasé, au-delà de 5,0 mm de diamètre d'électrode, il faut plus de 200A et le poste triphasé est requis, car l'intensité de soudage requise se monte à 400A pour une électrode de 6,3 mm
- Pour le soudage TIG, ou MIG-MAG, 150A est un minimum d'intensité de soudage, mais 200A au moins sont recommandés.

La tension à vide : c'est la tension électrique en Volts mesurée aux bornes du poste à souder avant qu'il ne débite le courant de soudage.

- La tension à vide détermine la stabilité de l'arc électrique et facilite l'amorçage.
- Elle devra se situer entre 40/45V pour le soudage MMA à électrode rutile et 70/80 V pour les électrodes spéciales (TIG).

Le type de courant de soudage : Alternatif (CA ou AC) ou continu (CC ou DC)

- Le courant alternatif est le plus fréquent car délivré par des postes à souder à transformateurs statiques. Le courant alternatif permet d'utiliser la presque totalité des électrodes, mais n'est pas utilisable avec toutes les électrodes ni tous les procédés de soudure à l'arc.
- Le courant continu est généralement celui débité par les postes de soudure de nouvelle génération intégrant une électronique de régulation de puissance « poste à souder inverser ».

Le courant continu permet de fondre tous les types d'électrodes.

### 1.8.3 Le taux de fonctionnement :

La délivrance d'un arc électrique implique une importante montée d'intensité du courant de soudure (puissance).

Au fur et à mesure que l'on soude, le poste chauffe et perd de sa capacité à fournir une puissance importante de courant.

C'est pourquoi la puissance du poste à souder s'exprime selon sa capacité à fournir un courant à 100 % de la puissance demandée pendant un certain cycle.

Le taux de fonctionnement dépend donc de la construction du poste à souder et de la présence d'un refroidissement.

Le taux de fonctionnement ou facteur de marche est exprimé Ampères et en pourcentage d'une période de 10 minutes toujours à température de 40 °C. 250 A à 40 % signifient qu'en cycle stabilisé en température, la source de courant pourra fournir 250 A pendant 6 minutes (60 % de 10 minutes) de soudage et 4 minutes d'arrêt (40 % de 10 minutes) à 40 °C de température.

## **1.8.4 Les capacités d'isolation et de refroidissement :**

### **1.8.4.1 L'isolation :**

Le poste à souder est un transformateur électrique produisant un courant pouvant être dangereux pour le soudeur. Pour éviter les électrisations et les électrocutions, le poste à souder est isolé au moins en catégorie IP23 (voir norme soudure).

### **1.8.4.2 La limitation des harmoniques :**

La norme EN 61000-3-12 encadre la limitation des harmoniques dans les réseaux électriques pouvant être générées par l'utilisation d'un poste à souder à l'arc en raison du fort écoulement de courant vers la terre.

### **1.8.4.3 Le refroidissement :**

Le refroidissement est un avantage important des postes à souder dès lors que l'on veut souder autrement que quelques points et réaliser des cordons de soudure sans (trop) d'interruptions.

La ventilation du poste à souder permet d'augmenter considérablement le taux de fonctionnement et la puissance de soudage. On distingue désormais :

Les postes à souder ventilés dans lequel un simple ventilateur tourne en permanence pour refroidir le transformateur.

Les postes à souder turbo-ventilés dans lesquels une turbine généralement régulée automatiquement ventile plus ou moins le poste à souder afin de le conserver à sa température optimale de fonctionnement.

## **1.8.5 Les dispositifs supplémentaires :**

Le confort et la sécurité de soudage sont sans cesse améliorés par la mise en place de dispositifs supplémentaires :

-Arc Force : stabilisation de la qualité de l'arc.

-Hot Start : démarrage et amorçage faciles.

-Anti stick : shunt automatique au collage qui limite l'endommagement des électrodes ;

-Soudage pulsé : facilite le soudage sur tôles fines et évite l'effondrement du bain.

-Le soudage pulsé permet un dépôt régulier du métal d'apport et améliore la pénétration.

-Amorçage HF : sur les postes TIG, l'amorçage Haute Fréquence est déclenché à la gâchette de la torche par le soudeur qui évite l'amorçage au gratté susceptible de contaminer l'électrode.

## **1.8.6 Les critères de la torche à souder :**

Sur les torches ce sont principalement des dispositifs de gestion du gaz qui facilitent le travail :

Pré gaz : purge les canalisations avant amorçage.

Post gaz :

- protection de la pièce et de l'électrode tungstène ;
- refroidissement à l'air ou à l'eau des torches à souder ;
- torche orbitale pour la soudure des canalisations et tuyaux.

## 1.9 Les composants de poste à souder :

### 1.9.1 Le transformateur :

#### 1.9.1.1 Définition :

Un transformateur est un adaptateur de tension. Il permet de transférer de l'énergie (sous forme alternative) d'une source à une charge. Il est composé de deux bobines l'une appelée primaire et l'autre secondaire. Les enroulements primaires et secondaires sont alternés. La bobine secondaire est protégée de la bobine primaire par un verni. Il n'y a pas de liaisons électriques entre le primaire et le secondaire. La liaison ici est magnétique.

#### 1.9.1.2 Les types des transformateurs :

- Les transformateurs d'alimentation pour produire les diverses tensions d'alimentation requises par les montages. Ce sont les transformateurs abaisseurs de tension.
- Les transformateurs adaptateurs d'impédance pour améliorer la transmission entre deux étages.
- Les transformateurs d'isolement pour transmettre les signaux variables sans leur valeur moyenne quand celle-ci est trop élevée et nuisible.
- Les transformateurs d'impulsion pour produire des fortes tensions et des forts courants de pointes pour l'amorçage des thyristors et triacs.

### 1.9.2 Les Bobines :



Figure. 1.2 : bobine torique



Figure. 1.3 : bobine l'air

#### 1.9.2.1 Définition :

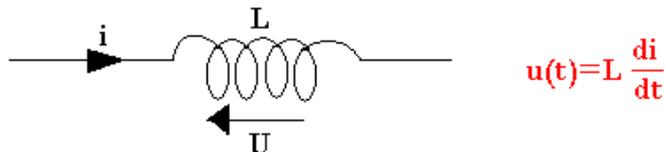
Une bobine est un composant courant en électrotechnique et électronique. Dans le poste à souder sidex 340 on trouve 6 bobines, trois bobines primaire et trois bobines secondaires, le rôle

du les trois bobines primaire est de transformé l'ampérage de courant à les trois bobine secondaire par une chaud électrique avec l'aide la tôle magnétique.

Une bobine est constituée d'un bobinage ou enroulement d'un fil condensateur peut-être autour

D'un noyau en matériau ferromagnétique. Elle son caractérisées par la valeur de leur inductance propre.

Elles sont symbolisées suite :



Le passage du courant dans une bobine crée un champ magnétique qui permet à a bobine d'emmagasiner l'énergie électrique  $W_2 = \frac{1}{2} L \cdot I^2$ . On distingue deux types de bobine:

- Les bobines à air formées d'un enroulement sur mandrin sans noyau. Ce type de bobine est trop utilisé en haute fréquence.
- Les bobines à noyau ont une plus grande inductance que les bobines à air. Ils peuvent être en plus accolés. Ils sont adaptés en basse fréquence.

### 1.9.3 Le condensateur :



Figure. 1.4: le condensateur

#### 1.9.3.1 Définition :

Un condensateur est un composant électronique ou électrique élémentaire, constitué de deux armateurs conductrices (appelées électrode) en influence totale et scindées par un isolant polarisable (ou diélectrique).

Sa propriété principale est de pouvoir stocker des charges électriques opposées sur ses armateurs.

La valeur absolue de ces charges est proportionnelle à la valeur absolue de la tension qui lui est appliquée. Le condensateur est caractérisé par la coefficient de proportionnalité entre charge et tension nommé capacité électrique et exprimée en fards (F).

La relation caractéristique d'un condensateur parfait est :  $I = C \frac{dU}{dt}$

Ou :

- I est le courant qui traverse le composant,
- U est la tension aux limites du composant,
- C est la capacité électrique du condensateur,
- $\frac{dU}{dt}$  est la dérivée (la variation) de la tension comparé au temps.

Le condensateur est utilisé essentiellement pour :

- Stabiliser une alimentation électrique (il se décharge lors des chutes de tension et se charge lors des pics de tension),
- Traiter des signaux périodiques (filtrage...),
- Séparer le courant alternatif du courant continu, ce dernier étant bloqué par condensateur,
- Stocker de l'énergie, auquel cas on parle de super condensateur.

Loi comportement de condensateur :



Symbole d'un condensateur

On définit la capacité par la relation :

$$Q=C \times U$$

Ou :

- Q est la charge stockée sur sa limite positive et s'exprime en coulombes,
- U est la tension aux limites du composant,
- C est la capacité électrique du condensateur.

## 1.9.4 La diode :

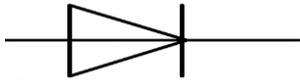


Figure. 1.5: la diode.

### 1.9.4.1 Définition :

La diode est un composant électronique qui ne laisse passer le courant que dans un sens. C'est le sens passant, ou direct. Le sens où aucun courant ne passe est le sens bloqué, ou inverse. C'est donc un composant polarisé.

Son symbole est le suivant :



Reconnaître le sens bloquant et le sens passant sur un schéma :

Pour savoir si une diode est dans le sens passant ou bloquant il suffit de comparer le sens dans lequel pointe le triangle qui fait partie de son symbole à celui du courant que peut produire le générateur:

- Si les deux sont dans le même sens la diode est dans le sens passant.
- Si les deux sont dans des sens différents la diode est dans le sens bloquant

Exemples

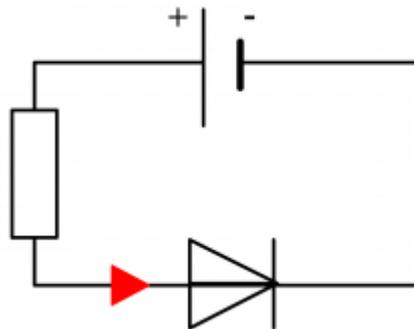


Figure. 1.6 : Diode branchée dans le sens passant

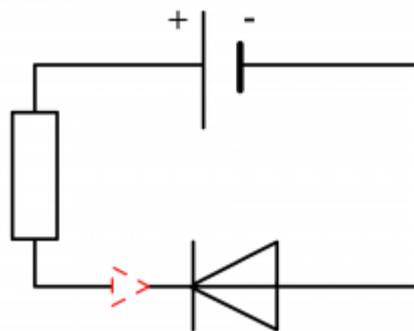


Figure. 1.7 : Diode branchée dans le sens bloquant

#### 1.9.4.2 Protection des diodes :

Les diodes sont des dipôles fragiles qui ne doivent pas recevoir un courant trop fort. Elles ne doivent donc pas être utilisées seules. Pour les protéger on les associe souvent à une résistance branchée en série.

#### 1.9.5 Un ventilateur :

Un ventilateur pour le refroidissement l'intérieur du poste à souder (le transformateur).

## 1.10 Les différentes sources d'énergie utilisée en soudage :

Les sources d'énergie se répartissent en deux grands segments : les matières premières et les phénomènes naturels. De manière générale, les premières fournissent les énergies dites fossiles alors que les secondes fournissent les énergies dites renouvelables.

Une source d'énergie primaire est issue de la nature avant d'être transformé. En cas de non-utilisation de la source primaire dans son état initial, elle est exploitée afin de la transformer en une source d'énergie secondaire utilisable et transportable. Voici la liste des sources d'énergie primaires :

- Uranium
- Charbon
- Hydrocarbures
- Cours d'eau et chutes d'eau
- Force de la mer
- Rayonnement du soleil
- Force du vent
- Pétrole
- Gaz naturel
- Géothermie
- Déchets et biomasse

L'énergie secondaire est celle obtenue grâce à la transformation d'énergie. Contrairement à la source d'énergie primaire, l'énergie secondaire est plus simplement stockable, transportable et utilisable. Les énergies secondaires sont également connues sous le nom de "vecteurs énergétiques".

- Centrale nucléaire
- Centrale thermique à flamme (fossile)
- Centrale hydraulique
- Centrale éolienne
- Energie solaire photovoltaïque
- Centrale géothermique
- Cogénération
- Energie solaire thermique à concentration

Suivant les caractéristiques des matériaux à assembler, différentes sources d'énergies sont utilisées pour réaliser la fusion des éléments à assembler ou du métal d'apport. C'est au cours du 20e siècle que ces sources d'énergie ont été mises au point et les progrès ont permis de disposer d'une densité d'énergie de plus en plus élevée pour assembler des métaux de natures variées avec des contraintes de plus en plus importantes. L'objet de ce paragraphe est de faire une description des principales sources d'énergie utilisées en soudage afin de mieux comprendre les caractéristiques du procédé de soudage.

### 1.10.1 La combustion d'un gaz combustible :

La première source d'énergie utilisée à été obtenue grâce a la combustion d'un gaz combustible (le gaz acétylène tout d'abord puis les gaz cyclène, tétrène et propane avec un

gaz comburant (oxygène ou air). Le niveau d'énergie atteint ne permet pas un passage à l'état de fusion des éléments à assembler mais seulement un changement d'état du métal d'apport (température supérieure à 450 °C). Ce métal d'apport, se fixant aux deux éléments à assembler, constitue le lien mécanique.

### **1.10.2 L'arc électrique :**

Beaucoup de procédés de soudage utilisent l'arc électrique comme source d'énergie de fusion car la chaleur de l'arc peut être facilement concentrée et maîtrisée.

Le principe de la soudure à l'arc tient dans le principe de l'élévation de température au point de fusion par l'utilisation d'un arc électrique.

C'est l'échauffement créé par la résistivité des métaux parcourus par l'électricité qui élève la température au point de soudure jusqu'à celle requise pour la fusion du métal.

Le poste à souder délivre un courant électrique (alternatif ou continu) :

- La pièce à souder est reliée à un pôle et sur le second pôle c'est une électrode qui transporte le courant électrique.
- L'opérateur manœuvre le porte-électrode pour amener l'électrode à frôler la surface de la pièce à souder.
- L'arc électrique qui se crée provoque l'échauffement du métal de la pièce à souder et la fonte éventuelle de l'électrode.

Bien évidemment, si l'électrode entrait en contact avec la pièce à souder, le dispositif serait en court-circuit d'où les caractéristiques et protections internes du poste à souder.

### **1.10.3 L'effet joule :**

L'effet joule c'est l'effet de chaleur produit par le passage d'un courant électrique dans un conducteur et c'est devenu la base du chauffage électrique.

La soudure par effet Joule est une technique qui se substitue au brasage traditionnel au fer à souder. Son avantage est de fournir de la chaleur localisée instantanée. Le principe est de faire passer un courant puissant en très basse tension à travers une résistance de contact sur le point d'application. Le courant est en moyenne de 30 à 40 Ampères et entre 1 à 4,5 Volts. Les électrodes appliquées sur la pièce créent le point de résistance.

#### **1.10.3.1 Utilisation :**

L'opération de soudage consiste à pincer les pièces à assembler et à apporter un alliage d'étain. Dès que la pédale est enclenchée, la température monte instantanément jusqu'à la température désirée (maxi 1100°C).

- Meilleure répartition de la chaleur (=meilleure répartition de la soudure)
- Pas de surchauffe du composant (=soudure instantanée 1100°C)
- Rapidité d'exécution
- Maintien mécanique de la pièce
- Pas de maintien en veille d'un outil chauffant

#### **1.10.3.2 Applications :**

- Soudure de connecteur sur semi-rigide
- Soudure de contact central de connecteur coaxial
- Soudure de plusieurs brins en même temps
- Soudure de connexions sensibles.....etc.

**1.11 Conclusion :**

Dans ce chapitre nous avons vu un histoire de soudage et les définition de soudage et poste a souder ainsi que les différents types de soudage et ses avantages et inconvénients, ainsi que les caractéristiques et les composants d'un poste a souder et a la fin les différentes sources d'énergie.

On conclut que Le refroidissement des postes a souder prend une place importante pour mener une longue durée de vie de l'appareil et travailler sans interruption ce qui nous permet d'exploiter le temps d'une manière favorable. Le poste à souder est en général alimenté en énergie électrique par le courant provenant de réseaux électriques. Ce courant est transformé en courant plus fort par un transformateur abaisseur.

## 2 Chapitre 2 : Le procédé de soudage

### 2.1 Introduction :

Parmi les procédés d'assemblages, le soudage occupe une place importante dans toutes les branches d'industrie et du bâtiment, car il permet d'adapter au mieux les formes de construction aux contraintes qu'elles sont appelées à supporter en service.

Le soudage est une opération qui consiste à réunir deux ou plusieurs parties constitutives d'un assemblage, de manière à assurer la continuité entre les parties à assembler,

Soit par chauffage, soit par intervention de pression, soit par l'un et l'autre, avec ou sans métal

D'apport dont la température de fusion est de même ordre de grandeur que celle du matériau de base.

### 2.2 Historique :

Soudage arc électrique avec électrode enrobe:

1811 : l'arc électrique fut mis en évidence par SIR Humphry Davy (UK) chimiste anglais qui découvrit la lampe de sûreté pour mineur.

1855 : Nicolas de Bernados et Olzerski(RU) mirent au point un procédé dans lequel l'arc électrique éclate entre une électrode de charbon et la pièce soudée. La qualité de soudure était médiocres. 1889 : Zener (US) fit éclater un arc électrique entre deux électrodes de charbon et en apportant du métal d'apport. Ce procédé fut amélioré plus tard par WEIBEL.

1904, Oscar Kjellberg (SU), qui a créé ESAB, invente et brevète l'électrode enrobe.

1924 : Bernohod (FR) présente le procédé qui permet de faire fondre une électrode fusible par une porte électrode.

Le soudage l'électrode enrobe est actuellement le plus répandu car il existe une multitude d'électrodes (enrobage) qui permettent tous types d'assemblages dans différentes positions.

#### Soudage chalumeau OA

1901 : Picard et Foucher (FR) inventent le chalumeau oxyacétylénique (mélange de gaz oxygène et acétylène), qui permet de souder, braser.

