



MEMOIRE DE PROJET DE FIN D'ETUDES

Pour l'Obtention du

**Diplôme de Master Sciences et Techniques
Spécialité : Génie Mécanique et Productique**

Conception d'une machine de soudage semi-automatique

Présenté par :

***DOHMI Btissam
EL AOUFI Souad***

Encadré par :

- EL MAJDOUBI Mohammed, Professeur département Génie Mécanique, FST Fès.***
- BOURASS Hassan, Encadrant de la société Zinelec filiale du Groupe Zine.***

Effectué à : la société Zinelec filiale du Groupe Zine

Soutenu le : 16/06/2016

Le jury :

- Mr. Abdellah EL Barkany, Faculté Des Sciences Et Techniques**
- Mr. Abdelhamid Touache, Faculté Des Sciences Et Techniques**

Année Universitaire : 2015-2016



Glossaire

- **MIG**:Metal Inert Gas.
- **SAFE**: Sequential Analysis of Functional Elements.
- **QFD** :QualityFunctionDeployment.
- **SARL** : Société à Responsabilité Limitée.
- **THT** : Très Haute Tension.
- **HT** : Haute Tension.
- **MT** : Moyenne Tension.
- **ONEE** : Office Nationale de l'Electricité et de l'Eau.
- **ONEP** : Office Nationale de l'Eau Potable.
- **PDP** : Processus de Développement Du Produit.
- **ISO** : International Standardisation Organisation.
- **AFNOR** : Association Française de Normalisation.



Sommaire

Glossaire	2
Liste des figures	5
Liste des tableaux	6
Introduction générale	7
Chapitre I : Situation du projet	7
Introduction :	8
I. Présentation du groupe ZINE:	8
1. Société ZINCO:.....	8
2. Société Novelli Pumps :.....	9
3. Société ZINELEC :	9
4. Fiche signalétique de Zinelec :.....	12
5. Organigramme de Zinelec :.....	12
II. Problématique :	15
III.Soudage MIG :	16
Conclusion :	17
Chapitre II : Processus de développement de produit	17
Introduction :	18
I. Importance du Processus Développement d'un Produit (PDP) :	18
II.Les phases du PDP :	19
III.L'étude conceptuelle :	22
1. L'analyse fonctionnelle :.....	22
2. Le déploiement de la fonction qualité (QFD):.....	24
3. Génération des concepts :	26
4. Choix du concept :.....	27
IV. Prototypage et étude de faisabilité :	27
Conclusion :	30
Chapitre III : Etude du projet	32
Introduction :	32
I. Définition du projet et planification :	32



1. Former l'équipe du projet :	32
2. Définir le problème:.....	33
II. Analyse fonctionnelle :	33
1. Rechercher les fonctions :.....	33
2. Ordonner les fonctions :.....	37
3. Caractériser les fonctions :.....	38
4. Hiérarchiser les fonctions :.....	38
III. Génération et choix du concept :	40
1. Matrice morphologique :.....	41
2. Maison de la qualité (QFD):.....	43
3. Choix du concept :.....	44
Conclusion :	45
Chapitre IV : Prototype numérique et Etude de faisabilité	48
Introduction :	48
I. Prototype numérique sur Solidworks :	48
II. Calcul des structures dans le cas statique :	52
1. Contexte et objectifs :.....	52
2. Données du problème :.....	53
3. Résultats anticipés :.....	55
4. Planification du modèle numérique :.....	55
5. Résultats numériques :.....	57
III. Reconception de la structure :	59
1. La nouvelle conception du support :.....	59
2. Calcul de structure statique de la nouvelle structure :.....	59
1.1. Contexte et objectifs :.....	60
1.2. Données du problème :.....	60
1.3. Résultats anticipés :.....	61
1.4. Planification du modèle numérique :.....	61
1.5. Résultats numériques :.....	63
IV. Processus de fabrication de la machine de soudage semi-automatique:	66
1. Table des besoins :.....	66
2. Gammes de fabrication :.....	68
3. Etude économique :.....	70
Conclusion	72
Références bibliographiques	73



Liste des figures

Figure 1 : Les sociétés du groupe Zine	8
Figure 2 : automatisation des procédés industriels	11
Figure 3 : ouvrages hydrauliques et industriels	11
Figure 4 : transformation THT/HT/MT	12
Figure 5 : organigramme de la société Zinelec	12
Figure 6 : principe de fonctionnement du soudage MIG.	17
Figure 7 : Rapport cout-temps de conception	18
Figure 8 : cout e modification au cours du temps	19
Figure 9 : Etapes du PDP.	20
Figure 10 : Etapes de l'étude conceptuelle.	21
Figure 11 : les différentes parties de la maison de la qualité	26
Figure 12 : algorithme du calcul des structures	30
Figure 13 : équipe du projet	32
Figure 14 : définition du problème et des inter-acteurs	33
Figure 15 : examen d'environnement.....	34
Figure 16 : arbre fonctionnelle	37
Figure 17 : vue de face du concept	49
Figure 18 : vue de face du concept	49
Figure 19 : support étudié	52
Figure 20 : dimensions du support.....	53
Figure 21 : propriétés de la section	53
Figure 22 : parties du modèle.....	55
Figure 23 : modèle géométrique	56
Figure 24 : conditions aux frontières	57
Figure 25 : maillage du modèle.....	57
Figure 26 : contraintes trouvées	58
Figure 27 : zone de concentration de contraintes.....	58
Figure 28 : la nouvelle structure	59
Figure 29 : dimensions du support et propriété de la section.....	60
Figure 30 : modèle géométrique	62
Figure 31 : conditions aux frontières	63
Figure 32 : maillage du modèle.....	64
Figure 33 : contraintes trouvés.....	64
Figure 34 : courbe des facteurs de sécurité	65
Figure 35 : propriétés standardisés des pignons.....	67
Figure 36 : caractéristiques des profilés UPN.....	68



Figure 37 : Glissière 68

Liste des tableaux

Tableau 1 : fiche signalétique de Zinelec.....	12
Tableau 2 : fonctions trouvées par la recherche intuitive	33
Tableau 3 : fonctions trouvées par l'examen de l'environnement	35
Tableau 4 : la méthode SAFE	36
Tableau 5 : fonctions trouvées par la méthode SAFE.....	37
Tableau 6 : critères-niveau-flexibilité	38
Tableau 7 : hiérarchisation des fonctions.....	39
Tableau 8 : matrice morphologique	41
Tableau 9 : les concepts générés par la matrice morphologique.....	42
Tableau 10 : première matrice de Pugh	44
Tableau 11 : deuxième matrice de Pugh	45
Tableau 12 : troisième matrice de Pugh.....	46
Tableau 13: propriétés mécaniques du S235.....	54
Tableau 14 : propriétés mécaniques des Aciers de construction	60
Tableau 15 : facteur de sécurité des matériaux utilisés.....	65
Tableau 16 : table des besoins.....	66
Tableau 17 : gamme de fabrication du sol	68
Tableau 18 : gamme de fabrication du porte vis sans fin.....	69
Tableau 19 : tableau des couts	71



Introduction générale

La construction mécanique regroupe l'ensemble des disciplines visant à transformer toutes les formes de métaux en pièces utiles pour l'industrie, elle représente une phase importante pour la réalisation des constructions métalliques (fontaines, cage, armoire électrique, ...).

Les exigences du cout, temps et qualité poussent les concepteurs à rendre le processus de fabrication automatique ou semi-automatique selon le besoin, le cout et le profit.

La société Zinelec, où nous avons effectué notre stage, ne se trouve pas exclue de cette vision, en évoluant et améliorant ses processus de fabrication.

L'une des opérations les plus importantes à la société est le soudage MIG, la majorité des pièces ont besoin de soudage surtout les pièces cylindriques de grandes longueurs et diamètres qui représentent une difficulté majeure lors du soudage.

C'est dans cette optique que nous sommes chargées de rendre le processus de soudage MIG des pièces cylindriques semi-automatique.

Pendant la durée de notre stage, nous avons entamé notre étude en utilisant dans un premier temps l'analyse fonctionnelle afin de tirer les fonctions du système à partir du besoin du client, puis la maison de la qualité pour sélectionner les caractéristiques les plus importantes pour la satisfaction du client, la matrice morphologique nous permet de générer le maximum de concept, puis les entrer dans la matrice de Pugh afin de choisir le concept optimum qui répond aux besoins du client en respectant les normes et les exigences.

Quand le bon concept est choisi nous avons effectué un calcul de structure pour valider le choix du matériau, les dimensions et les efforts appliqués au système.

Le présent rapport est constitué de trois chapitres, Le premier est réservé à la présentation de l'organisme d'accueil et la problématique de notre sujet, le deuxième a pour objectif de présenter un rappel sur le processus de développement du produit, ensuite le troisième contient les étapes de l'étude et la solution proposée. Finalement le quatrième chapitre présente le prototype numérique sur Solidworks ainsi que l'étude de faisabilité.

Chapitre I : Situation du projet



Introduction :

Lors du présent chapitre nous sommes intéressés à présenter l'organisme d'accueil : Groupe Zine inclut trois filiale : Zinco, NovelliPumps et Zinelec où nous avons effectué notre stage.

Le chapitre se construit de deux parties l'une est consacrée à la présentation de la société qui inclut son historique et ses secteurs d'activités. L'autre partie vise l'explication la problématique ainsi que le procédé de souage MIG mis en question.

I. Présentation du groupe ZINE:

GROUPE ZINE est une entreprise familiale, fondée par **Mr FOUAD ZINE FILALI** et **Mr MOSTAFA ZINE FILALI** en 1984. Son siège social ainsi que ses unités de fabrication sont situées au Quartier Industriel Ben soudaFès.

Ce groupe est composé de trois sociétés :

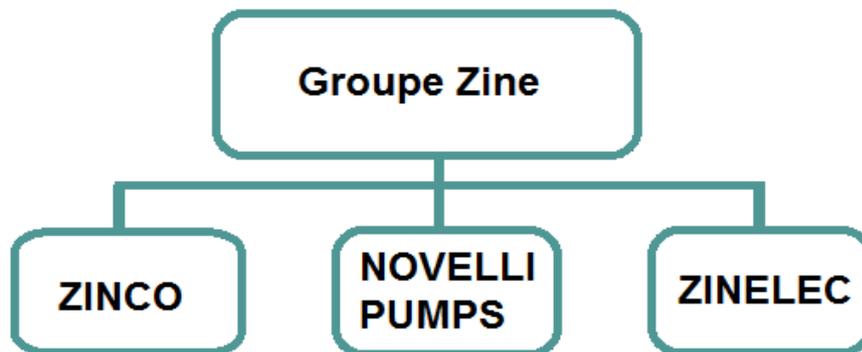


Figure 1 : Les sociétés du groupe Zine

1. Société ZINCO:

Créée au Maroc en 1990, ZINCO est une société à responsabilité limitée (SARL), son capital est de 6000000 DH et son effectif est de 86 personnes.

Son unité fabrication est d'une surface de 11000 m², développée comme suit :

- Ateliers : 1500 m² ;
- Dépôts : 4500 m² ;
- Bureaux : 500m².

Activités :

ZINCO intervient dans les activités suivantes :



- Réalisation des ouvrages en génie civil industriel (réservoirs surélevés et semi enterrés, stations de pompage, bâtiment, annexes et stations de traitement) ;
- Fabrication et commercialisation des poteaux béton et produits d'accompagnement en béton sous la marque ZINCO.

2. Société NovelliPumps :

NOVELLI PUMPS, dirigé par Monsieur **Benmimoun Abdallah**, avait comme nom PANELLI Maroc « Ce changement de nom symbolise les ambitions de cette jeune entreprise à devenir un leader mondial dans la fabrication d'électropompes immergées et surfaciques ». Bénéficiant d'un transfert de technologie d'une société européenne, elle a su se capitaliser sur la valeur de ses compétences pour donner à ses produits un véritable label de qualité internationale. Elle maîtrise tous les processus de réalisation et de la conception aux essais hydro-électrique des pompes et garantie à ses clients une totale satisfaction dans la gestion d'une ressource précieuse : l'eau.

Son **siège social** ainsi que ses **unités de fabrication** sont d'une surface de 2000m², développée comme suit :

- Ateliers : 800 m² ;
- Dépôts : 1000 m² ;
- Bureaux : 200m².

Activités :

NOVELLI PUMPS intervient dans les activités suivantes.

- Fabrication d'électropompes immergées et de surface ;
- Fabrication des équipements hydromécaniques ;
- Réalisation d'ouvrages hydrauliques ;
- Equipement électriques.

3. Société ZINELEC :

ZINELEC est une société à responsabilité limitée (SARL), son capital est de 10000000 DH et son effectif est de 117 personnes.

Son **unité de fabrication** est d'une surface de 6500m², répartie en :



- Ateliers : 1500 m² ;
- Bureaux : 500 m² ;
- Dépôts : 450m².

Activités

ZINELEC intervient dans les activités suivantes :

- Travaux d'électrification, stations de pompage et de traitement d'eau ;
- Fabrication et commercialisation de polynômes et produits métalliques.

ZINELEC a été créée en 1984, est le leader au Maroc Dans le domaine de l'ingénierie hydraulique et électrique.

Les principaux clients sont :

- l'ONEE ;
- l'ONEP ;
- Et autres.

Dont les travaux effectués par ZINELEC sont :

- Éclairage public ;
- Fontainerie et effets d'eau ;
- Postes et ligne d'énergie électrique ;
- Automatismes et réseaux centralisés ;
- Réservoirs surélevés et semi-enterrés.

ZINELEC est Certifiée par ISO 9 001 versions 2000, il exécute tous ses ouvrages en respectant les processus de réalisation et des études à la mise en service. Partenaire de choix des projets structurants du Maroc pays, ZINELEC met en œuvre son savoir faire en s'appuyant sur des valeurs fondamentales : respect et maîtrise des plannings, conformité et qualité de réalisation, de l'optimisation des coûts.

Domaine expertise

ZINELEC a adopté une approche intégrée de réalisation de ses projets pour être capable de répondre de manière autonome et réactive aux exigences de ses clients. Pour cela ZINELEC est structurée en départements autour des différents métiers de l'entreprise.



Automatisme

- Systèmes de télégestion et de supervision.
- Automatisation et régulation des procédés industriels.



Figure 2 : automatisation des procédés industriels

Génie civil

- Ouvrages industriels
- Ouvrages hydrauliques



Figure 3 : ouvrages hydrauliques et industriels

Énergie et Électrique

- Lignes THT/ HT / MT.
- Portes de transformation THT/HT/MT.