De nos jours le soudage oxyacétylénique n'est employé que par les chauffagistes ou dans des cas spéciaux de fabrications Il est remplacé par le soudage MIG MAG qui permet de souder rapidement

#### Soudage par points

1877 ELIHU TOMSON (US) inventent le procédé de soudage par résistance

1919 David SCIAKY (US) met un brevet de mise au point du soudage par résistance Procède beaucoup utilisé dans l'industrie automobile pour le soudage des tôles fines.

#### Procède MIG MAG

1924 : Alexandre (US) met au point un procédé dans lequel un arc électrique éclate dans une atmosphère protectrice entre un fil et la pièce à souder. Cette invention établit les règles du procédé MIG qui développera après la guerre de 1940.

1949 : Al Muller, Glen Gibson et Nelson Anderson (US) mettent un brevet nommé Arco Procède TIG

1924 LANGMUR (US) obtiennent un brevet dans lequel un arc électrique éclate entre deux électrodes de tungstène sous une atmosphère d'hydrogène. Ce procédé fut appelé hydrogène atomique puis devint le TIG.

1941 Russell Meredith (US) invente le procédé TIG.

### **2.3 Le procédé de soudage :**

#### **2.3.1 Soudage par point par résistance :**

##### **2.3.1.1 Principe :**

Les pièces à souder sont superposées et sont serrées localement entre deux électrodes en alliage de cuivre.

L'ensemble pièces / électrodes est traversé par un courant de soudage qui provoque une élévation de température par effet Joule et la fusion localisée des deux pièces dans la zone de positionnement des deux électrodes.

Le cycle est réalisé en 4 temps :

- Accostage de la pièce
- Soudage (intensité ampères)
- Maintien (temps en seconde)
- Temps mort entre deux points

La distance minimale entre le point de soudure et le bord de la pièce env. 2 fois l'épaisseur + 4 mm, Les points doivent être séparés par 3 fois le diamètre du point de soudure.

Pour contrôler un bon soudage réaliser un déboutonnage de la pièce.

Pour un bon soudage les tôles doivent être propres sans peinture, rouille, calamine, puis décapées ou mélangées.

##### **2.3.1.2 Utilisation :**

- Rapidité d'exécution
- Limitation des déformations
- Absence de préparation des bords soudés
- Possibilité d'automatisation
- Assemblage uniquement par recouvrement
- épaisseur soude limite la puissance de la machine
- Matériaux concernés
  - Permet le soudage de différents métaux comme l'acier, l'inox, l'aluminium...
- Poste –électrode ;
  - Toutes les machines sont faites sur le même principe, on a deux électrodes (une fixe, l'autre mobile) en alliage de cuivre, refroidies par un circuit d'eau. Les machines peuvent être : portatives, Fixes

Le diamètre de contact de l'électrode doit être d'environ 2 fois l'épaisseur de la pièce souder + 3 mm et sont chanfreines (angle de 120°)

### 2.3.2 Soudage l'arc électrique avec électrode enrobe :

#### 2.3.2.1 Principe :

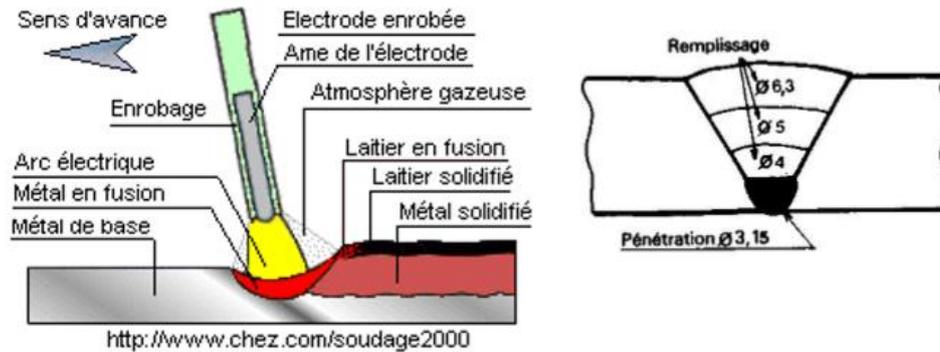


Figure. 2.1 : Soudage l'arc électrique avec électrode enrobe

Le procédé de soudage à l'arc électrique avec électrodes enrobes SAEE (MMA) est un soudage autogène qui consiste mettre en fusion les pièces souder par une très haute température fournie par l'arc électrique (au moins 3000) et d'apporter un métal d'apport de même nature que la pièce souder (c'est le rôle de l'âme de l'électrode)

#### 2.3.2.2 Utilisation :

- économique (car beaucoup utiliser)
- Souder dans différents lieux (atelier ou chantier) et différentes positions
- Grande résistance des soudures

#### 2.3.2.3 Matériaux concerné :

- Permet le soudage de différents métaux comme l'acier, l'inox, la fonte, l'aluminium...

#### 2.3.2.4 Produit d'apport – matériel :

Les électrodes ont différents types d'enrobages, leurs utilisation et le diamètre (1.6 8mm) est choisis suivant le travail réaliser, en voici quelques une:

- Rutile (R) ou enrobage rutile pais (RR) : pour les travaux courant.
- Basique (B) pour les travaux relevant des caractéristiques mécaniques (elles sont étuves).
- Cellulosique (C) pour les soudures forte pénétration en position descendante (travail pipeline).

	Rutile	Basique
Laitier	Se détache facilement.	Facile à enlever, peu abondant, aspect vitreux.
Qualité	Très bonne.	Excellente. Très résistant à la fissuration.
Utilisation	Tous travaux courants.	Travaux de qualité et/ou en position.
Polarité	Négative -	Positive + sauf pour la pénétration -

Tableau. 2.1: Les plus utilisées seront l'électrode rutile et basique.

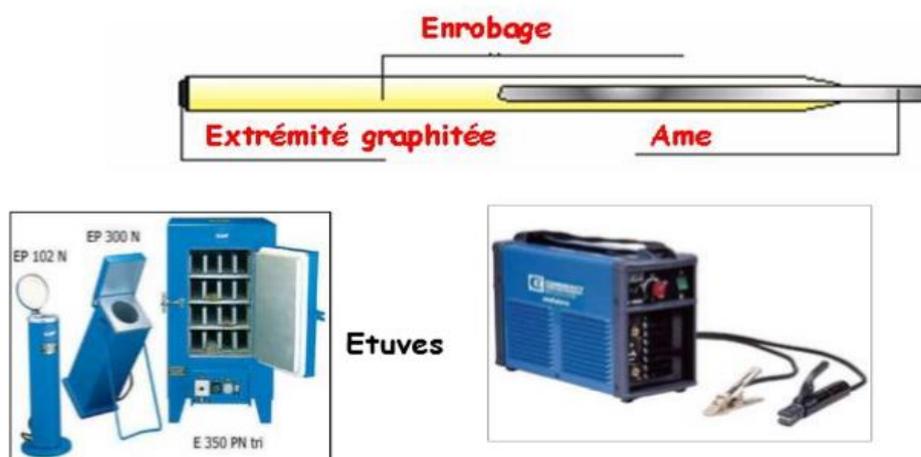


Figure. 2.2 : l'électrode enrobée.

### 2.3.3 Soudage l'arc sous flux solide avec fil électrode :

#### 2.3.3.1 Principe :

Le soudage l'arc sous flux solide électro-conducteur est réalisé partir d'un arc électrique crée et entretenu entre le fil électrode d'apport de métal dévidé une vitesse constante et la pièce souder. Un dépôt continue de flux en poudre (parfaitement étuvé et de granulométrie homogène) recouvre l'extrémité du fil électrode et la pièce souder. L'arc de soudage et le bain de fusion sont non visibles pendant le soudage. L'énergie calorifique de l'arc fait fondre localement la pièce à assemblé. Après refroidissement le flux en poudre se solidifie et recouvre le cordon de soudure se transformant en laitier solidifie protecteur. Le flux en poudre non fondu est récupéré l'aide d'un aspirateur et recyclé après tamisage.

Le procédé de soudage est essentiellement utilisé en installation automatique. La tête de soudage est relie au générateur de soudage sa borne positive, sont courant est continu (intensité inférieures 1000 ampères). Le courant peut être alternatif dans certains cas (intensité supérieures 1000 ampères).

### 2.3.3.2 Utilisations :

- En chaudronnerie, charpente métallique...
- Grande vitesse de soudage (40 centimètres 2 mètres / minute)
- Pénétration très importante, très bel aspect du cordon
- Taux de dépôt de 3 10 kilogrammes par heure
- Pas de préparation de chanfrein dans certains cas
- Limitation des déformations
- Arc non visible
- Confort de l'opérateur (pas d'émission de rayons U.V.)
- Aucune émission de fumées
- Large gamme d'épaisseur et d'application
- Bonnes qualités de joint et bonnes caractéristiques mécaniques

### 2.3.3.3 Matériaux concernés :

Permet le soudage de différents aciers : acier allié acier inoxydable, acier réfractaire.

### 2.3.3.4 Produit d'apport – matériel :

Les flux sont composés d'oxydes de manganèse, de silicates complexes de chaux, d'alumine. Ils sont utilisés sous forme de granulés calibrés obtenus par concassage ou frittage. La granulométrie est plus ou moins fine et varie en fonction de la forme du joint et de l'intensité de soudage. Le métal d'apport est en bobine, le diamètre varie suivant les utilisations (de 1,2 8 mm).

## 2.3.4 Soudage MIG/MAG :

### 2.3.4.1 Principe :

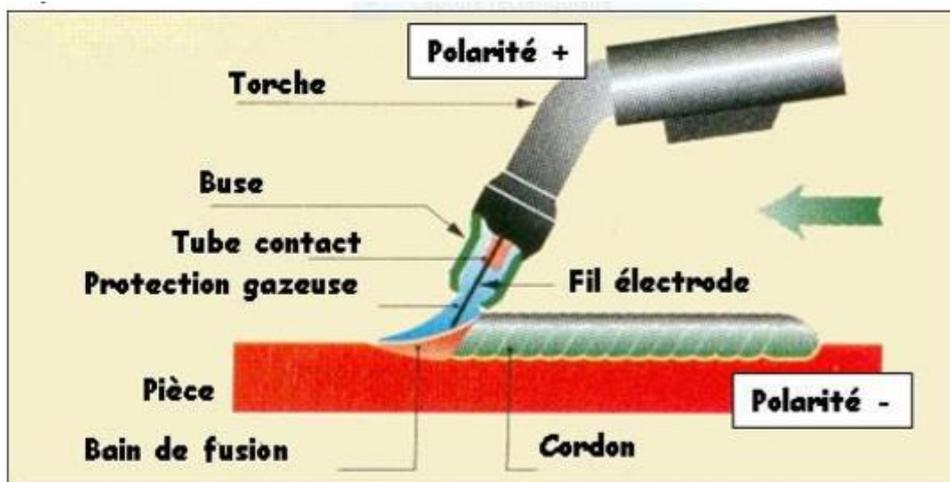


Figure. 2.3 : soudage MIG/MAG.

Un arc électrique jaillit entre la pièce à souder et l'électrode en fil fusible ; il provoque la fusion du métal pendant qu'un jet de gaz protégé l'électrode et le bain de fusion.

### 2.3.4.2 Utilisation :

- Forte productivité par rapport l'ARC E.E. et le TIG
- Grande vitesse de soudage
- Taux de dépôt de métal important
- Pas de laitier dégrasser
- Large gamme d'épaisseur
- Soudage dans toutes les positions
- Procède automatisable et utilisable en robotique

### 2.3.4.3 Matériaux concernés:

- MIG Métal Inerte Gas : les aciers inoxydable, aluminium, cuivre...
- MAG Métal Active Gas : aciers ordinaire

### 2.3.4.4 Produit d'apport – gaz - matériel:

Le métal d'apport est en bobine, le diamètre varie suivant les utilisations (de 0.6 à 2.4 mm). Il peut être four laissant un laitier sur la soudure (absence de gaz);

Suivant le procédé le gaz est différent, le débit varie de 10 à 30 litres/minute :

- Argon pur, Argon + Hélium, ...
- Argon + CO<sub>2</sub>, Argon + O<sub>2</sub>,...

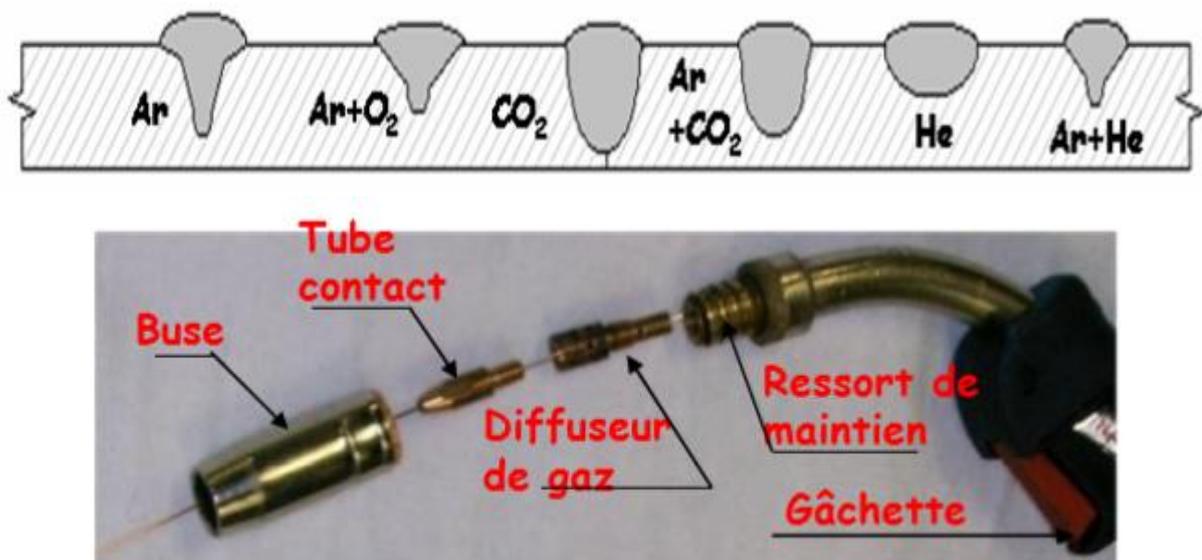


Figure. 2.4:détail d'une torche.

## 2.3.5 Le soudage TIG :

### 2.3.5.1 Principe :

TIG (Tungstène Inerte Gas) est un procédé l'arc sous protection de gaz inerte avec une électrode infusible (tungstène). Le soudage est réalisé partir d'un arc électrique crée et entretenu entre l'électrode infusible de tungstène et la pièce souder. Le métal d'apport, baguette de fil est amen manuellement dans le bain de fusion, il peut être automatisé.

L'énergie calorifique de l'arc fait fondre localement la pièce assemblée et le fil d'apport pour constituer le bain de fusion et après refroidissement le cordon de soudure. Une variante existe appelé TIG FORCE, sa pénétration peut souder des pièces en une fois. La torche une 2eme arrive de gaz dans la buse. Le bain de fusion est protégé de l'atmosphère externe par un cône invisible de gaz. Une protection supplémentaire (protection envers) est nécessaire pour les aciers inoxydable, titane, ... Elle vite le rochage, c'est un noircissement et croute de la soudure (ex traînard, chambrage,...)

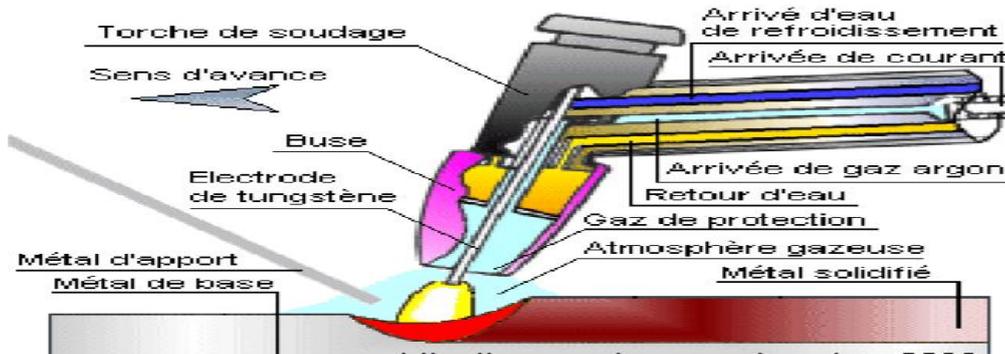


Figure. 2.5 : soudage TIG

### 2.3.5.2 Utilisation :

TIG :

- Simple d'emploi
- Travail fin et précis
- Large gamme d'épaisseur
- Très bonnes qualités de joint et bonnes caractéristiques mécaniques
- Soudage dans toutes les positions
- Procède automatisable

TIG FORCE (les plus du TIG) :

- Amélioration de la productivité et de la pénétration
- Soudage 1 passe bord sans préparation jusqu' 6 mm
- Diminution de la consommation de métal d'apport et déformations

### 2.3.5.3 -Matériaux concerne :

Suivant le type de courants électrique :

- Courant continu : symbole DC : Aciers ordinaire, aciers inoxydable, cuivre, titane...
- Courant alternatif symbole ~ AC : aluminium

### 2.3.5.4 Produit d'apport – gaz – matériel :

- Un générateur électrique fournit le courant continu ou alternatif (intensité de 5 à 300 A) réglages suivant du fil, la position de soudage, le type d'assemblage, matière. La polarité de l'électrode est toujours négative en courant continu (polarité directe).
- Les électrodes de tungstènes sont codifiées suivant leur composition: ex Tungstène pur pour acier(extrémité verte) Tungstène thoria aluminium (extrémité rouge). Le diamètre varie de 0,8 mm à 4,0 mm) suivant l'intensité de travail
- Le diamètre du métal d'apport suivant la nature du métal de base varie de 0,8 mm à 8 mm
- Le débit du gaz de protection est de 5 à 25 litres/minute. Soit pur ou en mélange : Argon, Argon + Hélium, Argon + H<sub>2</sub>, ... suivant le type de matériaux soudés.