Figure 4 : transformation THT/HT/MT

4. Fiche signalétique de Zinelec :

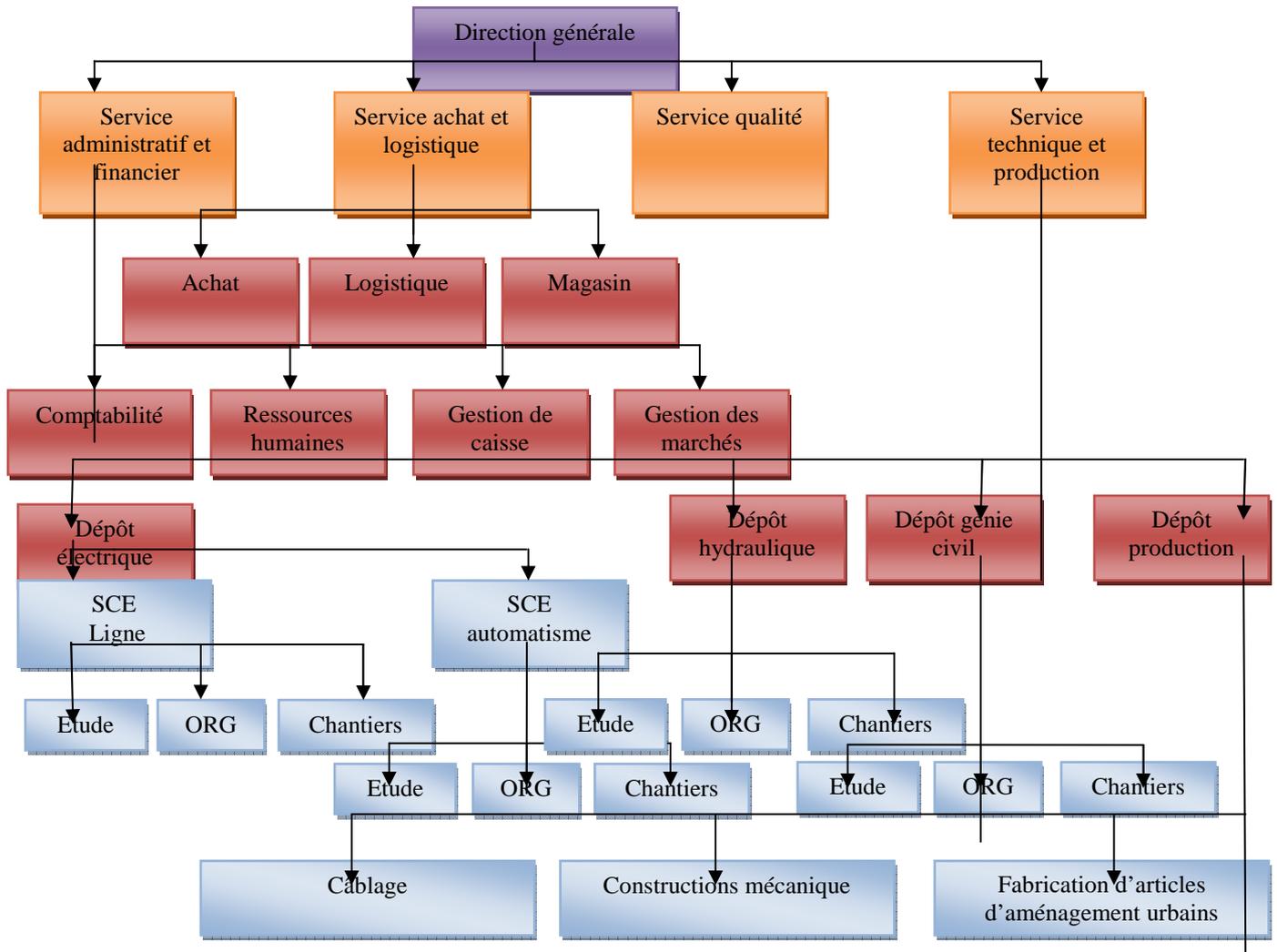
Tableau 1 : fiche signalétique de Zinelec

Zine ÉLECTRIQUE (ZINELEC)	
Organisme	
Date de création	Créée en 1984
Forme juridique	S.A.R.L.
Logo	
Siège social	32-33, Quartier Industriel Ben souda – Fès

5. Organigramme de Zinelec :

La société s'organise selon l'organigramme présenté sur la figure.

Nous effectuons notre stage au sien de l'atelier de construction métallique.



Pour contribuer aux conditions optimales de production et la qualité du produit de ZINELEC est structurée selon des niveaux hiérarchiques et fonctionnels comme illustre l'organigramme suivant

➤ **Bureau de méthodes :**

Il établit les processus de fabrication ainsi que les paramètres technique à respecter conformément au plan de la pièce. Les tâches réalisées par ce bureau sont :

- Etablissement de la gamme d'usinage (mode opération) ;



- Etablissement des plans des outillages de fabrication et de contrôle ainsi que les montages d'usinage et la définition des paramètres du processus ;
- Etablissement des fiches techniques : la modification de ces fiches entraîne l'édition d'une nouvelle version et la destruction de l'ancienne ;
- Vérification, à l'aide de la procédure AMDEC, de la production que toutes les phases de processus a été analysées par AMDEC ; en cas de manque il provoque une réunion de ce groupe.

➤ **Bureau d'études et de développements**

Il sert à étudier un mécanisme, à concevoir le fonctionnement, choisir les matériaux constitutifs. Il sert aussi à la réalisation des plans de nouveaux produits en partant de relevés dimensionnelles du produit existant. Cette étude se concrétise par l'exécution des dessins accompagnés de spécifications précises ne laissant place à aucune ambiguïté.

➤ **Service d'ordonnancement**

Il organise dans le temps le fonctionnement de l'atelier afin de respecter les délais fixés. En plus de l'organisation des tâches, ce service prend en main le suivi de la production et définit à partir des données recueillies les plans destinés à corriger les écarts éventuels pouvant amener au non-respect des programmes établis.

➤ **Service qualité**

C'est un service qui assure le bon fonctionnement grâce à ses caractéristiques qui lui donnent l'aptitude à satisfaire des besoins exprimés et implicites. Ces besoins peuvent évoluer avec le temps, ceci implique la révision périodique des exigences pour la qualité. Les besoins peuvent inclure, par exemple, des aspects de performances, de facilité d'emploi, de sûreté de fonctionnement, de sécurité, des aspects économiques et esthétiques.

➤ **Service contrôle qualité**

Ce service a pour rôle de contrôler, d'examiner, d'essayer, de passer au calibre une ou plusieurs caractéristiques d'un produit ou d'un service et de les comparer aux exigences spécifiées en vue d'établir leur conformité.

A chaque stade de fabrication des contrôles rigoureux de qualité et de conformité sont effectués sur chaque pièce. A chaque étape on doit avoir un feu vert pour continuer la production. Avant le



conditionnement des produits, un contrôle final unitaire est effectué sur l'ensemble de la production et portant sur la conformité exigée par les constructeurs.

➤ **Service production**

C'est un service qui s'occupe du positionnement réel dans le temps, des dates de début et de la fin des opérations (ou groupes d'opérations) afin de tenir les détails de fabrication. Ces états sont utilisés lors du lancement.

➤ **Service maintenance**

C'est l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou d'assurer un service déterminé.

Ils utilisent une maintenance préventive, corrective, et systématique. Ces différentes politiques de maintenance sont adoptées par le service et appliquées en fonction des situations qui peuvent se présenter.

➤ **L'atelier mécanique**

Il est chargé de réaliser les pièces unitaires d'après les dessins de définition que le BED et le BM fournissent et aussi les pièces demandées par le service maintenance.

➤ **Service de conditionnement et stockage**

Ce service s'occupe des travaux de conditionnement, d'emballage et de stockage final avant l'expédition chez le client.

➤ **Service ressources humaines**

Comme son nom l'indique, il est chargé de toutes les fonctions administratives et professionnelles de l'ensemble du personnel de l'usine.

II. Problématique :

Au sein de l'atelier de construction mécanique les opérateurs effectuent le soudage des pièces métalliques de différentes formes et dimensions. Ils trouvent des difficultés lors du soudage linéaire et circulaire des pièces cylindriques de façon manuelle.



D'où la nécessité de rendre le processus semi-automatique, afin de faciliter la tâche, gagner du temps et augmenter la qualité, tout en respectant les données du processus : forme de pièce, longueur, diamètre, épaisseur, matériau

Ce qui nous a permis de tirer nos contraintes de conception que nous devons respecter.

Contraintes de conception :

- ✓ Forme : cylindrique.
- ✓ Longueur : 5m max.
- ✓ Diamètre : 0,5 min - 1,5 max.

III. Soudage MIG :

Le soudage **MIG** est le type de soudure le plus utilisé en industrie, qui s'effectue sous un gaz de protection (Argon, Hélium), et se caractérise par l'apport continu de l'électrode.

La fusion des métaux est obtenue par l'énergie calorifique dégagée par un arc électrique qui éclate dans une atmosphère de protection entre un fil électrode fusible et les pièces à assembler.

Ce principe de "Fil fusible", aujourd'hui d'utilisation plus répandue que celui à l'électrode enrobée, offre une meilleure productivité car il permet un soudage semi-automatique ou robotisé avec ou sans protection gazeuse.