### 2.3.6 Le soudage Oxyacétylénique :

#### 2.3.6.1 Principe :

Le procédé de soudage oxyacétylénique OA est un soudage à la flamme autogène. Il est réalisé à partir de la chaleur d'une flamme due à la combustion d'un gaz combustible (acétylène) et d'un gaz comburant (l'oxygène). La température de la flamme peut atteindre les 3200 Celsius. Le métal d'apport est amené manuellement dans le bain de fusion. Le débit d'un chalumeau soudeur s'exprime en litres d'acétylène par heure

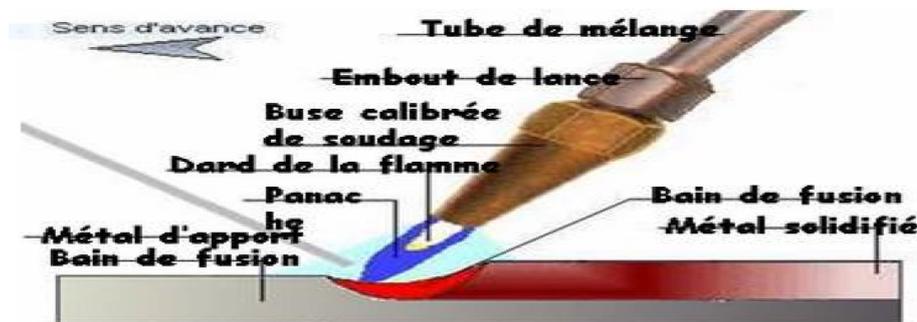


Figure. 2.6 : soudage Oxyacétylénique.

Réglage du débit de la buse : 100l/h par millimètre d'épaisseur (plat) 125l/h par millimètre d'épaisseur (angle intérieur) 75l/h par millimètre d'épaisseur (angle extérieur) Choix du métal d'apport: épaisseur de la tôle  $e + 1$  mm

#### 2.3.6.2 Utilisations :

- Tôle fine
- Tube de petit diamètre (chauffagiste)
- Facile de déplacer le poste sur un chantier
- Déformation importante

- Très onéreux et lent

- Il est maintenant remplacé par les procédés de soudage à l'arc électrique

**2.3.6.3 Métaux concernés :**

- Permet le soudage de différents métaux comme l'acier, la fonte, l'aluminium, le cuivre...

**2.3.6.4 Produit d'apport – gaz – matériel :**

Gaz: L'acétylène: ogive marron, tuyau rouge, pression de la bouteille 15 bar, pression d'utilisation 0.2 à 0.8 bar. Il est obtenu par réaction de l'eau sur du carbure de calcium.  
 L'oxygène: ogive blanche, tuyau bleu, pression de la bouteille 200 bar, pression d'utilisation 1 à 2.5 bar Il est obtenu par liquéfaction de l'air.

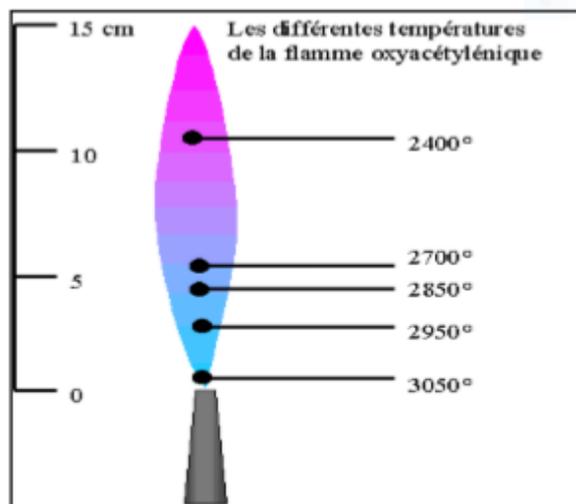


Figure. 2.7 : les différentes températures de la flamme oxyacétylénique.

Les buses sont composées d'un orifice calibre de sortie du mélange gazeux. Ce débit peut varier de 5 à 5000 litres par heure.

Le métal d'apport suivant la nature du métal de base (baguette de fil de 0,8 mm à 4,0 mm).

**2.4 Les caractéristiques des procédés de poste à souder :**

La classification des procédés de soudage se fait en considérant certaines caractéristiques telles que :

**2.4.1 Le type d'énergie mise en œuvre :**

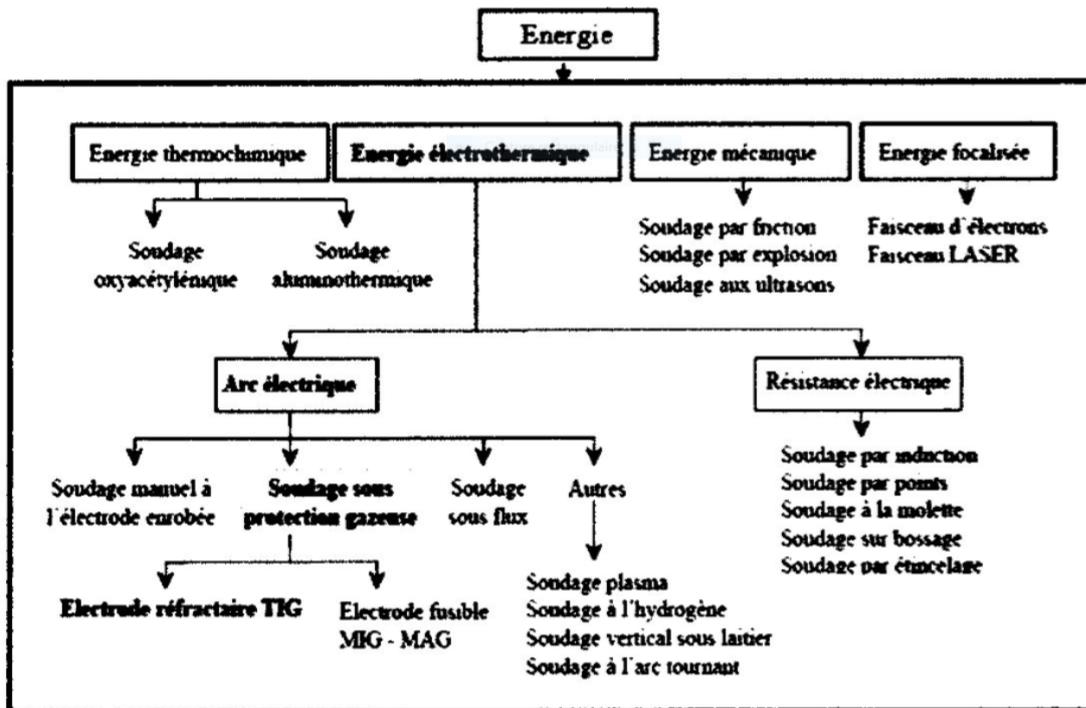


Figure. 2.8: les procédés d soudage en fonction de l'énergie mise en œuvre.

2.4.2 Les paramètres physiques : température, pression, milieu extérieur.

2.4.3 Le mode d'élaboration de la continuité de la matière : solidification depuis le liquide ou diffusion depuis le solide.

2.4.4 La morphologie de la liaison qu'ils permettent de réaliser :

➤ Procédés de soudage de pièces métalliques :

- Soudage à la flamme.
- Soudage aluminothermique.
- Soudage électrique par résistance.
- Soudage à l'arc électrique avec électrodes enrobées.
- Soudage à l'arc avec électrodes non fusibles.
- Soudage à l'arc avec fil électrodes fusibles ou soudage semi-automatique.
- Soudage orbital.
- Soudage laser.
- Soudage plasma.
- Soudage par faisceau d'électrons :

Le soudage par faisceau d'électrons est une technique d'assemblage métallique spéciale utilisée pour obtenir des joints ultra résistants avec une déformation minimale

- Soudage par friction :

Le soudage par friction est un procédé de soudage mécanique où la chaleur nécessaire pour le soudage est fournie en frottant l'une contre l'autre les pièces à assembler sous une pression axiale

- Soudage par friction malaxage ou soudage thixotropique :

Le principe consiste à fournir de la chaleur au métal de base par friction du métal par un outil qui tourne dans le plan de joint des pièces à assembler. Une couche de métal sous forme plastique est formée sous l'embase par le pion. Ce procédé réalise l'assemblage à une température inférieure à la température de fusion du métal.

- Soudage à l'arc sous flux :  
Le soudage à l'arc sous flux (ou SAW) est une méthode de soudage automatisée extrêmement efficace, convenant à tout, de l'acier doux aux aciers les plus résistants. La méthode SAW est la plus productive, et offre un taux de dépôt variant en général entre 8 kg/h (17 lbs/h) et 100 kg/h (220 lbs/h) dans les applications spécifiques à plusieurs fils. Elle est utilisée pour des épaisseurs allant de 4 mm (5/32") à plus de 350 mm (14").
- Soudage hybride :  
  
Le procédé de soudage hybride arc-laser (HLW = Hybrid Laser Welding) est un procédé de soudage par fusion qui combine le procédé laser avec le procédé MIG – MAG dans le même bain de fusion.
- Soudage électro gaz :  
Procédé de soudage vertical, à l'arc sous gaz de protection, utilisant un fil électrode fusible pour alimenter un bain de fusion retenu dans le joint par des patins refroidis qui se déplacent de bas en haut au fur et à mesure de l'exécution de la soudure
- Soudage par diffusion :  
Le soudage par diffusion par Compaction Isostatique à Chaud (CIC) de tôles millimétriques rainurées est une technique prometteuse pour la fabrication d'échangeur de chaleur compact. Le soudage par diffusion est un assemblage à l'état solide qui a l'avantage, par rapport aux autres techniques de soudage (brasage, FSW) de permettre la réalisation de pièces de grandes dimensions et de ne pas présenter de fusion locale.
- Soudage par explosion :  
Consiste en une collision, de haute énergie de deux surfaces inclinées l'une par rapport à l'autre ce qui induit un écoulement hydrodynamique des deux surfaces, le métal résultant de cet écoulement se joint avec celui de plaque accélérée.
- Soudage par impulsion magnétique :  
  
Le soudage par impulsion magnétique est une nouvelle technique très innovante mais assez méconnues. Les centres de recherche de l'IBS et

CEWAC ont étudié cette technique de soudage très innovante et ont démontré les avantages potentiels pour l'industrie.

Le soudage par impulsion magnétique est basé sur le principe de l'utilisation de forces électromagnétiques pour déformer ou souder des pièces.

**2.5 Conclusion :**

Dans ce chapitre nous avons vu un historique et le procédé de soudage ainsi que les caractéristique des procédés de poste a soudé.

Procédé	Gaz	Arc électrique		
	OA	Electrode enrobée MMA	MIG/MAG	TIG
N° de procédé	331	111	MIG 131 MAG 135	141
Protection du métal fondu	Le réglage de la flamme neutre isole, protégé le métal et le métal d'apport fondu	L'enrobage fondu crée une protection gazeuse du métal en fusion	Le gaz de protection actif MAG (argon+ Co2) ou inerte 131 (argon pur) protégé le bain de fusion et la zone de métal fondu	Le gaz inerte (argon) prot.ge le bain de fusion et la zone de métal fondu
Apport de métal	Baguette de métal d'apport	Une électrode	Une électrode fusible (fil)	Baguette de métal d'apport
Métal à Souder	Acier, fonte, aluminium, cuivre	Acier, inox, fonte, aluminium	Acier, inox, fonte, aluminium, cuivre	Acier, inox, fonte, aluminium, cuivre, titane
Rentabilité du procédé	Lent et très couteux	Soudure de très bonne qualité	Procédé rapide	Très haute qualité

**Tableau. 2.2: comparatif de procédés.**

### **3 Chapitre 3 : Le contrôle et défauts de soudage**

#### **3.1 Contrôle de soudage.**

##### **3.1.1 Introduction :**

Les contrôles en soudage constituent une opération de la haute importance seuls sont habilités à les conduire :

- les soudeurs eux-mêmes, lorsqu'ils sont qualifiés selon la norme européenne iso EN9606, et qu'il s'agit d'opérations directement liées à la procédure de soudage.
- les opérateurs qualifiés par le COFREND (comité français des essais non destructifs), selon leur niveau.

Toutes les informations figurent sur le DMOS (descriptif du mode opératoire de soudage).

##### **3.1.2 Contrôle avant le soudage :**

1. Le numéro du lot des électrodes ou du métal d'apport à employer. (un lot d'électrodes s'identifie par un N° DE coulée de l'acier constituant l'amen métallique ainsi que par le type d'enrobage).
2. La température et la durée de l'étuvage des électrodes
3. La géométrie du chanfrein
4. Le réglage de la tension et de l'intensité de soudage du poste générateur.
5. La température et l'étendue du préchauffage.

##### **3.1.3 Contrôle pendant le soudage:**

1. Les conditions de stockage des électrodes pour éviter la reprise d'humidité de l'enrobage.
2. La température entre les passes de soudage.
3. La qualité de l'élimination du laitier.
4. Les contrôles visuels ou par ressuage entre passes.

##### **3.1.4 Contrôle après le soudage :**

-Les essais destructifs de caractérisation des éprouvettes:

- texture (pliage)
- traction.
- résilience.
- dureté.
- Macro et micrographie.

-Les essais non destructifs :

- ressuage.

- magnétoscopie.
- ultrasons.
- radiographie.

-Le cycle thermique du TTAS (traitement thermique après soudage), temps de montée en température, température atteinte, durée du maintien à cette température, durée du refroidissement.

### **3.1.5 Définition des trois temps de contrôle :**

#### **3.1.5.1 Avant le soudage :**

L'opérateur doit s'assurer que la préparation est bien celle préconisée pour effectuer la soudure.

- préparation des bords.
- jeu entre les parties a assemblé.
- type de soudage « procédé».
- position de soudage.
- propreté générale du joint à souder.

Toutes ces informations permettent de vérifier le respect du cahier des charges, du DMOS.

#### **3.1.5.2 Pendant le soudage :**

Le métier de soudeur demande de très bonnes qualités visuelles et une maîtrise parfait du geste.

Ce contrôle est effectué par le souder lui-même qui peut modifier la position de la source d'énergie afin d'obtenir un dépôt de métal régulier, stable et proportionné, sans défaut apparent.

Exemple : le caniveau est un défaut visible en cours de soudage.

Le soudeur influence le résultat en modifiant la vitesse d'avance ou en diminuant l'intensité de soudage, voire en modifiant l'orientation de la source d'énergie.

#### **3.1.5.3 Après le soudage :**

Il se compose de trois types de contrôles :

- le non destructif
- le destructif
- le semi-destructif

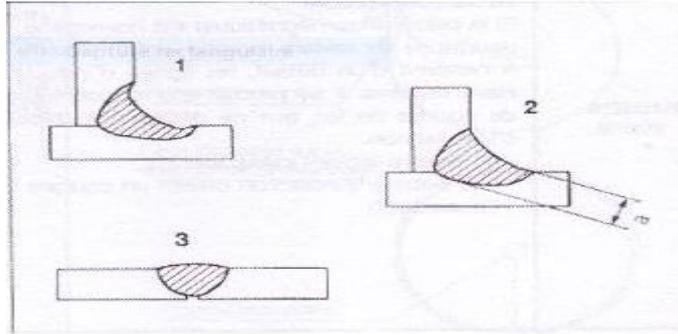
### **3.1.6 Les essais de soudage :**

**3.1.6.1 Essais non destructif des soudures:**

**-visuels :**

Ce contrôle s'opère essentiellement par le soudeur lui-même.

Il lui permet d'affiner ses réglages et de régler sa vitesse d'avance.



**Figure. 3. 1 : 1-la présence de caniveaux. 2 une surépaisseur ou une sous-épaisseur (gorge a), 3 un manque de pénétration.**

**- radiographie :**

-Principe

La radiographie est une méthode de contrôle qui utilise la propriété des rayons X ou gamme de faible longueur d'onde, aptes à traverser la matière.

L'intensité du rayon est modifiée durant sa traversée selon qu'il rencontre le matériau sain ou les défauts inclus. Ce phénomène est appelé « absorption différentielle».

Le récepteur radiographique placé derrière l'objet enregistre les variations du faisceau émergent, ce qui se traduit par une image comportant des différences de densité ou contraste, montrant l'imperfection de la matière.

Ce contraste entre l'image d'un domaine contenant un défaut et celle d'un domaine exempt de défaut permet à l'observateur de distinguer l'imperfection.

- Domaine d'application :

Détection de la corrosion interne et externe des tuyauteries calorifugées.

Recherche d'obstruction de tuyauteries et d'accessoires.

Contrôle de position d'accessoires (clapets...).

Contrôles de soudeurs

**-par ressuage coloré :**

Le ressuage consiste à badigeonner la soudure et son environnement d'un liquide et très fluide et très peu volatil « le rouge d'organale »

La grande fluidité de ce produit lui permet de pénétrer les microfissures débouchâtes. (1)

Après un essuyage minutieux, la zone est recouverte de talc en suspension dans un aérosol. (2)

Les résidus de rouge d'organale présents dans les fissures, apparaissent sous la forme d'auréoles rouges. (3)

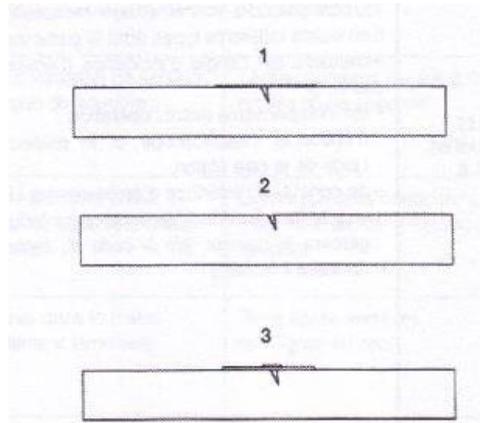


Figure.3.2: ressuage coloré

**- les ultrasons :**

La méthode consiste à émettre un signal ultrasonore, émis par un palpeur, sous un angle d'incidence, dans une pièce perméable aux ultrasons et d'en recueillir l'onde réfléchi.

Si les US ne rencontrent aucun obstacle, ils atteindront la face inférieure de la pièce et se réfléchiront suivant un angle de réflexion égal à l'angle d'incidence.

Si les US rencontrent un défaut sur leur parcours, celui-ci constituera une surface réfléchissante et le palpeur recueillira deux ondes réfléchies.

Tous les palpeurs sont émetteurs-récepteurs.

Il en existe différents types dont la particularité essentielle est l'angle d'incidence d'émission des US.

Il est indispensable avant l'opération :

-d'talonner l'oscilloscope et le palpeur à l'aide de la cale étalon,

-de constituer l'interface d'émission des US en palpeur (de la colle da tapissier convient très bien).

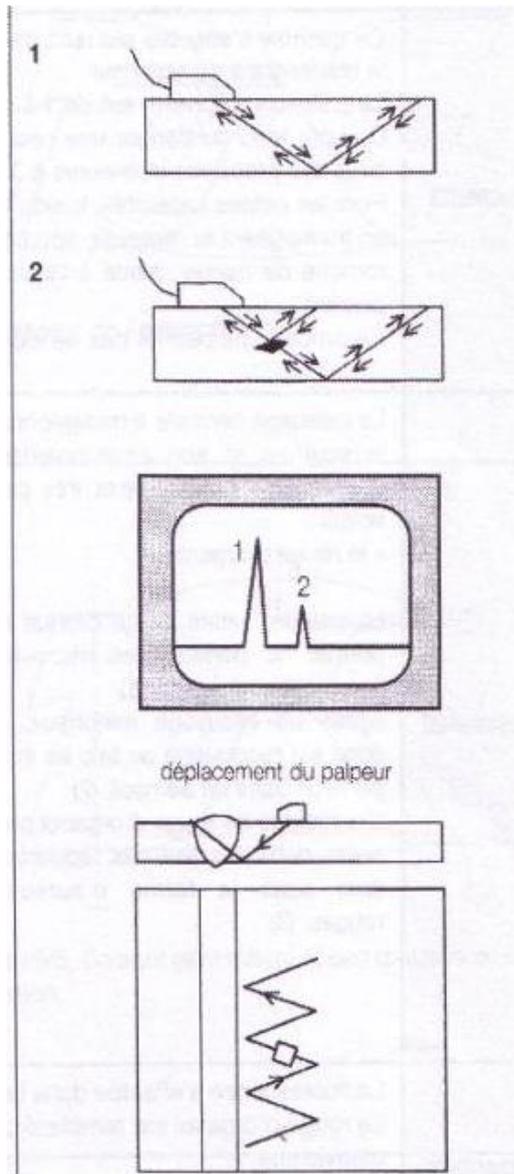


Figure.3.3: ultrasons

-magnétoscopie :

<p>La magnétoscopie consiste à enduire une pièce d'une encre chargée en poudre de fer et à créer un champ magnétique perpendiculaire au défaut probable.</p> <p>Si la pièce (<i>ferromagnétique</i>) est homogène, la poudre de fer restera répartie uniformément. A l'endroit d'un défaut, les lignes d'induction étant déviées, il se produit une concentration de poudre de fer, que ce défaut soit débouchant ou non.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- un electro-aimant classique, (1)</li> <li>- une bobine d'induction créant un courant de Foucault (2)</li> </ul>	<p>The diagram consists of two parts, labeled 1 and 2. Part 1 shows a horizontal rectangular piece of metal labeled 'pièce' positioned between two vertical cylindrical coils labeled 'Bobines'. Two horizontal arrows point from left to right through the piece, representing the magnetic field. Part 2 shows a horizontal rectangular piece of metal with a coil of wire wrapped around it. Two horizontal arrows point from left to right through the piece, representing the magnetic field.</p>
--	--

Le non destructif est le plus employé en raison du fait qu'il ne permet pas en cause l'ouvrage et permet de vérifier, de rectifier l'état du cordon tant sur le plan interne qu'externe. Les trois principaux types d'essais sont : le ressuage, l'ultra-son, les rayons l'ionisants (radiographie)

Le premier permet de déceler les défauts apparents ou débouchant es(exemple : les caniveaux, les fissures les soufflures, etc....).

Les deux autres permettent de visualiser les défauts intérieurs (exemple ; les soufflures gazeuse, l'inclusion, la fissuration interne, le collage entre les passe, le manque de pénétration, etc....).

Ces opérations de contrôle sont effectuées par des personnels qualifiés ayant les compétences nécessaires pour interpréter les défauts relevés et leur donner un niveau d'acceptation selon les normes imposées.

L'ensemble des résultats de ces contrôles est consigné.

Selon la qualité de recherche, certains de ces contrôles sont effectués suivant sondage situé par le cahier des charges.

En général chaque fois qu'il y a des nœuds en soudage c'est –à-dire deux soudures perpendiculaires (longitudinale et circulaire).un contrôle est systématique.

### 3.1.6.2 Essais destructifs des soudures :

#### -Macrographie, micrographie :

La macrographie est un témoin de référence du nombre et de la répartition des passes pour juger de l'application des limites de validité fixées par la qualification du mode opératoire. Aucun fissure ni collage n'est accepté.

La micrographie ne doit pas révéler de structures anormales de terme, de microfissures ou de précipités pouvant nuire au bon comportement de l'acier dans le cas des aciers inoxydables austénitiques.

#### -Traction :

L'essai de traction consiste à imposer un effort progressivement croissant jusqu'à rupture sur une éprouvette afin d'en déterminer son allongement à la rupture, sa limite élastique, sa limite de rupture et son coefficient de striction

Comportement du métal en cours d'essai :

Déformation élastique ; effort  $F_e$

- L'allongement est proportionnel à l'effort  $F_e$
- Si on relâche les charges, l'éprouvette répond ses dimensions initiales.

Déformation permanentes ou plastiques : effort  $F_m$

- L'allongement n'est plus proportionnel à l'effort  $F_m$
- Si on relâche les charges, la déformation subsiste.

Striction jusqu'à la rupture : effort  $F_u$

- L'effort diminue, car il se produit une diminution de section en un point de la longueur calibrée.
- La longueur initiale  $L_0$  devient, après rupture,  $L_u$

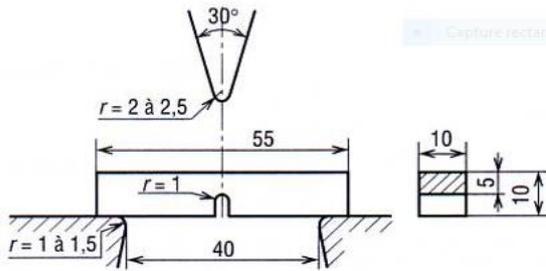
#### -Résilience Charpy :

Cet essai consiste à déterminer la résistance aux chocs ou résilience KCU ou KCV.

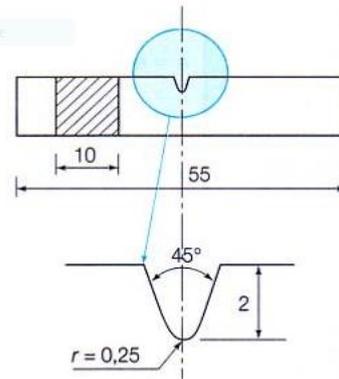
Il s'agit dans cet essai de rompre une éprouvette entaillée et de mesurer l'énergie absorbée  $W$

Caractéristiques de l'éprouvette et de sa position sur la machine d'essai

• KCU



• KCV



- Éprouvette carrée 10 × 10, longueur 55 cm.
- Écartement des appuis 40 mm.
- Profondeur de l'entaille 5 mm.
- Section rompue 0,5 cm<sup>2</sup>.

Les modifications des conditions d'essai donnent des résultats différents qui ne peuvent en aucun cas être comparés.

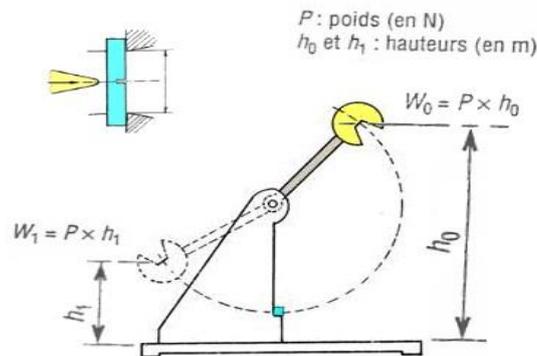


Figure.3.4 : essai de résilience

- Energie initiale :  $W_i = Mg \times h_0$
- Energie résiduelle :  $W_r = Mg \times h_1$
- Energie absorbée :  $W = W_i - W_r$   
 $= (Mg \times h_0) - (Mg \times h_1)$   
 $= Mg (h_1 - h_0)$

M en kg

W en j

G=9.81m/S<sup>2</sup>

- La dureté brinell :

L'essai a pour but de déterminer la dureté superficielle des métaux.

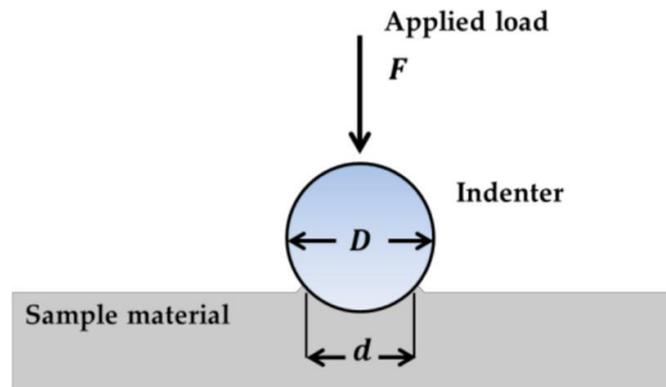


Figure.3.5: la dureté brinell

L'épaisseur de la pièce doit être au moins égale à huit fois la profondeur de l'empreinte.

La dureté HB est donnée par le rapport :

$$HB = F \text{ (daN)} / S \text{ (mm}^2\text{)}$$

Désignation : HB 5/750/20

$\downarrow$       $\downarrow$       $\downarrow$   
 D    h    durée maintien de la charge (en seconde).

Remarque : l'essai est déconseillé pour une dureté de matériaux  $450 < HB$

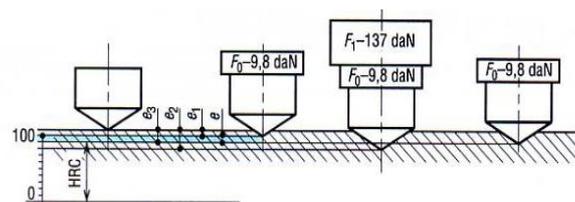
d- essai de dureté Rockwell :

Principe : il consiste à imprimer en deux temps une charge et une surcharge dans la couche superficielle de la pièce à l'aide d'un pénétrateur (cône en diamant ou bille).

On mesure l'accroissement rémanent  $e$  de la profondeur de pénétration.

L'unité de mesure est égale à 0.002mm.

Méthode d'essai :



$$e = e_3 - e_1$$

$$1 \text{ division} = \frac{0,2}{100} = 0,002$$

$$HRC = (100 - e) = 100 - \frac{e_3 - e_1 \text{ (mm)}}{0,002}$$

$F_0$  = charge initiale (référence de la mesure)  
 $F_1$  = surcharge  
 $F$  = charge totale  
 $e$  = accroissement rémanent de la profondeur de pénétration

Figure.3.6: méthode d'essai.

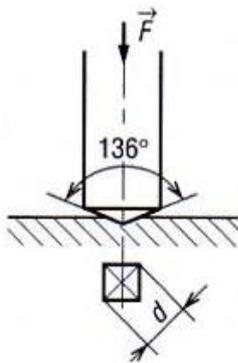
Symboles	Rockwell C HRC	Rockwell B HRB	Rockwell E HRE	Rockwell F HRF
Pénétrateurs	Cône en diamant	Bille en acier trempé HV ≥ 850		
		D = 1,59 1/16 pouce	D = 3,175 1/18 pouce	D = 1,59 1/16 pouce
Charge initiale F <sub>0</sub> daN	9,8	9,8	9,8	9,8
Surcharge r <sub>1</sub> daN	137,3	88,3	88,3	49
Dureté	100 - e	130 - e		

Tableau.3.1: symboles Rockwell.

**-Essai de dureté Vickers :**

Principe : cet essai Vickers consiste à imprimer sur la surface rectifiée ou polie un pénétrateur en forme de pyramide droite à base carrée d'angle au sommet de 136° sous charge F et mesure la diagonale (moyenne de d1 et de d2) de l'empreinte laissée après la suppression de la charge F.

Cet essai, mené à 20°C, est le plus précis et permet de tester des pièces fines (micro-duretés) en particulier les zones d'assemblages soudés (ZAT ou zone effectuée thermiquement).



La charge normale d'essai  $\vec{F} = 29,4$  daN est appliquée pendant 10 à 15 secondes.

On peut également employer l'une des charges suivantes :

4,9 - 9,8 - 19,6 - 49 - 78,4 - 98 daN.

Avec des charges inférieures à 4,9 daN on se trouve dans le domaine des microduretés.

Les charges supérieures à 98 daN sont parfois utilisées avec une pyramide en acier trempé sur des matériaux de faible dureté.

d = diagonale de l'empreinte

$$HV = \frac{F}{S} \rightarrow \text{charge de l'essai (daN)}$$

$$S \rightarrow \text{aire de l'empreinte (mm}^2\text{)}$$

$$HV = \frac{2 F \sin \frac{136^\circ}{2}}{d^2}$$

$$HV = 1,854 \frac{F}{d^2}$$

$\frac{HV}{10}$  charge cruciale 9,8 daN appliquée pendant 10 à 15 secondes.

Figure (3-9) : méthode d'essai.

**- Essai de pliage :**

L'essai de pliage consiste à soumettre à une déformation plastique une éprouvette prélevée transversalement ou longitudinalement à l'assemblage soudé, par pliage sans inversion du sens de pliage, de manière qu'une seule des surfaces ou coupes transversales soit mise en extension.

**3.1.6.3 Essais semi-destructifs des soudures :**

Le semi-destructif, de moins en moins mis en œuvre, consiste à prélever une partie de l'ouvrage pour lui faire subir les essais préalablement cités. Ce type de contrôle reste possible lorsque le prélèvement n'altère pas la qualité de l'ouvrage. Chose rare mais parfois le commanditaire.

**3.1.7 Rapport de l'essai :**

L'essai de pliage fait à la norme NF EN ISO 5173/A1 :2012 et doit préciser :

- la forme et les dimensions de l'éprouvette.
- l'identification de l'éprouvette (marquage, type de matériau de base, traitement thermique etc.).
- type et symbole de l'essai de flexion (pliage transversal envers ; endroit,...).
- conditions d'essai (caractéristiques de l'appareil d'essai ; diamètre des rouleaux, entraxe).
- angle de flexion.
- type et dimensions des imperfections observées.

Le pliage ne doit pas faire apparaître de rupture de l'armature.

Le destructif est employé pour attester du bon choix des paramètres de soudage.

Il permet d'homologuer le procédé, le DMOS.

Il comprend des essais mécaniques prélevés dans une éprouvette. Les macrographies mettent en évidence l'aspect interne du cordon et les micrographies servent à des études métallographiques de la matière.

Ces types de contrôle attestent du respect du cahier des charges de l'ouvrage. Il est indispensable pour assurer la qualité demandée. Il certifie, également, les normes de sécurité imposées par la normalisation en vigueur. Il est situé en amont de la production afin d'apporter les ajustements nécessaires à l'obtention d'un résultat correct avec, les cas échéant, le niveau d'acceptation.

**3.1.8 Sécurité**

Les éléments nécessaires pour de bonne condition de travail.



Figure.3.7 : Sécurité Les éléments nécessaires pour de bonne condition de travail.

### 3.2 Les défauts de soudage :

#### 3.2.1 Introduction :

Il existe plusieurs types de défauts de soudure ainsi que différentes méthodes pour les prévenir et les corriger. Ce chapitre vise à identifier et à décrire les défauts les plus courants en fonction du métal travaillé ou du procédé de soudage utilisé.

#### 3.2.2 Préparation des pièces à souder :

- Préparation des bords et des surfaces avant soudage :

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 (1), 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.

Certaines de ces pièces pourront mettre en relief des fissures thermique ou mécanique. Tous les résidus et les fissures doivent être éliminés avant soudage.

Pour mieux comprendre cette nécessité, il faut savoir que les oxydes, les graisses, les résidus se trouveraient emprisonnés dans le bain de fusion au moment de l'opération de soudage. Tous ces impuretés conduiraient à la présence de porosités, d'inclusions, de microfissures, bien souvent incompatibles et compromettant la résistance qui de la soudure.

En ce qui concerne la présence de fissures avant soudage, il faut considérer qu'elles pourraient se développer pendant l'opération d'assemblage ou de rechargement sous l'effet du cycle thermique et des contraintes mécanique qui en résultent.

En résumé la qualité du joint soudé est tributaire du soin apporté à la préparation du joint et à la préparation des surfaces. Nous avons souligné l'importance de la préparation des

surfaces : celle-ci peut être réalisée par corindon nage (3), meulage (4), usinage a l’outil, électrode à chanfreiner.

En présence de pièce ayant déjà travaillé, avant toute opération de soudage il est nécessaire d’effectuer un contrôle des surfaces par ressuage(5). Dans certains cas, pour des assemblages de haute sécurité, on aura recours à un contrôle plus poussé : radiographies, ultrasons (6).

**3.2.3 Déformation des soudures :**

Lors du soudage des déformations peuvent apparaitre, donc il faut alterner les soudures pour vite la pièce de travailler, mais on peut aussi brider la pièce ou le pré déformer. Il faut aussi tenir compte du retrait de soudage lorsqu’il y a un jeu, il est de du jeu de soudage. On peut aussi brider la pièce (clame, pontet, boulonnage,..) Si une déformation se produit on utilisera différentes méthodes de redressage (7):

- Marteler la soudure
- Redresser la pièce à la presse
- Chaude de retrait (chauffer au chalumeau la zone et refroidir brusquement (eau, air) attention au type de matériaux (cause de trempé, fissuration...) On peut aussi associer les méthodes (ex: chauffe et martelage).