La bobine de fil fusible est placée dans un dévidoir motorisé automatique et le fil est déroulé du dévidoir à la sortie de la buse de la torche, dans la gaine guide-fil de la torche de soudage jusqu'au tube contact. La torche de soudage est reliée sur la borne électrique de sortie positive du générateur de soudage à courant continu. La masse est reliée au générateur et est placée sur la pièce à souder. Une alimentation en gaz de soudage est branchée sur le poste par l'intermédiaire d'une bouteille et d'un détendeur / débitmètre. L'arc jaillit lorsque le soudeur actionne la gâchette électrique de la torche et que la pointe du fil électrode touche la pièce à souder.

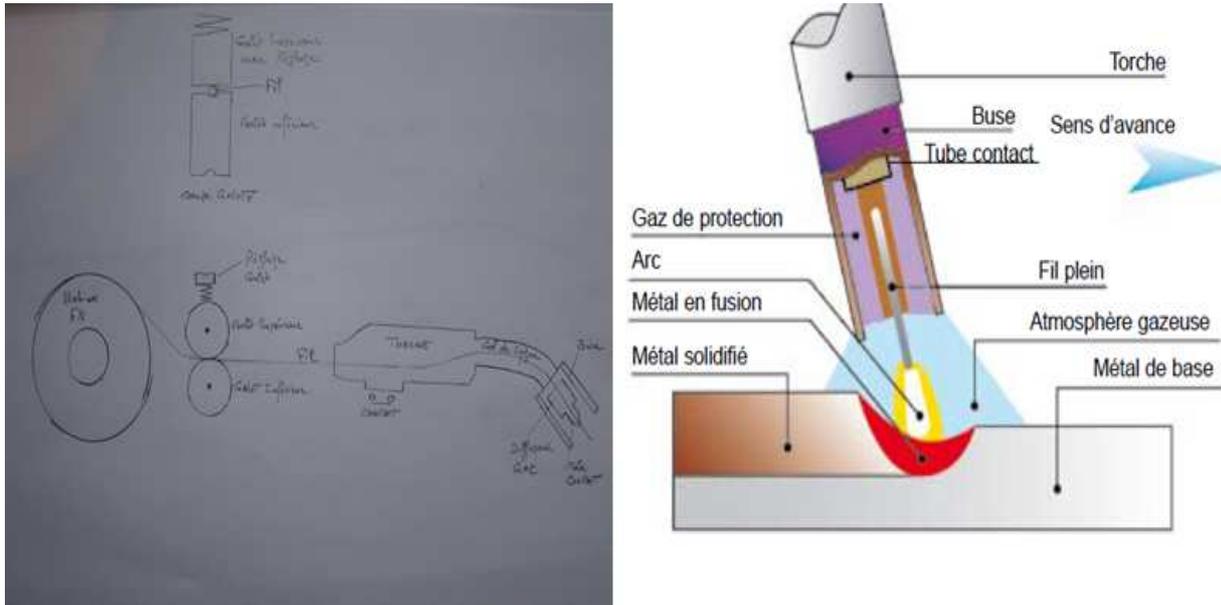


Figure 6 : principe de fonctionnement du soudage MIG.

Conclusion :

Ce chapitre permet de s'informer sur l'organisme d'accueil : son évolution dans le temps, ses activités et son organisation selon les services, de même la problématique, les contraintes et le procédé de soudage utilisé.

Chapitre II : Processus de développement de produit



Introduction :

Le processus de développement de produit réfère au processus intégré de toutes les démarches et les disciplines, qui vont de la définition des besoins du client, à la fabrication du produit désiré, son service après-vente et même son recyclage.

Cette étape est crucial lors de la réalisation d'un nouveau projet pour cela nous consacrons cette partie pour l'expliquer

I. Importance du Processus Développement d'un Produit (PDP) :

Tout d'abord on compte à présenter l'importance de l'étape conception en vue du coût, du temps et de la qualité.

Les coûts des produits et process ainsi que les performances futures sont limités par les choix initiaux.

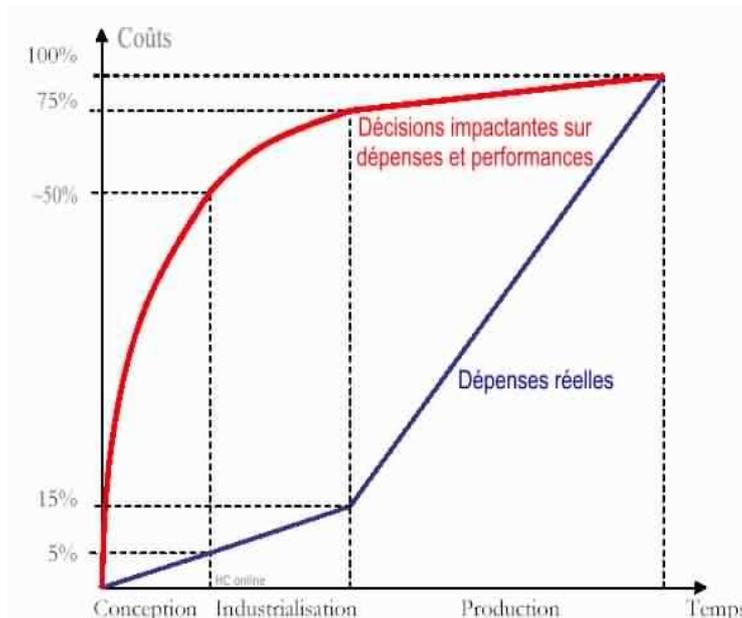


Figure 7 : Rapport cout-temps de conception

En phase de conception et d'industrialisation qui consomment environ 15% des coûts totaux, 75% de ces coûts sont décidés.

De la même manière, la performance future est en grande partie "figée" par ces mêmes choix initiaux.



Les améliorations ultérieures ne pourront pas les remettre en cause et devront se limiter à des domaines et solutions aux gains marginaux.

L'opportunité de remettre en cause les choix initiaux pour des solutions moins coûteuses ou offrant de meilleures performances futures est limitée aux phases très en amont dans le processus de développement.

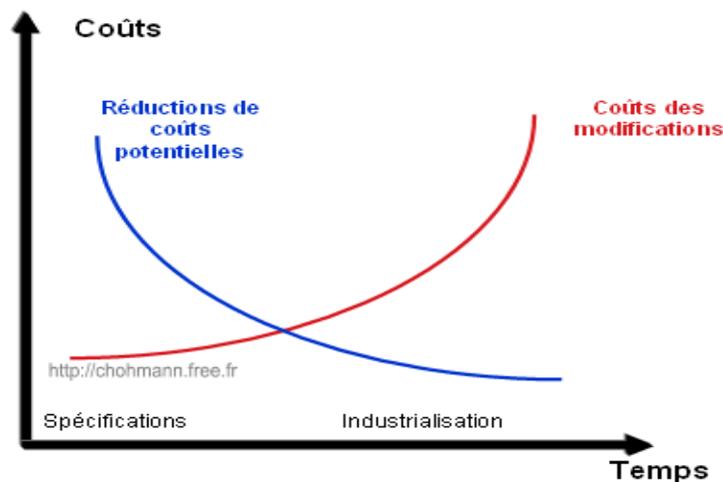


Figure 8 : cout e modification au cours du temps

II. Les phases du PDP :

Le PDP se compose de quatre étapes importantes :

- La pré-étude
- L'étude conceptuelle
- La conception (conceptions préliminaire et détaillée)
- La fabrication et la validation du prototype.