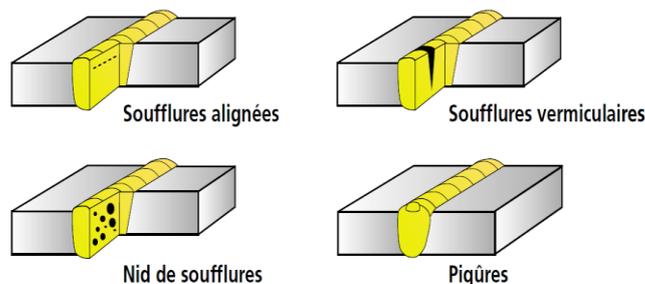
**3.2.4 Défauts de soufflures ou cavités :**

**3.2.4.1 Définition :**

Les soufflures (cavités) sont des défauts fréquents en soudage. Ce sont souvent des bulles de gaz enfermées dans le cordon de soudure. Les piqures sont des soufflures débouchâtes, donc visibles en surface.

**3.2.4.2 Types de soufflures fréquentes :**

- Nid de soufflures
- Soufflures vermiculaires
- Piqures
- \_ -alignées.



**Figure3.8 : Défaut de soudure soufflure.**

### 3.2.4.3 Cause des soufflures :

Les soufflures peuvent être dues :

- à des courants d'air
- un manque de gaz de protection
- un débit de ce gaz trop faible
- la présence de graisse ou d'huile sur le métal de base ou le métal d'apport ,
- une buse encrassée
- un mauvais angle de soudage qui entraîne une mauvaise protection gazeuse
- des impuretés dans le joint à souder.

### 3.2.4.4 Remèdes contre le défaut de soufflures:

Pour limiter le risque de soufflures :

- s'assurer que la surface du métal de base et d'apport est propre et non gras.
- Vérifier la protection gazeuse
- une intensité de courant trop faible et une vitesse de soudage trop élevée peut entraîner ce défaut
- les piqûres sont généralement causées par le contact entre l'électrode et le métal de base.

## 3.2.5 Défauts de fissures :

### 3.2.5.1 Définition :

Les fissures sont des ruptures du matériau. Elles sont orientées selon le type de défaut. Ces fissures peuvent se trouver aussi bien dans le métal de base que dans le cordon de soudure, dans la zone affectée thermiquement ou la zone de liaison.

### 3.2.5.2 Types de fissures fréquentes :

- Fissure longitudinale
- Fissure transversale
- Fissure de cratère
- Fissure sous cordon débouchant
- Fissure sous cordon non débouchant

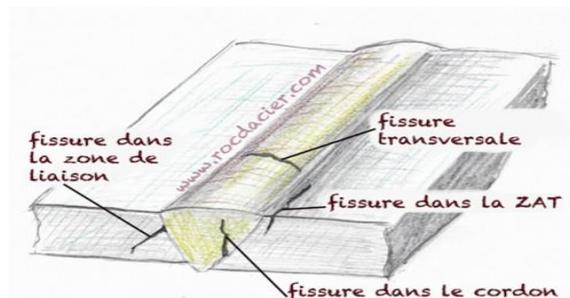


Figure.3.9 : Défaut de soudure fissures.

### 3.2.5.3 Causes des fissures :

Les fissures peuvent être dues :

- à des contraintes excessives pendant le soudage (énergie trop élevée, refroidissement trop rapide, métal d'apport inadapté...)
- volume de cordon trop faible (préparation des bords trop étroite...)
- arrêt trop brutal de la soudure
- arrêt prématuré de la protection gazeuse en TIG.

### 3.2.5.4 Remèdes contre les fissures

Pour éviter les fissures : Choisir un métal d'apport approprié

- Adopter un préchauffage approprié
- Effectuer une bonne préparation des joints

Fissures longitudinales dans la ZAT (zone affecté thermique)

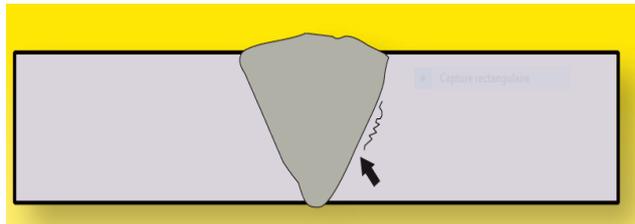


Figure.3.10 : la fissure longitudinale.

### 3.2.6 Défauts d'inclusion :

En soudage, les inclusions désignent des corps étrangers présents au cœur du cordon. La fissuration à chaud. Comment l'éviter?

3.2.6.1 Types d'inclusions fréquentes:

- Inclusion solide : corps étranger inclus dans le cordon de soudure.
- Inclusion de laitier : morceau de laitier inclus dans le cordon de soudure.
- Inclusion de flux : morceau de flux inclus dans le cordon de soudure.
- Inclusion d'oxyde : oxyde métallique emprisonné dans la soudure.
- Inclusion métallique : particule métallique de composition différente au cordon emprisonnée (souvent tungstène en TIG)

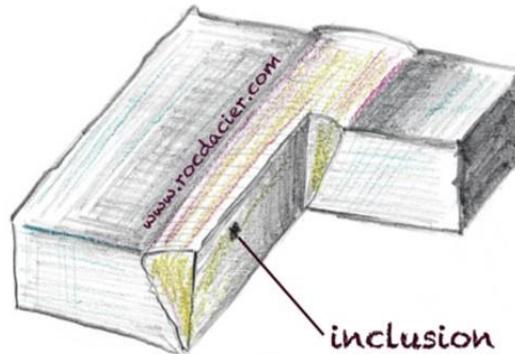


Figure.3.11: défaut d'inclusion.

Inclusions de laitier :

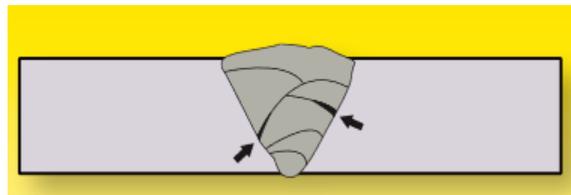


Figure.3.12 : inclusion de laitier.

3.2.6.2 Cause de l'inclusion:

- Le laitier coule avant la soudure
- Décrassage entre passe insuffisant
- Passes convexes produisant des poches de laitier
- Séquence de cordon non adaptée

Remèdes

- Augmenter la vitesse d'avance ou l'angle de l'électrode
- Décrasser le laitier soigneusement. Meuler si nécessaire.
- Eviter les angles trop aigus entre les cordons et les passes. Augmenter la tension d'arc
- Organiser la séquence de cordons de façon à ce que les angles aigus soient évités. Appliquer la technique de soudage par passes fines

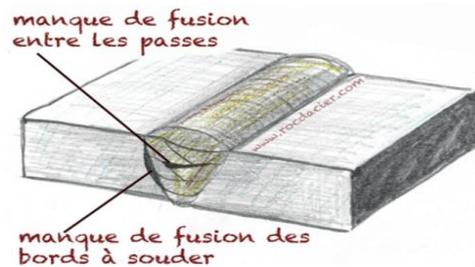
3.2.7 Défaut de manque de fission (collage) :

3.2.7.1 Définition :

C'est un manque de liaison entre les cordons de soudure et le métal de base. Il provient d'un manque de chaleur ou un manque d'accès aux surfaces de fusion

### 3.2.7.2 Types de manque de fusion :

- Manque de fusion des bords à souder
- Manque de fusion entre les passes.
- Manque de fusion à la racine.



**Figure.3.13 : manque de fusion.**

## 3.2.8 Des défauts de collage :

### 3.2.8.1 Les causes de collage :

Apport d'énergie trop bas

- Bain de soudage trop important et se formant avant l'arc
- Préparation de chanfrein trop fermée
- L'angle de la torche ou de l'électrode est incorrect
- Position de cordon non adaptée

### 3.2.8.2 Remèdes :

- Mettre en œuvre un DMOS adapté (Définition d'un descriptif de mode opératoire de soudage (D.M.O.S.))
- Augmenter le courant de soudage et ralentir la vitesse d'avance
- Réduire le taux de dépôt et/ou augmenter la vitesse d'avance
- Augmenter l'angle de préparation du chanfrein
- Positionner l'électrode ou la torche de façon à ce que les bords de la tôle soient fondus
- Positionner le cordon de façon à ce que les angles aigus avec d'autres cordons ou bords de tôles soient évité.

## 3.2.9 Défaut de pénétration :

### 3.2.9.1 Définition :

Les défauts de pénétration peuvent être des manques ou des excès de pénétration. L'excès de pénétration est un surplus de métal à la racine de la soudure ou un excès dans la passe précédente.

3.2.9.2 Cause des défauts d'excès de pénétration :

- Jeu de soudage trop grand
- Vitesse d'avance trop lente
- Intensité trop élevée
- Distance électrode/pièce trop courte

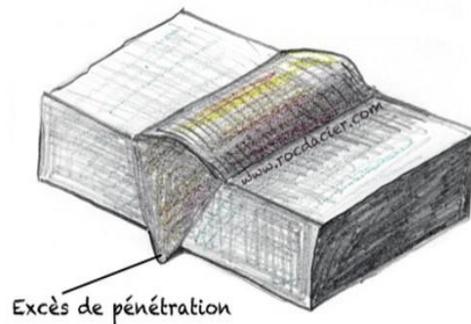


Figure.3.14 : Défaut de soudure excès de pénétration.

3.2.9.3 Remèdes :

- Réduire le jeu de soudage
- Souder plus vite
- Réduire l'intensité
- Rapprocher la torche de la pièce pendant le soudage

3.2.10 Défaut de d'effondrement :

Lorsque l'énergie de soudage est trop importante, on peut avoir un effondrement du métal pendant la fusion. On distingue différents types d'effondrements

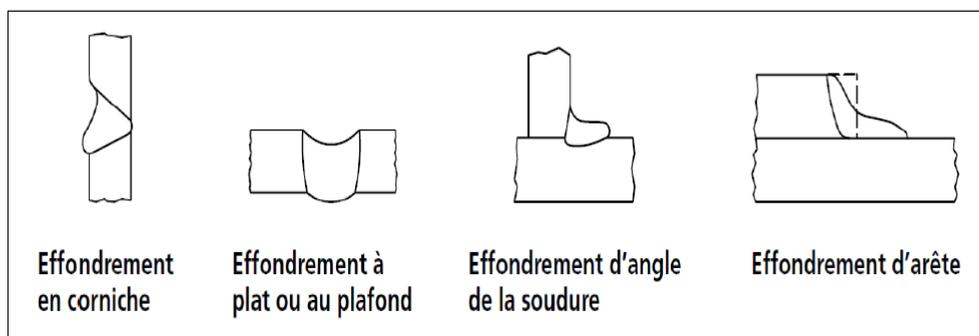


Figure.3.15 : Types d'effondrements.

### 3.2.10.1 La cause de d'effondrement :

Une soudure effectuée trop lentement (vitesse d'avance trop faible).

### 3.2.10.2 Remèdes :

- Diminuer l'intensité du courant de soudage MMA, TIG et SAW, ou la vitesse de dévidage du fil MIG/MAG, FCAW et revoir le réglage de la tension de soudage.
- Augmenter la vitesse de soudage MIG/MAG, FCAW, SAW.
- Avec le procédé MMA, diminuer le diamètre de l'électrode enrobée et, avec une électrode rutile, choisir une électrode à enrobage moins épais.

## 3.2.11 Défauts de retassures et criques:

### 3.2.11.1 Définition :

Lorsque le métal se refroidit, il est possible que le cordon ne se referme pas de façon uniforme en fin de soudure. Le creux formé est appelé retassure. Les retassures de cratère sont des défauts dus à une mauvaise reprise de passes ou à un arrêt trop brusque de l'arc électrique. Les criques sont défauts non visibles.

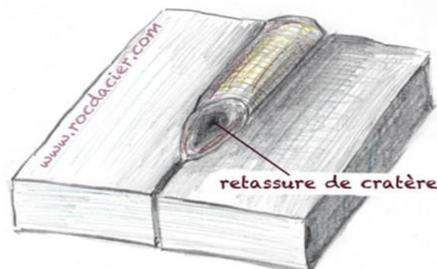


Figure.3.16 : Défaut de soudure soufflure et cavité.

## 3.2.12 Défaut de morsure et caniveau :

### 3.2.12.1 Définition :

Un caniveau est un manque de métal en forme de sillon qui s'étend sur une certaine longueur du bord d'un cordon de soudure

Une morsure est un manque local de métal situé sur le bord d'un cordon de soudure; une morsure est un caniveau de très courte longueur

### 3.2.12.2 Remèdes :

- S'assurer que le dévidage du fil GMAW et FCAW se fait de façon continue et sans à-coup.
- Laisser le faisceau de câbles le plus droit possible,

Vérifier ou changer la gaine et le tube-contact, ajuster la pression des galets d'entraînement,  
 Enlever les projections qui adhèrent à l'extrémité du tube-contact.  
 Utiliser un tube-contact et une gaine adaptée au diamètre du fil utilisé.

Causes

- Tension d'arc trop haute
- Arc trop long
- Utilisation ou angle d'électrode incorrecte
- L'électrode est trop grosse pour l'épaisseur de la tôle en question
- Vitesse d'avance trop grande

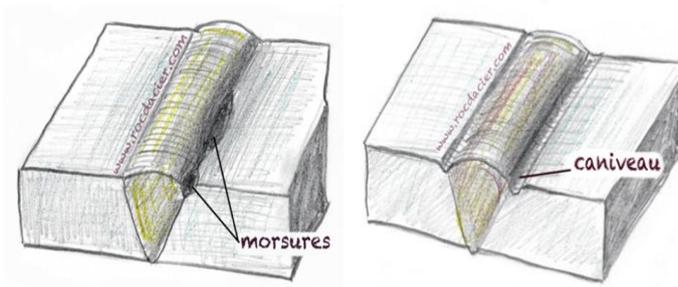


Figure.3.17 : défaut de morsure et caniveau.

### 3.2.13 Défaut géométrique des cordons :

#### 3.2.13.1 Défaut de convexité:

Il s'agit d'un excès de matière sur la longueur de la soudure, ou localisé. Les normes imposent des limites d'épaisseur pour le cordon. Si le cordon est trop bombé et dépasse ces limites, alors il y a défaut de convexité.

#### 3.2.13.2 Défaut de concavité:

Il s'agit d'un manque de matière sur la longueur de la soudure, ou localisé. Si le cordon est trop creux et dépasse les limites des normes, alors il y a défaut de concavité.

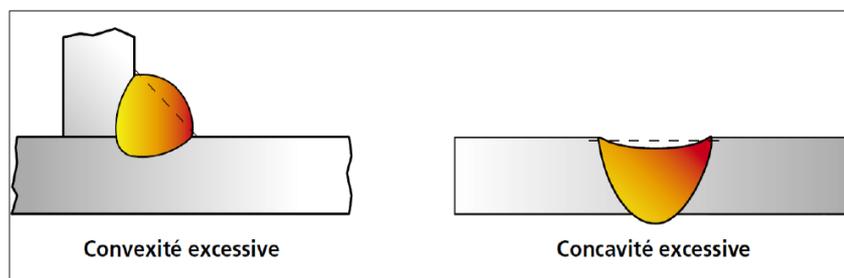


Figure.3.18 : Convexité et concavité

### 3.2.13.3 Défaut d'alignement:

Lorsque les pièces sont mal bridées et/ou le pointage insuffisant, on peut avoir un défaut d'alignement.

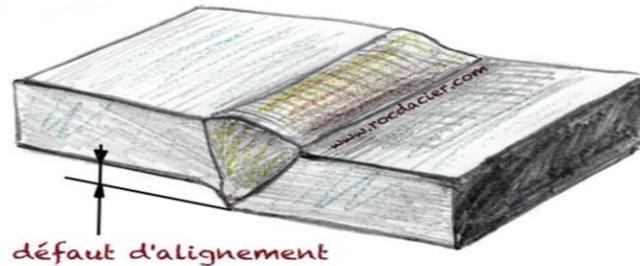


Figure.3.19 : Défaut d'alignement.

### 3.2.13.4 Déformations angulaires:

Les déformations importantes de l'opération de soudage peuvent aussi entraîner un défaut angulaire. Les pièces assemblées ne respectent pas la forme souhaitée.

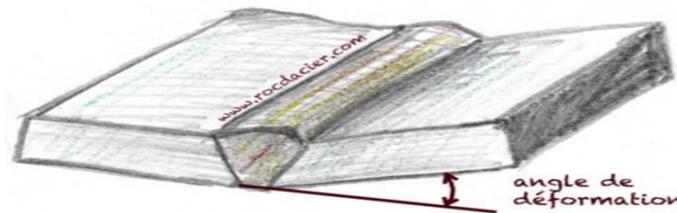


Figure.3.20 : Déformations angulaires.

### 3.2.13.5 La Causes :

- Séquence de soudage inadaptée
- Cordons trop fins et trop nombreux. Souvent dû à un diamètre d'électrode trop petit
- Préparation des tôles avant soudage insuffisante
- Fixage de tôle insuffisant

### 3.2.13.6 Remèdes

- Souder les tôles des deux côtés. Souder à partir du centre, dans les directions opposées
- Prendre un diamètre d'électrode plus grand. Si possible un type à haut rendement
- Compenser les retraits en fixant les pièces avec un contre angle
- Pincés.

### 3.2.14 Défaut au rochage :

Le rochage est souvent rencontré lors du soudage des aciers inoxydables (TIG ou \*MIG). Si la protection gazeuse est mauvaise, le bain de fusion s'oxyde est créé ce défaut. Le défaut de rochage est souvent rencontré à l'envers du cordon, ou la protection n'est pas toujours bien assurée.

**3.2.15 Pollution ferreuse :**

Pour le soudage des aciers inox, si des outils ne sont pas aussi en acier inoxydables, on risque d'avoir une pollution ferreuse. Elle provoque une corrosion en détruisant la couche de surface des aciers inoxydables. L'acier inoxydable, avec le temps, présentera des traces d'oxydation (rouille).

**3.2.16 Mauvaise reprise de cordon :**

Lorsque le soudeur reprend une soudure qu'il souhaite continuer, il doit faire en sorte de garder la continuité visuelle et métallurgique du cordon. Lorsque ceci n'est pas réussi, on peut avoir un défaut de reprise (manque ou excès de matière).

**3.2.17 Projection :**

Pendant le soudage, des projections de particules de métal d'apport en fusion viennent parfois se coller au métal de base. Souvent si l'intensité est trop forte, la longueur d'arc trop importante, un mauvais choix ou débit de gaz protecteur, on peut rencontrer ces projections. (Grattons de soudures).