La chronologie et les liens entre ces différentes étapes sont illustrés sur la figure suivante :

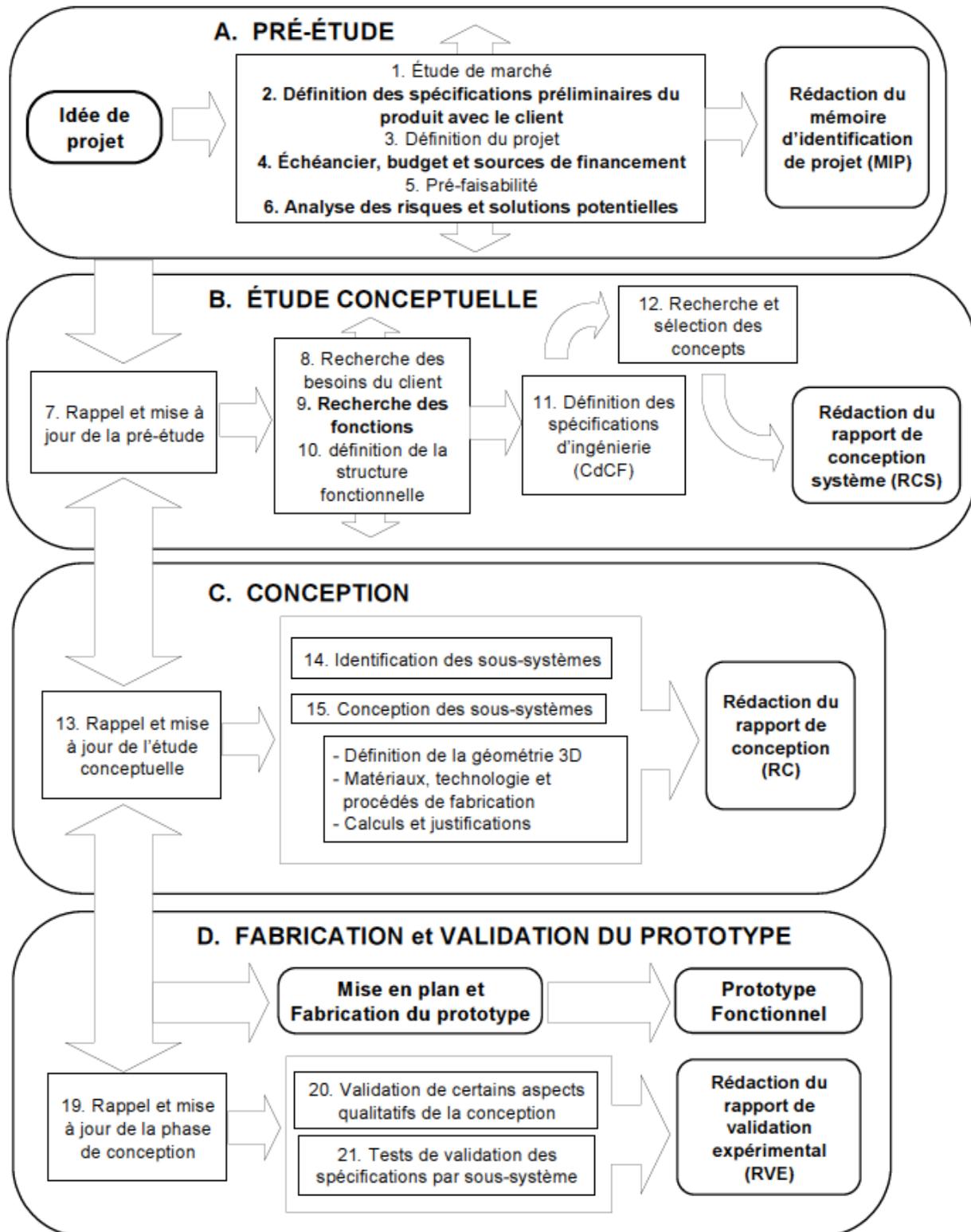


Figure 9 : Etapes du PDP.



La figure suivante détaille la phase de l'étude conceptuelle :

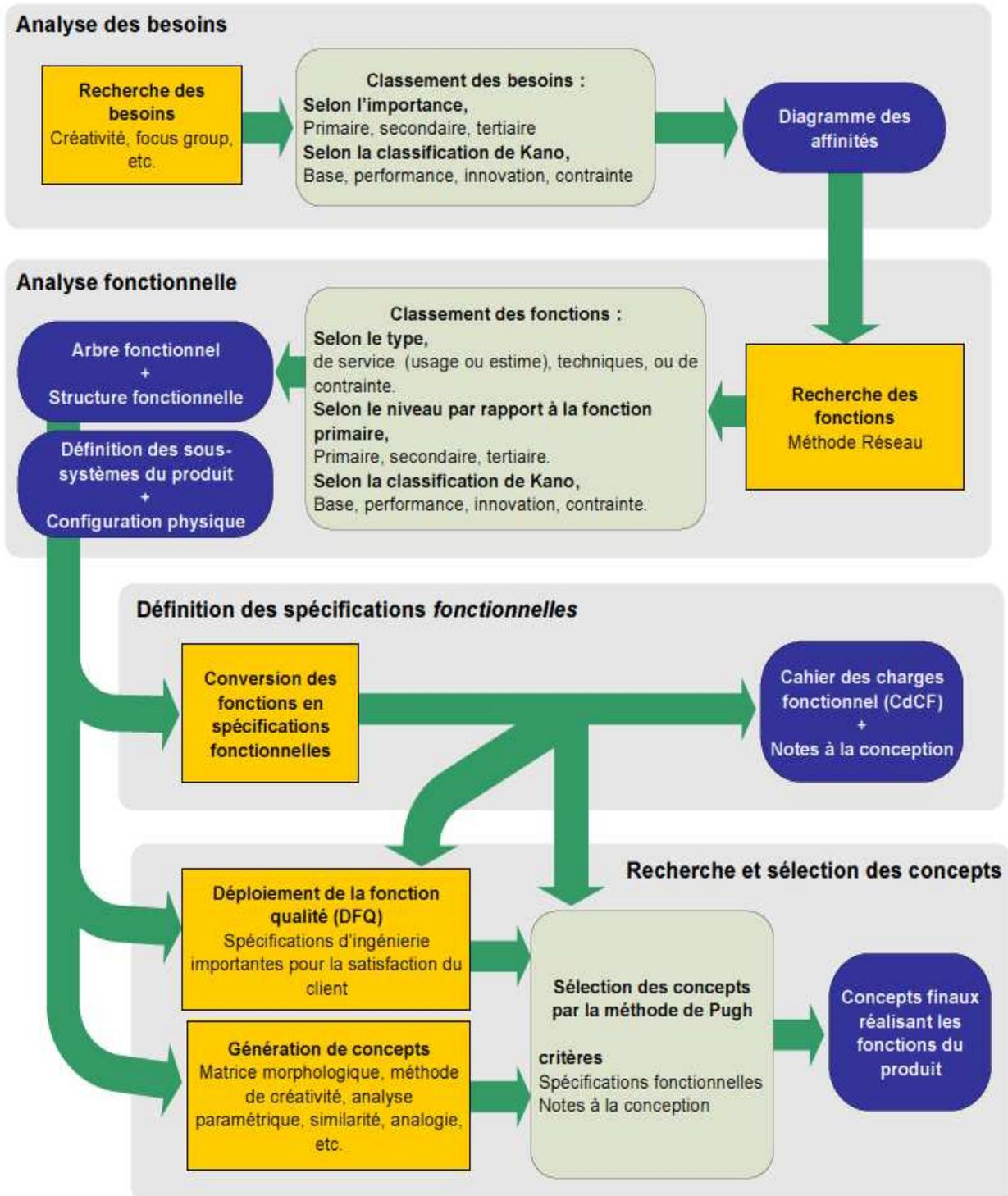


Figure 10 : Etapes de l'étude conceptuelle.



III. L'étude conceptuelle :

1. L'analyse fonctionnelle :

L'analyse fonctionnelle est une démarche qui consiste à rechercher et caractériser les fonctions offertes par un produit pour satisfaire les besoins de son utilisateur.

La démarche est généralement conduite en mode projet et peut être utilisée pour créer (conception) ou améliorer (reconception) un produit.

Cette étape a pour objectif de saisir et comprendre les attentes et les besoins des futurs clients, ces besoins et attentes du client seront traduits en fonctions du produit, pour en tenir en compte dans le processus de conception, ce qui permet de réagir de façon efficace vis-à-vis les besoins du client.

1.1. Rechercher les fonctions :

Nous recherchons et formulons les fonctions par la méthode RESEAU, qui se compose de 6 méthodes suivantes :

- Recherche intuitive (brainstorming).
- L'examen de l'environnement.
- La méthode SAFE.
- Examen des efforts et des mouvements.
- L'analyse d'un produit de référence.
- L'utilisation des normes.

1.2. Ordonner les fonctions :

Toutes les fonctions trouvées sont triées pour créer l'arbre fonctionnel qui est une approche simple et intuitive. Elle consiste à regrouper les fonctions par famille ou par système en vue de leur donner une structure logique. Cette approche sert à faire la synthèse des fonctions et à identifier les liens entre les fonctions de manière à définir la fonction principale du produit ainsi que ses fonctions secondaires et tertiaires, les fonctions secondaires mènent à l'identification des sous-systèmes du produit. Lorsque les fonctions importantes du produit seront relevées, il ne restera plus qu'à les convertir en spécifications fonctionnelles pour obtenir les critères pour la sélection des concepts.



Les fonctions ne servent pas seulement à générer les spécifications fonctionnelles. Elles ont aussi un rôle important à jouer dans la définition des sous-systèmes du produit et la recherche des concepts.

1.3. Caractériser les fonctions :

Cette étape consiste à caractériser les fonctions, cela se fait en attribuant à chaque fonction :

- Un critère d'appréciation c.-à-d. un paramètre mesurable, contrôlable et libre de tout concept qui sert à juger si la fonction est accomplie.
- Un niveau qui représente la grandeur espérée pour un critère d'appréciation.
- Une flexibilité qui sert à moduler la valeur d'un niveau, soit par le moyen de la limite d'acceptation, la variation du niveau ou la classe de flexibilité.

1.4. Hiérarchiser les fonctions :

Dans une approche client, la hiérarchisation des fonctions est faite selon l'importance qu'accorde le client aux différentes fonctions. Cela en utilisant le modèle de Kano basé sur les attentes du client :

- Attentes de base (B).
- Attentes de performance (P).
- Attentes d'innovation (I).

Ainsi il existe les contraintes (C) qui ne sont pas représentées sur le diagramme de Kano et qui sont les normes, la loi et les réglementations.

Dans une deuxième approche il intervient la typologie des fonctions :

- Fonctions d'usage : fonctions de service ayant un aspect utilitaire.
- Fonctions d'estime : fonctions de service ayant un impact psychologique ou affectif sur l'utilisateur du produit.
- Fonctions techniques : ce sont les actions d'un constituant en vue de permettre la réalisation d'une fonction de service. Les fonctions techniques dépendent des choix technologiques.



De plus selon AFNOR on peut hiérarchiser les fonctions comme suivant :

- Fonction indispensable (IND) : la raison d'être du produit.
- Fonction importante (IMP) : qui n'est pas indispensable mais donne au produit une meilleur.
- Fonction intéressante (INT) : elle sera retenue que si son cout n'est pas élevé.
- Fonction accessoire : à intérêt secondaire retenue que si son cout est faible.

2. Le déploiement de la fonction qualité (QFD):

Dans le contexte actuel de vive compétitivité, il devient primordial de ne pas disperser nos efforts, autant que concepteurs, et de s'intéresser à l'essentiel : les besoins du client, mais souvent nous sommes éloignés physiquement des clients, ce qui rend indispensable d'introduire une méthode pour transmettre la voix du client aux concepteurs dans leur langage: les spécifications techniques.

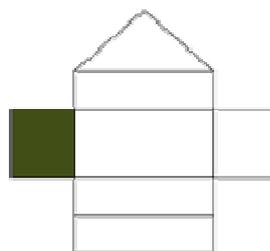
Le but de cette méthode est d'augmenter la qualité, ainsi de diminuer le temps de développement, et cela se fait en ciblant les besoins critiques pour la satisfaction du client.

L'outil de base de la méthode QFD est la maison de la qualité, elle consiste à développer le concept entier d'un nouveau produit ou service en partant des besoins des clients et en déterminant les caractéristiques à lui donner et l'importance relative de chacune d'elles. Il en résulte une grille qui permet de bien voir le processus de conception et son résultat.

La construction de la maison de la qualité se fait selon les étapes suivantes :

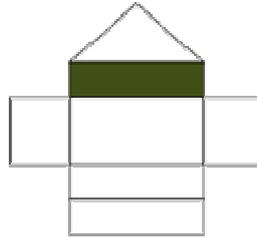
✓ Identifier les besoins des clients (le quoi)

- Établir les catégories de clients.
- Recueillir les besoins (groupes de discussion).
- Les structurer (diagramme en arbre).
- Les prioriser (échelle de 1 à 5).



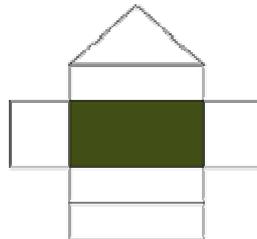


✓ Définir les caractéristiques techniques du produit à offrir (le comment)



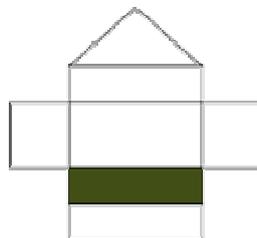
✓ Établir la relation entre les caractéristiques et les besoins des clients (le comment par rapport au quoi)

- Évaluer à quel degré chaque caractéristique contribue à la satisfaction des besoins (pondération).
- Analyser la contribution des caractéristiques (jugement qualitatif).
- Prioriser les caractéristiques.



✓ Cibler le niveau de performance technique des caractéristiques (le combien)

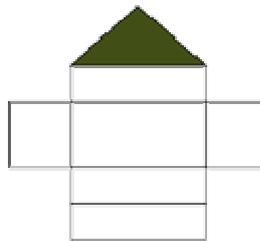
- Fixer une cible pour chaque caractéristique.



✓ Déterminer les relations entre les caractéristiques (le comment par rapport au comment)



- Évaluer le degré d'interrelation entre les caractéristiques du produit (voir si deux caractéristiques entrent en conflit ou sont redondantes).
- Analyser les interrelations.
- Mettre en évidence les liens de communication nécessaires entre les unités de l'entreprise qui travaillent au développement du produit.



✓ Comparer le produit avec ceux des concurrents (la comparaison)

- Satisfaction de nos clients par rapport à la concurrence (balisage).
- Nos caractéristiques techniques par rapport à la concurrence.

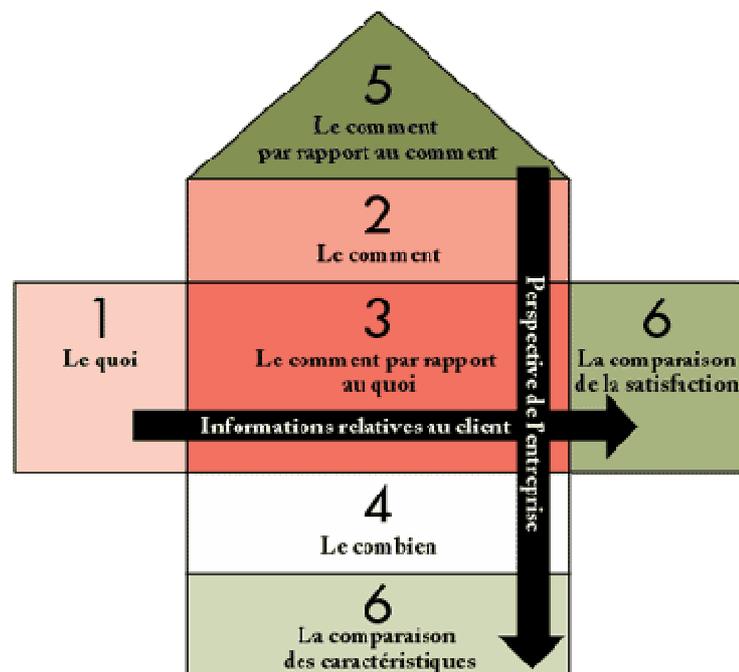


Figure 11 : les différentes parties de la maison de la qualité

3. Génération des concepts :



Quand nous sommes conscients des éléments les plus importants pour la satisfaction du client on peut générer les concepts qui peuvent répondre aux besoins du client.

Nous utilisons pour cela la matrice morphologique, cette méthode consiste à trouver des concepts pour chaque fonction, puis les combiner pour créer des concepts généraux.