A l'électrode enrobée, on rencontre aussi ces défauts qui ont les mêmes causes que celles citées précédemment, mis à part les effets du gaz bien sûr.

Procédé	Défauts communs
SMAW	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aspect du cordon</li> <li>- Mauvaise reprise (cratère de reprise)</li> <li>- Défauts de pénétration (manque de pénétration surtout)</li> <li>- Inclusions de laitier</li> </ul>
GTAW	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fissures</li> <li>- Cavités</li> <li>- Inclusions de tungstène</li> <li>- Manque de fusion ou de pénétration</li> <li>- Défauts de formes du cordon</li> <li>- Oxydation en surface</li> </ul>
GMAW	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Soufflures</li> <li>- Collage</li> <li>- Manque de pénétration</li> <li>- Projections</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Joints irréguliers</li> <li>- Convexité excessive</li> </ul>
FCAW/MCAW	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Soufflures</li> <li>- Projections</li> <li>- Caniveaux</li> <li>- Inclusions de laitier</li> </ul>

**Tableau.3.2 : Il présente les principaux défauts en fonction du procédé de soudage utilisé.**

Défauts	Causes	Moyens de prévention
Projections	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Instabilité de l'arc</li> <li>- Mode de transfert inapproprié</li> <li>- Courant trop intense</li> <li>- Soufflage de l'arc</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Changer le mélange de gaz de protection.</li> <li>- Changer la longueur de l'arc.</li> <li>- Changer le mode de transfert.</li> <li>- Réduire l'intensité du courant.</li> <li>- Choisir le courant approprié.</li> <li>- Changer la prise de masse</li> </ul>
Mauvaise fusion des Bords	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Courant de soudage trop faible</li> <li>- Vitesse de soudage trop grande</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Augmenter l'intensité du courant.</li> <li>- Réduire la vitesse d'avance et préchauffer les pièces épaisses.</li> <li>- Effectuer un bon mouvement oscillatoire.</li> <li>- Bien disposer les cordons dans les soudures multi passes.</li> </ul>
Inclusions solides, de flux ou de laitier	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mauvais écartement à la racine</li> <li>- Impuretés dans le bain de fusion</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bien positionner les pièces.</li> <li>- Bien nettoyer le métal, surtout entre les cordons.</li> <li>- Avoir une bonne chaleur de soudage.</li> <li>- Effectuer un bon mouvement oscillatoire.</li> <li>- Bien disposer les cordons dans les soudures multi passes.</li> </ul>
Inclusions de tungstène	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fonte de l'électrode causée par une chaleur trop élevée</li> <li>- Électrode en contact</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Réduire l'intensité de courant.</li> <li>- Bien choisir les paramètres de soudage (diamètre de l'électrode et polarité du courant).</li> </ul>

	avec le bain de fusion	– Maintenir l’arc de soudage suffisamment long.
Convexité excessive ou surépaisseur du cordon	– Chaleur trop faible – Vitesse de dévidage trop élevée	– Augmenter l’intensité du courant. – Réduire la vitesse de dévidage. – Effectuer un bon mouvement oscillatoire.
Effondrements ou concavité excessive	– Vitesse de soudage trop lente – Chaleur trop élevée	– Augmenter la vitesse. – Réduire l’intensité du courant. – Effectuer un bon mouvement oscillatoire
Mauvais angle de raccordement	– Chaleur trop faible – Vitesse de dévidage trop élevée – Mauvais mouillage du cordon	– Augmenter l’intensité du courant. – Réduire la vitesse de dévidage. – Bien choisir le mélange de gaz actif ou l’hélium
Débordement du cordon	– Vitesse d’avance trop lente – Mauvais angle de soudage – Joints mal nettoyés	– Augmenter la vitesse. – Modifier l’angle de soudage. – S’assurer que les joints sont propres

**Tableau.3.3: reprend certains défauts communs et y présente en plus les moyens de les éviter.**

**3.3 Conclusion :**

Ce chapitre elle est composer en 2 partie, nous avons vu dans le premier partie le contrôle de soudage, on conclut que on a trois temps de contrôle : avant le soudage, pendant le soudage et après le soudage, Et en deuxième partie nous avons vu les défauts de soudage on conclut que il existe plusieurs défauts de soudure,

Les défauts De géométrie du cordon, les défauts de pénétration, les soufflures, les inclusions, les Caniveaux, les retassures, les projections et les défauts de fusion.

Les défauts de soudage peuvent être causés par de nombreux facteurs, dont la vitesse D’avance ou l’intensité du courant. Dans bien des cas, les défauts peuvent être détectés et Corrigés en cours de soudage.

## 4 Chapitre 4: Amélioration dans le poste à souder.

### 4.1 Introduction :

Dans l'opération de soudage on trouve beaucoup de défauts à partir de ces défauts il y a le réglage de l'ampérage. Pour souder une pièce il faut trouver la bonne valeur de l'ampérage qui correspond à l'épaisseur de la pièce à souder. Ce réglage nécessite plusieurs essais pour la bonne adaptation de l'ampérage, étant donné que notre poste à souder est conçu pour l'utilisation en atelier ou en chantier et que son poids est important 108kg son déplacement devient difficile, d'où l'utilisation de câbles de soudage de 3 m voir 4m, Encore une fois cela implique le déplacement des soudeurs pour le réglage ou l'intervention d'une 2ème personne.

Des postes à souder à rhéostat qui permettent le réglage à distance résolvent ce problème.

Alors dans notre recherche on a trouvé une solution qui permet de régler la valeur de l'ampérage par rapport à l'épaisseur de la pièce à souder, et dans cette amélioration on a utilisé un système qui contient un moteur, un ensemble des engrenages et une courroie crantée. Et cette solution permet de faciliter le travail de soudage avec le poste à souder, et réduire la durée des travaux.

### 4.2 Un poste à souder avec un rhéostat :

Un rhéostat est une résistance électrique réglable qui, intercalée en série dans un circuit, permet d'en modifier l'intensité du courant. Il est généralement constitué d'une résistance variable dimensionnée de manière à supporter l'intensité maximale du courant devant la traverse.

Dans notre travail on a remplacé le rhéostat par un moteur.



Figure 4.1 : télécommande.

### 4.3 Généralité sur transmission :

#### 4.3.1 Définition des engrenages :

Les engrenages sont des composants mécaniques essentiels. Ils font partie des systèmes de transmission de mouvement et de puissance les plus utilisés dans le monde industriel, précis et spécifiques. Ils constituent la meilleure solution technologique pour transmettre le couple et le mouvement en rotation. Ils sont largement répandus dans les domaines les plus

variés de la construction mécanique : machines-outils, automobiles, appareils de levage..., particulièrement dans les boîtes de vitesses, boîtes des avances, variateurs, ...

Suivant les conditions d'exploitation, les engrenages sont très variés : on peut les classer selon la position des axes, la forme de la denture, ...

Les engrenages sont normalisés. Ils sont fabriqués avec la norme internationale I.S.O. par la norme ISO 1328-1.

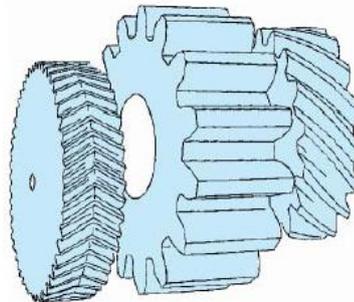


Figure 4.2 : Différents types d'engrenage.

### 4.3.2 Théorie succincte des transmissions par engrenage:

#### 4.3.2.1 Principes de l'engrènement :

Un engrenage est constitué de roues dentées qui transmettent le mouvement d'un arbre moteur vers un arbre récepteur et déterminent ainsi les vitesses, les couples et le sens de rotation des éléments de machines.

Soit deux arbres parallèles d'axes  $O_1$  et  $O_2$ . L'arbre d'axe  $O_1$  tourne à la vitesse angulaire  $\omega_1$ . Pour mouvoir l'arbre d'axe  $O_2$ , nous montons sur chacun des arbres une roue circulaire. Les deux roues de diamètres respectifs  $d_1$  et  $d_2$  sont tangentes l'une à l'autre (fig. 4.2-a). Si elles roulent l'une sur l'autre sans glisser nous avons l'égalité des vitesses tangentielles des points de contact et nous pouvons écrire :

$$\omega_1 d_1 = \omega_2 d_2.$$

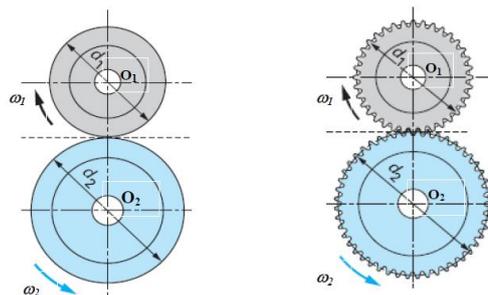


Figure 4.3-Principe de la transmission (a) par friction, (b) par obstacle.

Alors que friction est loin de représenter le procédé le plus recommandé pour la transmission dépaissances, il est mieux d'avoir recours à la pression en liant à chaque roue une surface de profil convenable. Les deux surfaces sont tangentes comme précédemment, mais cette fois-ci l'une poussant l'autre (Fig. 4.2-b).

Éléments caractéristiques d'un engrenage:( tableau 4.1)

Tableau 4.1 : les caractéristiques d'engrenage.

Module d'engrenage	$m$	RDM
Nombre de dents	$z$	Déterminé à partir des rapports des vitesses angulaires : $(\omega_A \div \omega_B) = (n_A \div n_B) = (z_B \div z_A)$ A étant la roue menée et B la roue menant
Pas	$p$	$p = m \cdot \pi$
Saillie	$h_a$	$h_a = m$
Creux	$h_f$	$h_f = 1.25m$
Hauteur de dent	$h$	$h = h_a + h_f = 2.25m$
Diamètre primitif	$d$	$d = m \cdot z$
Diamètre de tête	$d_a$	$d_a = d + 2m$
Diamètre de pied	$d_f$	$d_f = d - 2.5m$
Largeur de denture	$b$	$b = k \cdot m$ (est un coefficient à choisir généralement entre 6 et 10)
Entraxe de deux roues A et B	$a$	$a = \frac{d_A + d_B}{2} = \frac{m \cdot z_A}{2} + \frac{m \cdot z_B}{2} = \frac{m(z_A + z_B)}{2}$

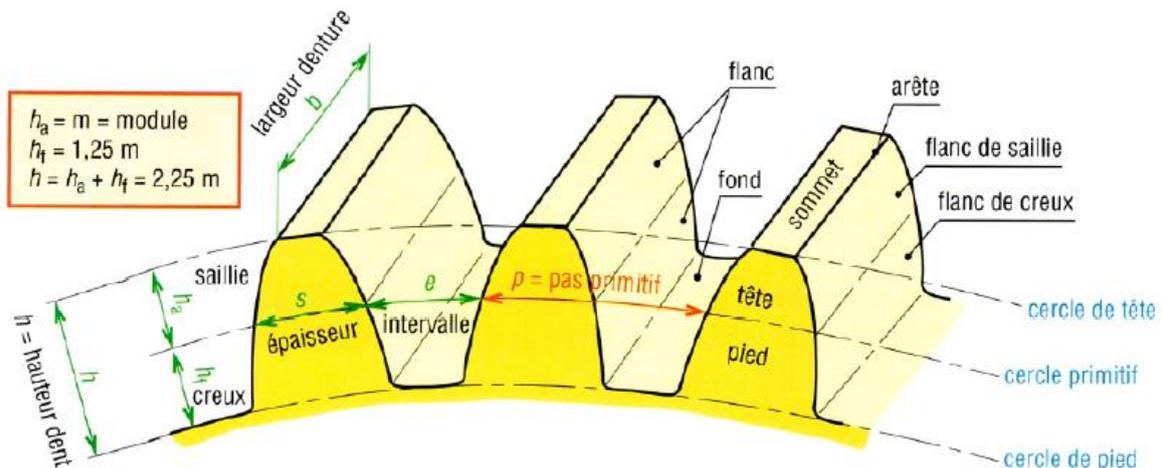


Figure 4.4 : Terminologie principale définissant les caractéristiques d'une denture droite.

Pour les systèmes d'engrenages on peut définir le rapport de transmission (rapport de vitesse ou rapport de réduction)  $i$  et le rapport de couple  $G_r$  par les équations suivants :

$$i = \frac{\Omega_{sort}}{\Omega_{entre}} \quad (\text{Eq.4.1})$$

$$G_r = \frac{T_{sort}}{T_{entre}} \quad (\text{Eq.4.2})$$

Avec :  $\Omega_{sort}$  la vitesse angulaire de l'arbre de sortie en rad/s ,  $\Omega_{entr}$  la vitesse angulaire de l'arbre d'entrée en rad/s,  $T_{sort}$  le couple de l'arbre de sortie en Nm et  $T_{entr}$  le couple de l'arbre d'entrée.

La valeur du rapport de transmission  $i$  est définie comme suit :

$$i = 1 : \Omega_{sort} = \Omega_{entr}$$

$i < 1$  :  $\Omega_{sort} < \Omega_{entr}$ . Le système d'engrenages est un réducteur de vitesse

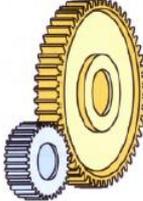
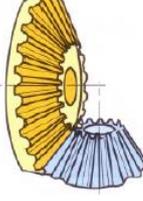
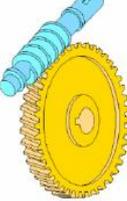
$i > 1$  :  $\Omega_{sort} > \Omega_{entr}$ . Le système d'engrenages est un multiplicateur de vitesse

Il faut travailler par considère que la majorité des caractéristiques change en fonction du type d'engrenage.

**4.3.2.2 Les différents types d'engrenage :**

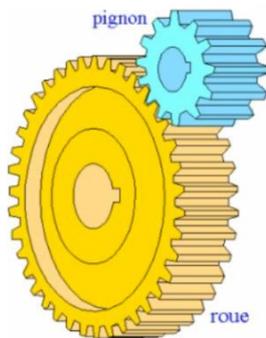
On distingue trois catégories d'engrenages.

**Tableau 4.2 : les différents types d'engrenages.**

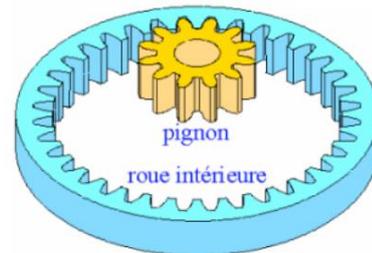
Engrenages parallèles	Engrenages concourants	Engrenages gauches
		

• **Engrenages parallèles à denture droite :**

Les plus simples et les plus économiques, ils sont utilisés pour transmettre la puissance et le mouvement entre deux arbres parallèles. Ces engrenages sont bruyants et génèrent des vibrations.



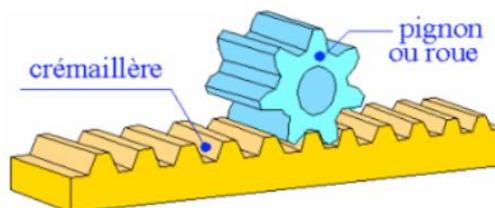
Engrenage extérieur



Engrenage intérieur

**Figure 4.5 : les types des engrenages.**

Dans le cas du pignon crémaillère, il s'agit de transformer le mouvement de rotation du pignon en mouvement de translation de la crémaillère.



**Figure 4.6 : Pignon crémaillère**

- **Engrenages parallèles à denture hélicoïdale**

Ils transmettent un mouvement et une puissance entre deux arbres parallèles. L'angle d'inclinaison de la denture et le même pour les deux roues mais de sens opposé. Les dentures hélicoïdales assurent une transmission avec moins de vibrations et un bon rendement mais elles engendrent une poussée axiale. Pour remédier à cette poussée, on peut utiliser la denture chevron.

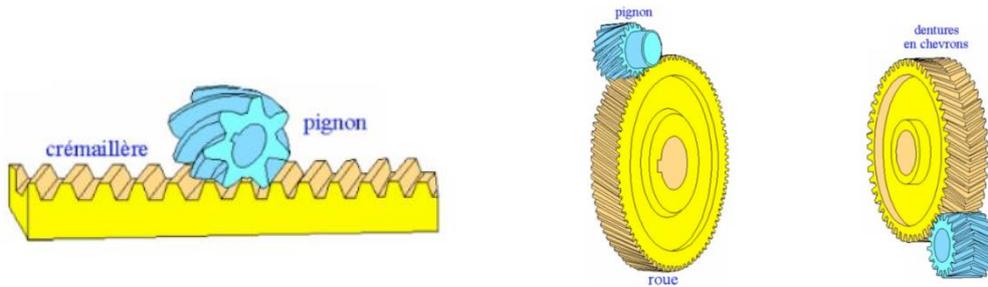


Figure 4.7 : les types des engrenages.

- **Engrenages concourants**

C'est un groupe important utilisé pour transmettre un mouvement entre deux axes concourants. Les axes à 90° sont les plus courants.

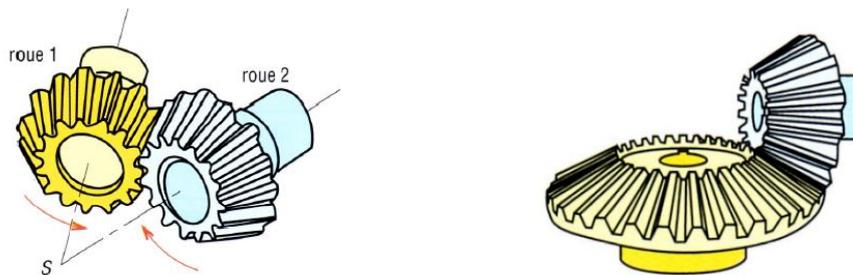


Figure 4.8 : engrenages concourants.

On distingue trois types de dentures :

- **Denture droite** : la plus simple, pour des fréquences de rotations élevées. Ils sont plutôt bruyants et génèrent des vibrations.
- **Denture hélicoïdale ou spirale** : moins bruyant à très grande vitesse.
- **Denture hypoïde** : variante plus complexe avec les mêmes qualités générales.



Figure 4.9 : les trois types des dentures.

- **Engrenages gauches**

Les plus courants sont les engrenages roue et vis sans fin. La transmission du mouvement se fait à l'aide d'une vis à un ou plusieurs filets engrenant avec une roue. Le sens de l'hélice est le même pour la vis et la roue. Ces engrenages permettent de grands rapports de réduction et offrent des possibilités d'irréversibilité. Ce sont les plus silencieux et ils sont sans chocs. En contrepartie, le glissement et le frottement important provoquent un rendement médiocre. Afin d'augmenter la puissance transmissible, on choisit des matériaux à faible coefficient de frottement.

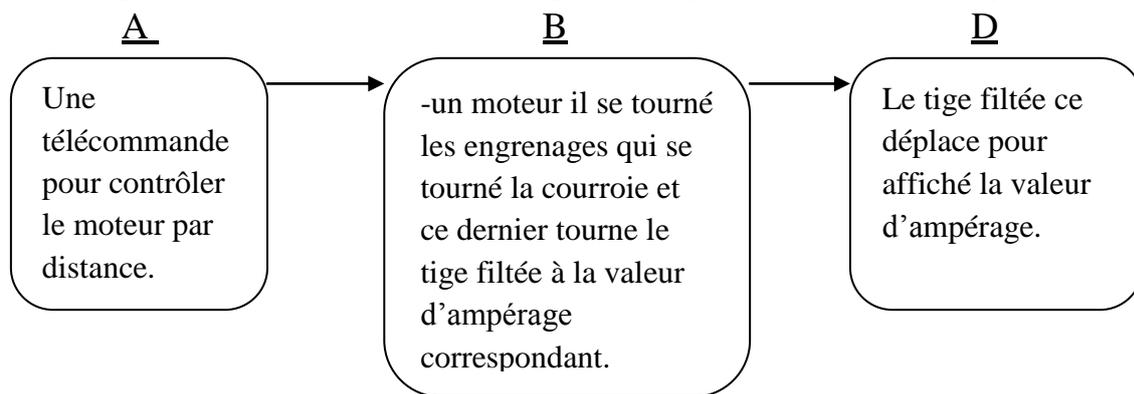
**4.4 Le but et une explication de notre amélioration :**

Généralement dans un poste à souder on a trouvé un bras leur travail est de faire tourner le tige filtée (14) (voire plans n : ps.mm.0004.000.000.000.008) et quand ce dernier va tourner les trois bobine primaires va déplacer vers les trois bobine secondaire et ce processus va produire pour nous la tension d'ampérage et aussi permet de régler la valeur d'ampérage correspondant pour l'opération de soudage, et ce bras va tourne manuellement, est tout ca on a le remplacé par un moteur nous le contrôlons par une télécommande, et un système d'engrenage. Ce qui rend l'opération semi-automatique.

Quand on démarre le moteur par la télécommande il transforme le mouvement du le tige filtée par un système des engrenages et une courroie crantée (dentée), le dernier engrenage dans le système il est le poulie petite dans la courroie est le grande poulie est placé sur le tige filtée quand le tige filtée ce tourne la valeur d'ampérage soit réglé à la valeur qui est correspondant à l'épaisseur de la pièce à souder qui est déjà programmé pour chaque épaisseur est parallèle à la valeur de l'ampérage correspondant.

Par exemple on a une pièce à souder d'épaisseur 3mm le moteur se transmet le mouvement à le tige filtée pour tourné jusqu'à la valeur d'ampérage 60Ampère par un vitesse de rotation de 100tr/min , Et pour faire arrêté le moteur quand il est arrivé à la vitesse de rotation correspondant à la valeur d'ampérage qui on doit utilisé, on ajoute une fin de course.

Et nous avons utilisé une courroie pour évité le cambrement dans l'intérieur de le poste à souder, et pour réaliser cette méthode on va placer ce système au dessus de le poste à souder.



**Schéma expliqué les étapes de notre amélioration.**



Figure 4.10 : carte électronique avec fin de course.



Figure 4.11 : l'assemblage de système.

#### 4.4.1 Le réglage de l'intensité de soudage :

Le réglage de l'intensité en fonction de l'épaisseur de la pièce à souder, en général multiplié par 30 l'épaisseur de la pièce.

EX : tôle de 2mm=> intensité  $2 \times 30 = 60$  Ampère.

Et on peut régler l'intensité par rapport à le diamètre de l'électrode enrobée.

EX :  $I=50(D-1)$  (Eq.4.3)

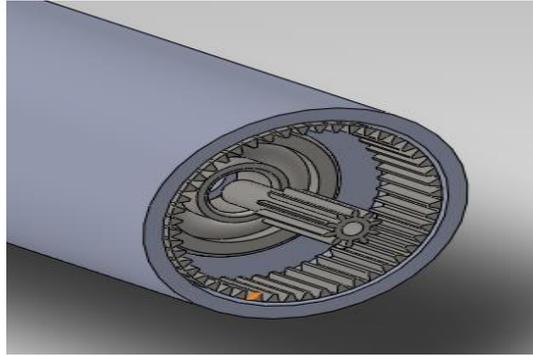
avec I : intensité de soudage et D le diamètre de diamètre de l'électrode enrobée.

**Tableau 4.3 : Intensité moyenne de soudage pour la position à plat.**

Epaisseur	Ø1.6mm	Ø2.0mm	Ø2.5mm	Ø3.2mm	Ø4.0mm	Ø5.0mm
3mm		60A	70A	90A		
4mm			80A	100A	120A	
5mm			90A	110A	130A	160A
6mm			90A	120A	140A	160A
8mm			90A	125A	150A	170A
10mm				130A	160A	190A

#### 4.5 Les éléments qui on a utilisé dans notre amélioration :

##### 4.5.1 Un moteur :



**Figure 4.12 : le pignon de moteur (soleil).**

-Le poids : 2kg

-la vitesse de rotation :  $N= 582\text{tr/min}$

-la puissance :  $P= 150\text{w}$

-le couple :  $C= 2.46\text{N.m}$

On peut calculer le couple de moteur par la relation suivant :

$$P = C \cdot \omega \quad (\text{Eq.4.4})$$

$$C = \frac{P}{\omega} \quad (\text{Eq.4.5}) \quad (15)$$

Avec : P : la puissance de moteur (watt).

C : le couple de moteur(N.m).

$\omega$  : La vitesse angulaire (rad/s).

On peut calculer la vitesse angulaire par la relation suivant :

$$\omega = \frac{\pi \cdot N}{30} \quad (\text{Eq.4.6})$$

Avec :  $\pi$  : constant d'Archimède égale à 3.14

N : la vitesse de rotation de moteur (tr/min).

#### 4.5.1.1 Application numérique :

$$\omega = \frac{3.14 \times 582}{30}$$

$$\omega = 60,916\text{rad/s}$$

Alors :

$$C = \frac{150}{60.916}$$

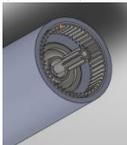
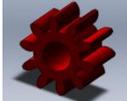
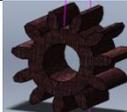
$$C \approx 2,46\text{N.m}$$

#### 4.5.2 Des engrenages:

Pour transformé le mouvement de moteur jusqu'à le tige filtée on a utilisé un système des engrenages.

**Tableau 4.4 : caractéristiques des engrenages.**

	Les engrenages	Nombre des dents	Diamètre primitif	Le module	La vitesse de rotation N	Le couple
A	Pignon de moteur	Z1=10	D=9.1mm	m=0.9	N=582tr/min	C=8.82Nm

	(soleil) 					
B	Les 3 satellites 	Z2=18	D=20.6mm	m=1.125	N=194tr/min	C=18Nm
C		Z3=10	D=18.3mm	m=2	N=349.2tr/min	C=119N.m
D		Z4=33	D=50.7mm	m=1.5	N=105.82tr/min	C=41.5N.m
E		Z5=33	D=50.7mm	m=1.5	N=105.82tr/min	C=41.5N.m
F		Z6=11	D=26mm	m=2.5	N=105.82tr/min	C=228N.m
G		Z7=66	D=115mm	m=1.75	N=18tr/min	C=75N.m

Matière d'engrangement et G/pG (34 c lo traité).

### 4.5.2.1 Application numérique :

On peut calculer la vitesse de rotation des engrenages par la relation suivant :

$$r = \frac{N2}{N1} = \frac{D1}{D2} = \frac{z1}{z2} \quad (\text{Eq.4.6})$$

Avec :  $r$  : le rapport de transmission.

$N$  : La vitesse de rotation de l'engrenage.

$D$  : Diamètre de primitif.

$z$  : Le nombre des dents.

Alors :

$$\frac{N2}{N1} = \frac{z1}{z2}$$

Avec :  $N2$  : la vitesse de rotation de sortie.

$N1$  : La vitesse de rotation de l'entrée. (La vitesse de rotation de moteur)

$z1$  : Le nombre des dents de l'engrenage donneur.

$z2$  : Le nombre des dents de l'engrenage récepteur.

- Calculer la vitesse de rotation des trois satellites :

$$N2 = \frac{N1}{3}$$

$$N2 = \frac{582}{3}$$

$$N2 = 194tr/min$$



**Figure 4.13 : le satellite (élément dans la transmission planétaire).**

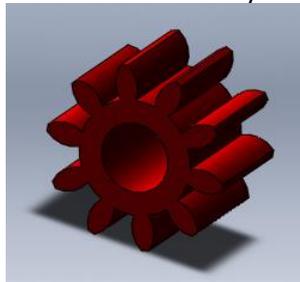
- Calculer la vitesse de rotation de l'engrenage  $Z_3=10$  dents :

$$\frac{N_3}{N_2} = \frac{Z_2}{Z_1}$$

$$N_3 = \frac{N_2 \times Z_2}{Z_1}$$

$$N_3 = \frac{194 \times 18}{10}$$

$$N_3 = 349.2 \text{tr/min}$$



**Figure 4.14 : engrenage du nombre des dents 10.**

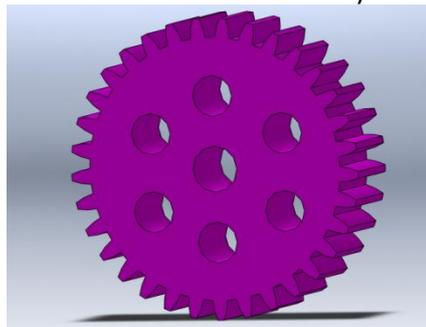
- Calculer la vitesse de rotation de l'engrenage  $Z_4=33$  dents :

$$\frac{N_4}{N_3} = \frac{Z_3}{Z_4}$$

$$N_4 = \frac{N_3 \times Z_3}{Z_4}$$

$$N_4 = \frac{349.2 \times 10}{33}$$

$$N_4 = 105.82 \text{tr/min}$$



**Figure 4.15: engrenage du nombre des dents 33.**

- Calculer la vitesse de rotation de l'engrenage  $Z_5=33$  dents :

$$\frac{N_5}{N_4} = \frac{Z_4}{Z_5}$$

$$N_5 = \frac{N_4 \times Z_4}{Z_5}$$

$$N_5 = \frac{105.82 \times 33}{33}$$

$$N_5 = 105.82 \text{tr/min}$$

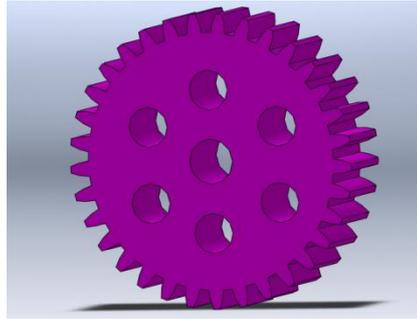


Figure 4.16 : engrenage du nombre des dents 33.

- Calculer la vitesse de rotation de l'engrenage  $Z_6=11$  dents :  
L'engrenage  $Z_5$  et  $Z_6$  ils ont le même axe de rotation alors la même vitesse de rotation.

$$N_6 = 105.82 \text{tr/min}$$

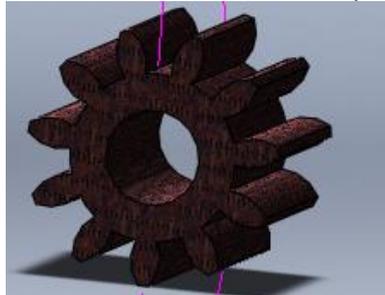


Figure 4.17: engrenage du nombre des dents 11 (la petite poulie de la courroie).

#### 4.5.2.2 Courroies crantées (ou synchrones) :

Par fois appelée courroie dentée, est une courroie dont la forme permet qu'elle engrène sans frottement avec un galet dont les dents s'adaptent à celle de la courroie.

La fonction de la courroie synchrone est d'assurer une transmission sans glissement (comme la chaîne ou les engrenages). Son utilisation la plus courante est la courroie de distribution en remplacement d'une transmission par chaîne ou par engrenages qui nécessite une lubrification permanente.

Contrairement aux autres courroies, elles supportent bien les basses vitesses et exigent une tension initiale plus faible.

#### 4.6 Etude de la conception d'une courroie crantée :

##### 4.6.1 Les caractéristique du les deux poulies :

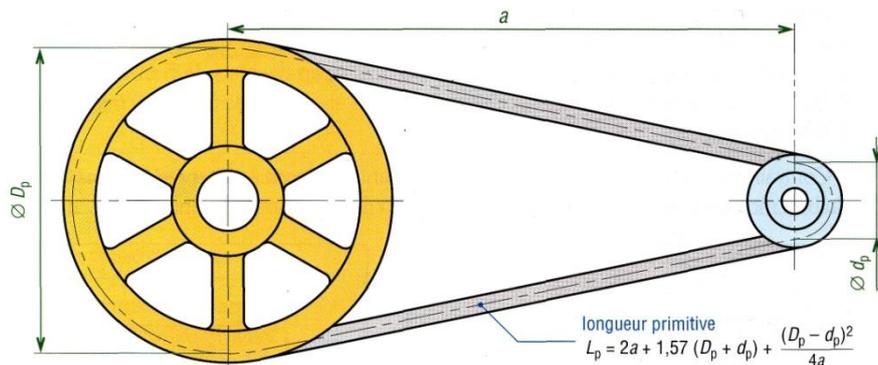


Figure 4.18: Ligne primitive d'une courroie crantée.

Tableau 4.5 : Les caractéristiques des poulies.

La poulie	Nombre des dents	Diamètre (mm)	Le module	La vitesse de rotation (tr/min)	Le couple (N.m)
La petite poulie	Z=11	dp=26mm	2.5	105.82 tr/min	228N.m
La grande poulie	Z=66	Dp=115mm	1.75	18tr/min	75N.m

## 4.6.2 Les caractéristiques de courroie :

### 4.6.2.1 Le rapport de transmission de courroie :

On peut calculer le rapport de transmission à partir de la relation suivant :

$$r = \frac{Zd}{ZD} = \frac{dp}{Dp} = \frac{ND}{Nd} = \frac{Cd}{CD} \quad (\text{Eq.4.7})$$

Avec : ND : la vitesse de rotation de la grande poulie.

Nd : la vitesse de rotation de la petite poulie.

dp : diamètre primitif de la petite poulie.

Dp : diamètre primitif de la grande poulie.

Zd : nombre de dents de la petite poulie.

ZD : nombre de dents de la grande poulie.

Cd : le couple de la petite poulie.

CD : le couple de la grande poulie.

- Application numérique :

$$r = \frac{Zd}{ZD} = \frac{11}{66} = 0,16$$

$$r = 0,16$$

### 4.6.2.2 Matériaux des courroies :

- **Cuir** (auparavant) :
  - Sensible aux conditions d'opération
  - Exemple moulin à scie ou Scie horse power
- **Composites cuir-perlon, cuir-nylon, etc.**
  - Grande durabilité
  - Vitesses petites et moyennes
- **Tissus caoutchoutés** :
  - Fibres de coton, nylon ou autres imprégnées de caoutchouc, augmentent le coefficient de friction.
  - Disponible en rouleaux, il faut relier par un joint (chauffé et meulé)
- **Caoutchoucs ou élastomères renforcés** :
  - PVC, uréthane, nylon avec les renforts : fibres de verre ou de carbone, acier :

- P = 30 kW/cm de largeur (100 hp/po), V = 20 m/s (40 000 tpm)
- Courroies sans fin ou en rouleaux

**4.6.2.3 La longueur de courroie :**

On peut le calculer par la relation suivant :

$$L = 2a + 1.57(Dp + dp) + \frac{(Dp-dp)^2}{4a} \quad (\text{Eq.4.8})$$

Avec : L : la longueur de courroie en (mm).

a : l'entraxe (la distance entre les centres des poulies en mm).

Dp : diamètre primitif de la grande poulie.

dp : diamètre primitif de la petite poulie.

- Application numérique :

$$L = 2 \times 310 + 1,57(115 + 26) + \frac{(115-26)^2}{4 \times 310}$$

$$L = 847,78mm$$

**4.6.2.4 Puissance de service :**

On peut le calculer par la relation suivant :

$$Ps = P.Ks \quad (\text{Eq.4.9})$$

Avec : P : la puissance réelle à transmettre (Watt).

Ks : coefficient de service (en peut le déterminer à partir de tableau 4.5)

**Tableau 4.6 : Les valeurs du coefficient de service Ks**

	Service léger 0à6 h/jour	Service normal 6à16 h/jour	Service dur 16à24 h/jour	Très dur en continue
Transmission uniforme sans à- coups.	1,0	1,2	1,4	1,6
Transmission avec légers à- coups et chocs modérés.	1,1	1,3	1,5	1,8
Transmission à- coups et chocs élevés.	1,2	1,4	1,7	2,1

- Application numérique :

La valeur de la puissance réelle à transmettre P=388W, et le poste à souder travailler 6à16 h/jour et la transmission est avec légers à-coups et chocs modérés.