4. Choix du concept :

Finalement il faut choisir le concept optimal qui répond aux besoins du client, ses contraintes et ses exigences.

Pour choisir la meilleure solution nous utilisons la matrice de Pugh, qui est un outil facile à comprendre, systématique et très efficace.

La matrice de Pugh se construit en deux phases:

Phase I : se compose des étapes suivantes :

- Etape 1 : préparer la matrice
- Etape 2 : illustrer les concepts
- Etape 3 : choisir un concept de référence (DATUM)
- Etape 4 : remplir la matrice d'évaluation et faire la somme
- Etape 5 : examiner les concepts et identifier leurs forces et faiblesse, afin d'améliorer les concepts forts et tenter d'améliorer les concepts faibles ou s'inspirer de ces concepts.
- Etape 6 : après une analyse rigoureuse, éliminer les concepts faibles de la matrice.
- Etape 7 : choisir une nouvelle référence qui sera la meilleure parmi les restants.

Phase II : consiste à répéter la phase I ce qui permet après une série de convergence et divergence, d'obtenir le concept ayant le plus grand potentiel.

IV. Prototypage et étude de faisabilité :

La réalisation d'un prototype est une des phases de la conception d'un projet. Cet exemplaire permet des tests partiel mais réalistes afin de valider les choix faits lors de la conception de l'ensemble.



Il est destiné à simuler les contraintes susceptibles de tuer l'idée.

De nombreuses techniques de prototypage existent, elles s'adaptent à la fois aux particularités technologiques du produit en cours de développement, et à la maturité des concepts évalués.

Comme technique utile, simple et moins cher on trouve le prototypage numérique qui permet de mener une étude de faisabilité en se basant sur le calcul des structures pour choisir le matériau adapté et localiser les zones de concentration de contraintes et modifier si nécessaire la structure pour la rendre plus résistante et performante.

Une structure est soumise à différentes actions, permanentes ou variables dans le temps, statiques ou dynamiques, de nature mécanique ou thermique, et sa conception vise à satisfaire certains critères vis-à-vis de ces actions :

- ✓ Sécurité : sa résistance, son équilibre et sa stabilité doivent être assurés avec une probabilité choisie ;
- ✓ Performance : son fonctionnement et le confort associés doivent être garantis pour une durée suffisante ;
- ✓ Durabilité : la dégradation de la structure dans le temps doit être limitée et maîtrisée pour satisfaire les deux premiers critères ;

Au cours de ces deux à trois décennies, les outils d'analyses disponibles pour l'ingénieur se sont modifiés et accrus, surtout ceux utilisant les méthodes numériques informatisées pour la modélisation géométriques et la simulation du comportement.

Le calcul des structures par éléments finis est un outil de simulation numérique qui connaissant la géométrie, les matériaux et l'environnement de la structure (solicitations) permet d'en déterminer les déplacements et les contraintes.

Cette méthode introduit un classement des éléments finis selon le type de la structure étudiée :

- ✓ Les éléments unidimensionnels pour les barres, poutres rectilignes ou courbes.
- ✓ Les éléments bidimensionnels pour les plaques, les coques et des structures dont l'élasticité est plane.



- ✓ Les éléments tridimensionnels qui sont mieux adaptés pour les coques épaisses.
- ✓ Les éléments axisymétriques pour des structures à sections triangulaires ou rectangulaires.

Les étapes de l'analyse par éléments finis sont les suivantes :

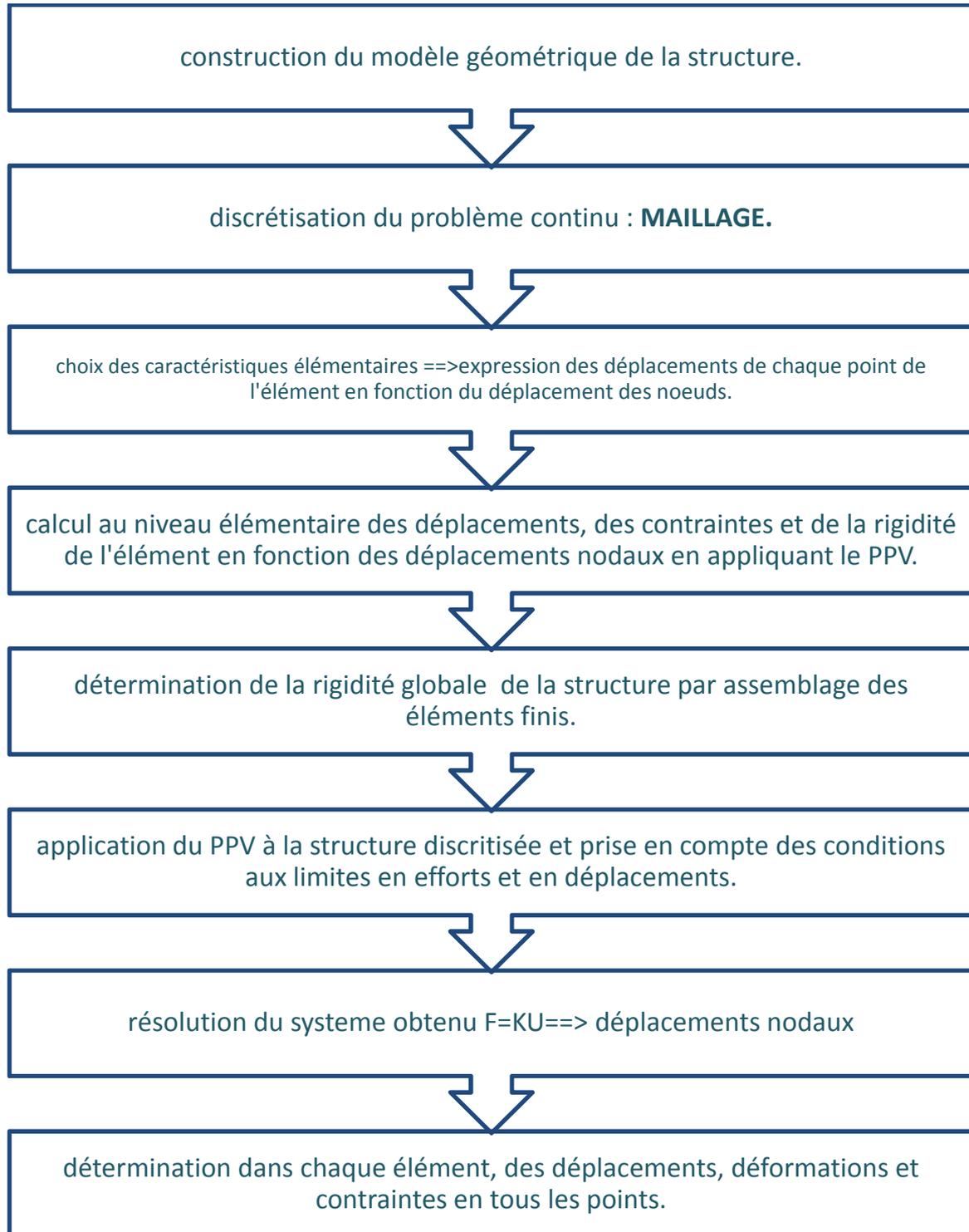


Figure 12 : algorithme du calcul des structures

Conclusion :



Ce chapitre permet de s'informer sur le processus de développement de produit et ses différentes étapes passant par l'analyse fonctionnelle qui nous donne les fonctions du système afin de générer le maximum des concepts à l'aide de la matrice morphologique et converger vers le meilleur concept en utilisant la matrice de Pugh. Puis nous avons présenté un rappel sur le prototypage et le calcul des structures.