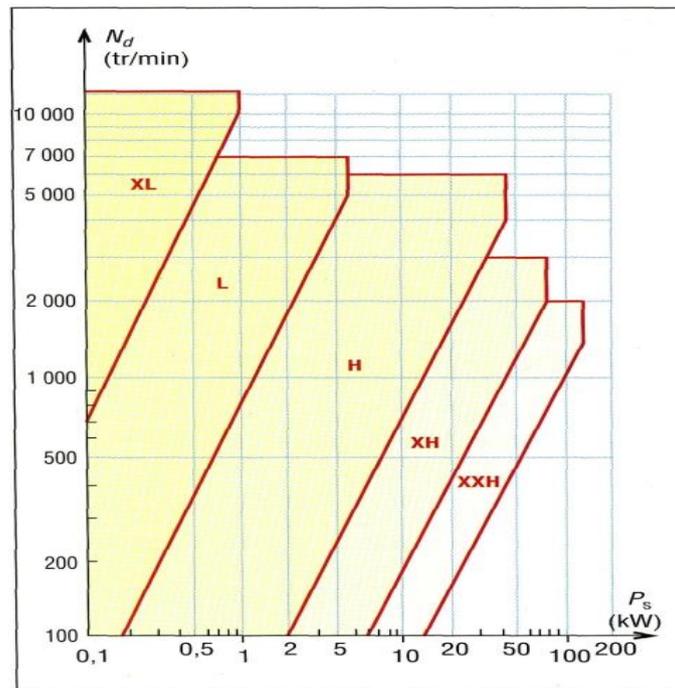
Alors :

$$P = 388 \times 1.3$$

$$P = 504,4W = 0,5044KW$$

**4.6.2.5 Détermination de pas :**

A partir du type de la courroie par l'intermédiaire du graphe 4.1, à partir de Ps et Nd la vitesse de la petite poulie et après on peut le déterminer la valeur de pas en mm à partir de tableau 4



Graph 4.1 : (gammes) puissances transmissibles des courroies crantées.

Tableau 4.7 : Les valeurs de pas à partir ce type.

Type	Pas p en (mm)
XL (extra légère)	5,08
L (légères)	9,525
H (lourdes)	12,70
XH (extra lourde)	22,23
XXH (extra extra renforcée)	31,75

Alors à partir de le graphe 4. Et le tableau 4. Le pas égale à p=12,70mm.

**4.6.2.6 Vitesse linéaire V de la courroie :**

$$V = \frac{Nd \times p \times Zd}{60} \quad (\text{Eq.4.10})$$

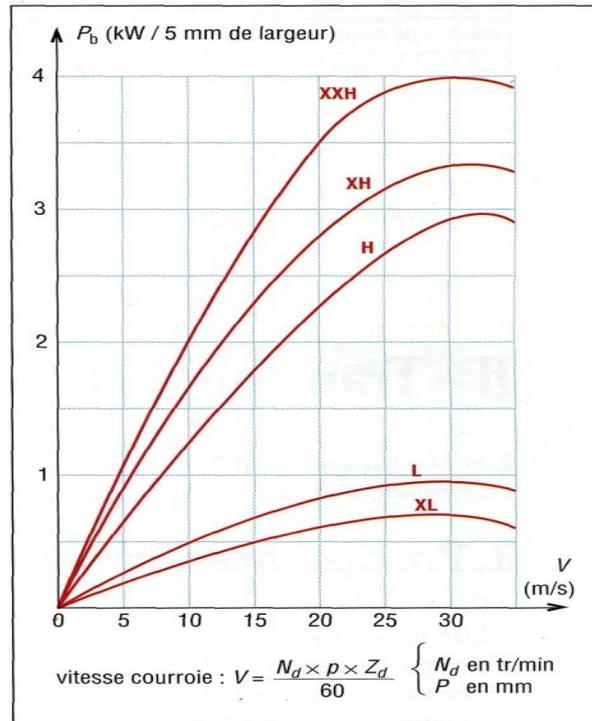
- Application numérique :

$$V = \frac{105.82 \times 12,70 \times 11}{60}$$

$$V = 24.638 \text{ m/s}$$

**4.6.2.7 Puissance de base Pb de la courroie :**

On peut le déterminer à partir le graphe suivant :



Graph 4.2 : puissance de base des courroies crantées.

Alors à partir de le graphe la puissance de bas de courroie égale  $P_b=2,7$  (KW/5mm de largeur).

**4.6.2.8 Choix de largeur de courroie :**

On peut le choisir la largeur de courroie sachant que :

$$P_b \cdot K_b \geq P_s$$

$$2,7 \times 7,9 \geq 0.5044$$

$$21,33 \geq 0.5044$$

Alors il est confirmé.

Avec :  $K_b$  : coefficient correcteur fonction de la largeur des courroies crantée (tableau ce dessous).

**Tableau 4.8 : Coefficient correcteur  $K_b$  fonction de la largeur des courroies crantée.**

$K_b$	0,84	1,10	1,45	2,20	3,6	5,1	7,9	10,9	17,1	24,2	31,2
b (mm)	6,4	7,9	9,5	12,7	19,1	25,4	38,1	50,8	76,2	101,6	127,0
Type de courroie	XL	XL	XL	L	L et H	L et H	H	H, XH et XXH	H, XH et XXH	H, XH et XXH	XXH

Alors :  $K_b=7,9$ , et la largeur de courroie  $b_m=25,4$ mm.

### 4.7 La fixation de système :

Pour éviter l'encombrement dans l'intérieur du poste à souder on a fixé le système au dessus de le poste.

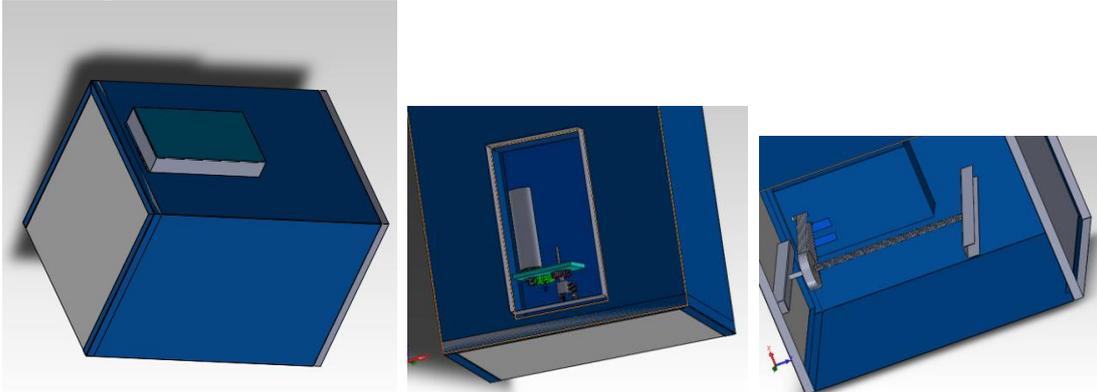


Figure4.19 : La fixation de système.

### 4.8 Notre travail :

Dans un première temps nous avons durent notre présente a la société 2MP nous avons travaillé sur l'intégration de la produit 2MP qui est le moteur central au poste a souder pour l'automatisé les rideaux métallique et coute 18000 DA est contient un système de transmission par engrenage dans un priée temps on remodeliez le moteur et les différents pignons.

Afin de calculer les puissances et les vitesses de rotation on a procèdes aux 2 méthodes.

Méthode1 : calcule inverse par calcule la vitesse de rotation a partir e la vitesse de sortie.

Méthode 2 : déterminer la vitesse de rotation par un instrument de mesure spécial chez l'électricien.

Calcule inverse en commande avec les donnè de moteur central intégré 2MP ci dessue :



Figure4.20 : moteur central intégré.

Tableau 4.9 : moteur central intégré R.

Modele	Intégré R		
	2MP200/60-120R	2MP200/60-150R	2MP200/60-180R
Couple (N,M)	120	150	180
Soulèvement (Kg)	120	160	200
Axe (mm)	60	60	60
Flange (mm)	200	200	200
Tours minute	10	10	10
Puissance (W)	460	520	580
Intensité (A)	2	2,3	2,6
Poids (kg)	8,6	9,1	10,5

De couple du moteur qui est a 180 N/m a ca vitesse de rotation qui est de 61 tr/min  
 Nous avons avoir ces donné

Avant la détermination de la valeur de la vitesse de rotation de moteur par un instrument de mesure spéciale, nous savons adopter une autre méthode pour le calculer, par utiliser la vitesse de sortie pour trouver la vitesse d'entrée (la vitesse de moteur). La vitesse de sortir c la vitesse d'engrenage  $Z=33$  dents,  $N=61$ tr/min

- Calculer la vitesse de rotation de l'engrenage  $Z=33$  :

Le rapport de transmission :  $r = \frac{z1}{z2} = \frac{33}{33} = 1$

On a la relation suivant :  $\frac{N2}{N1} = \frac{z1}{z2}$

Alors :  $N = \frac{N2 \times z2}{z1} = 60$ tr/min

- Calculer la vitesse de rotation de l'engrenage  $Z=10$ dents :

Le rapport de transmission :  $r = \frac{z1}{z2} = \frac{10}{33} = 0.3$

$$N = \frac{N2 \times z2}{z1} = \frac{60 \times 33}{10} = 198 \text{tr/min}$$

- La vitesse de rotation de chaque satellite : la vitesse de rotation de l'engrenage  $Z=10$ dents dévissé sur 3 : alors  $N=200/3=66.67$ tr/min
- La vitesse de rotation du pignon de moteur :

$$Ns = \frac{66.67 \times 18}{9} = 134 \text{tr/min} = \frac{N2 \times z2}{zS} =$$

Est cette méthode nous paramètre de calculer la vitesse de moteur nécessaire pour faire tourner la tige filtée.

Mais aussi par une deuxième vérification nous nous sommes déplacé chez un électricien qui a procédé au calcul et la vitesse de rotation de moteur initial au point A et nous avons obtenu la valeur suivant 582 tr/min et la puissance 150N.

Lors de notre présence et durant les premier mois de notre stage et afin de mieux connaître les poste a souder et leurs composition nous avons démonté différent poste a souder SIDAL ainsi qu'une copie du poste a souder TENES 160 A et nous avons établit un rapport de comparaison.



Figure4.21 : poste a souder (Tenes 160A et AC160).

Le Rapport de comparaison :

La comparaison entre deux postes a soudé MMA : (AC160 original/AC160 copie)

- Pour la face avant : la matière de la porte de lame n'est pas la même (l'original est lisse et plus rigide par rapport à la copie)  
Les lames et les plaques en cuivre dans les deux postes ce n'est pas fabriqué avec la même qualité de matière et l'épaisseur de plaque originale est supérieure à la copie  
Les vis de la face avant GB festiner de l'origine 5\*20 et la copie 5\*25  
Les vis de fixation 4b.5b dans l'original est 5\*20 dans la copie
- Pour le bloc intérieur : mauvaise qualité de cuivre des files de la poste AC 160 donc la forme c'est pas la même (pour le TENES 160 A le câble de cuivre par contre pour le AC 160 le câble est composé de plusieurs fil millimétré ce qui fait augmenter la résistance de la copie elle est supérieure par rapport à l'original donc la conductivité décroissent et la chaleur des câbles croissent donc les câbles capable de fondre et endommager le transfo.

La tôle magnétique des deux postes est plusieurs points différents :

1. L'Épaisseur (l'original 77, la copie 74) donc il y a une différence de capacité
2. La soudure (l'original soudage Professionnel et bien fait, la copie mauvaise finition)
3. Veine dans l'original

Dans la copie il y a deux plaques fixées dans la tôle magnétique pour le fonctionnement Just pour équilibrer le poids avec l'original (27Kg)

La matière de la tôle magnétique n'est pas la même donc pas la même capacité et poids

L'épaisseur du support de la tôle magnétique de TENES 160A est plus épaisse est résiste mieux

La plaque du guide de bobine est rigide dans la copie par rapport à l'original ce qui fait qu'ils sont de différente matière

- La carcasse : le support de page original elle est solide par rapport à la copie donc elle est portée plus du poids  
Les pieds de la copie ils sont plus rigide par rapport à l'original donc capable de cassé facilement

L'épaisseur de tube de page de l'original 2 mm et pour la copie 1mm.

#### **4.9 Conclusion :**

À partir de cette amélioration le soudage par le poste à souder sidex 340M il devient plus facile et plus rapide pour utiliser, et elle doit faciliter le travail pour les Parsons qui ne sont pas professionnelle dans le domaine de soudage.

Et elle va faciliter le travail spécialement si le soudeur est blaisé et il ne pouvait pas bouger son bras pour faire tourner le vis filtrée manuellement pour réglé l'ampérage de le poste à souder, alors grâce à notre amélioration il peut le tourner facilement avec un télécommande.

- **Conclusion général :**

Notre travail est centré sur le poste à souder MMA, et dans notre projet nous avons abordé à sa définition et nous avons mentionné ses procédés, caractéristiques et leurs composants.

Et pour travail sur le poste à souder et faire souder une pièce vous devez connaître le procédé à suivre, ce qui permet une soudure sans défaut.

Le premier défaut que vous rencontrez est le réglage d'ampérage, dans le poste à souder Sidex 340M (MMA) pour régler l'ampérage on doit tourner un bras placé sur la carcasse du poste et cela fonctionne pour tourner la vis de manœuvre et cette rotation est d'une façon manuelle, dans notre travail nous avons la traverser vers une façon semi-automatique.

Est pour améliorer ce parti et facilité l'opération du réglage du poste à souder, on a adopté un système avec un moteur, des engrenages et une courroie crantée. Le moteur doit tourner les engrenages qui à la fin la courroie tourner la vis de manœuvre va tourne.

Si nous avons eu de la chance, nous aurions continué l'amélioration de travail jusqu'à d'une façon automatique, par ajouté un instrument de mesure pour mesuré l'épaisseur de la pièce à souder (par exemple un pied à coulisse), et ce connecté avec un pignon crémaillère qui est encore connecté avec un moteur qui transforme le mouvement du le vis de manœuvre par un système des engrenages et un courroie crantée, quand le vis de manœuvre ce tourne la valeur d'ampérage soit réglé à la valeur qui est correspondant à l'épaisseur de la pièce à souder qui est déjà programmé pour chaque épaisseur est parallèle à la valeur de l'ampérage correspondant.

Par exemple on a une pièce à souder d'épaisseur 3mm le moteur se transmet le mouvement à le vis de manœuvre pour tourné jusqu'à la valeur d'ampérage 60Ampère par un vitesse de rotation de 100tr/min , Et pour faire arrêté le moteur quand il est arrivé à la vitesse de rotation correspondant à la valeur d'ampérage qui on doit utilisé, on ajoute une fin de course.

## Bibliographie

1. <https://www.btb.termiumplus.gc.ca/tpv2alpha/alpha-fra.html?lang=fra&i=1&index=alt&srchtxt=SOUDAGE%20ELECTROGAZ> .
2. <https://www.soudeurs.com/site/qu-est-ce-que-le-soudage-par-explosion-procede-441-290/>.
3. [www.badycote.com](http://www.badycote.com).
4. <https://www.bolle-safety.fr/page/soudage>.
5. <https://www.soudeur.com>
6. [www.amadamiyachi.eu/fr/base-de-connaissances/soudage-par-resistance](http://www.amadamiyachi.eu/fr/base-de-connaissances/soudage-par-resistance).
7. <https://www.usinenouvelle.com/expo/guides-d-achat/machines-de-soudage-87>.
8. [bit.bs.be/FR/projet/solidiMMA](http://bit.bs.be/FR/projet/solidiMMA).
9. [https://shop.hpceurope.com/docFichesTechniques/EngrenagesDroit\\_CalculDuCouple.pdf](https://shop.hpceurope.com/docFichesTechniques/EngrenagesDroit_CalculDuCouple.pdf).
10. <https://poste-a-souder.ooreka.fr/comprendre/soudure-a-l-arc>.
11. [https://www.soudeurs.com/panne-et-depannage-de-postes-souder/19628-depannage-d-un-poste-elektrotig-200.html?fbclid=IwAR3u1m7hj5OOF9qkQ8Mpaz0FyE1GxOUV2lwuQxBLJN3-TlgjDaC\\_9yaZXGU\\$](https://www.soudeurs.com/panne-et-depannage-de-postes-souder/19628-depannage-d-un-poste-elektrotig-200.html?fbclid=IwAR3u1m7hj5OOF9qkQ8Mpaz0FyE1GxOUV2lwuQxBLJN3-TlgjDaC_9yaZXGU$).
12. <https://www.automation-sense.com/blog/electronique/l-amplificateur-operationnel-definition-et-montages.htm.l>
13. <https://www.trenois.com/outillage-electroportatif/poste-mma-electrode-enrobee/poste-souder-larc-electrique-mma-categorie-225527>.
14. <https://www.usocome.com/produits/motoreducteurs/motoreducteurs.html>.
15. [http://www.zpag.net/Tecnologies\\_Industrielles/transmission\\_courroies.htm](http://www.zpag.net/Tecnologies_Industrielles/transmission_courroies.htm).
16. <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.editions-delagrave.fr%2Flivre%2F9782206102535-memotech-le-soudage-donnees-pratiques-pour-lapprentissage-2018-ouvrage-> .
17. Memotech Le soudage : données pratiques pour l'apprentissage (livre).
18. Procédé de soudage (livre)..
19. [http://copperalliance.fr/uploads/2018/03/02\\_procedes.pdf](http://copperalliance.fr/uploads/2018/03/02_procedes.pdf).
20. [https://www.researchgate.net/publication/337088999\\_4\\_LE\\_SOUDAGE\\_41\\_Generalites](https://www.researchgate.net/publication/337088999_4_LE_SOUDAGE_41_Generalites).
21. <https://www.cours-et-exercices.com/2016/03/cours-des-engrenages.html>.
22. [https://www.academia.edu/25326725/PRINCIPAUX\\_PROC%C3%A9D%C3%A9S\\_DE\\_SOUDAGE](https://www.academia.edu/25326725/PRINCIPAUX_PROC%C3%A9D%C3%A9S_DE_SOUDAGE).
23. <http://dSPACE.univ-tlemcen.dz/bitstream/112/13968/1/Ms.GM.Belabed.pdf>.
24. Soudage procédé PDF.

25. [Esab.fr/france.banelux/FR](http://Esab.fr/france.banelux/FR).

26. <https://gncs.fr/contrôles/ressuage/>.

27. « Etude comparative des différents procédés de soudage sur l'effet de fissuration a froid dans la ZAT » mémoire de master université de Tlemcen.