Chapitre III : Etude du projet

Introduction :

Au cours du présent chapitre nous allons présenter l'étude de notre projet en suivant un processus systématique de développement de produit, tout d'abord on a commencé par la recherche des fonctions en utilisant trois méthodes parmi les 6 méthodes RESEAU : la recherche intuitive, l'examen de l'environnement où on génère les fonctions selon les relations entre le système et les éléments de son environnement et la méthode SAFE qui consiste à générer les fonctions en imaginant les différents scénarios de fonctionnement du système. Puis nous avons hiérarchisé les fonctions trouvées selon trois classifications : AFNOR, KANO et la typologie, ensuite les ordonner à l'aide de l'arbre fonctionnel qui va de la fonction principale du système vers les solutions techniques passant par les fonctions secondaires du système. A l'aide de la matrice morphologique nous avons généré les concepts, et avant de choisir le meilleur concept nous avons effectué la QFD pour identifier les critères critiques pour la satisfaction du client, qui sont les entrées de la matrice de Pugh qui nous permet de choisir le concept optimum.

I. Définition du projet et planification :

1. Former l'équipe du projet :

L'équipe du projet se compose notre encadrant à la FST Monsieur Mohammed El Majdoubi et de notre encadrant au sein la société : Monsieur Hassan Bourass, et nous El Aoufi Souad et DohmiBtissam

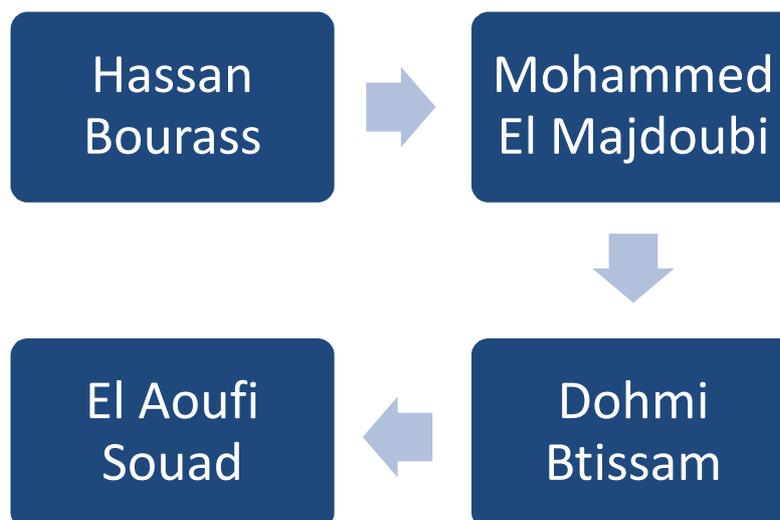


Figure 13 : équipe du projet



2. Définir le problème:

Au sein de l'atelier de construction métallique les opérateurs trouvent des difficultés lors de l'opération du soudage des pièces cylindriques de grandes longueurs et diamètres. Ce qui donne lieu à une opportunité pour réaliser la machine de soudage semi-automatique afin de remédier à ce problème.

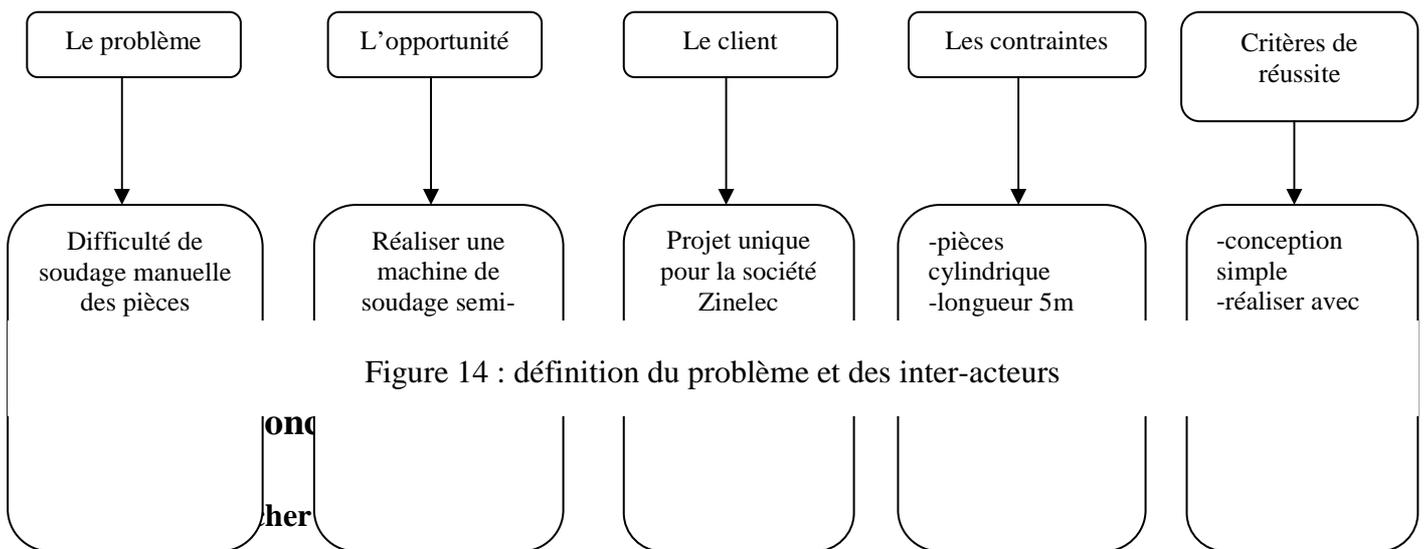


Figure 14 : définition du problème et des inter-acteurs

Cette étape a pour objectif d'identifier toutes les fonctions d'un produit, pour cela on utilise la méthode RESEAU.

1.1. Recherche intuitive :

Nous avons organisé un Brainstorming pour qu'on puisse générer le maximum des fonctions, le résultat est le suivant :

Tableau 2 : fonctions trouvées par la recherche intuitive

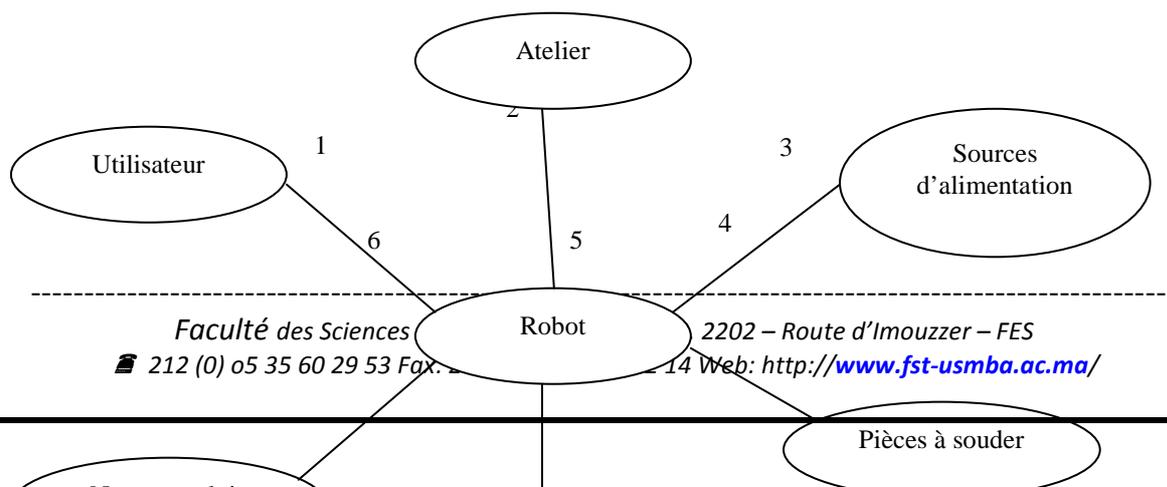
Fonctions
Souder les pièces
Etre semi-automatique
Etre rapide



Etre rigide
Mobiliser la torche
Mobiliser la pièce
Etre silencieux
Etre sécuritaire
Maintenir la pièce
Etre facile à maintenir
Assurer l'alignement
Optimiser le temps de soudage
Consommer le moins d'énergie possible
S'adapter à plusieurs longueurs
S'adapter à plusieurs diamètres
Minimiser le nombre de moteurs
Minimiser le nombre de mouvements
Assurer une bonne qualité de soudage

1.2.Examen d'environnement :

L'examen de l'environnement consiste à considérer plusieurs situations dans lesquelles le produit pourrait évoluer puis formuler les fonctions que devra réaliser ou respecter au cours de ces situations.





1- Utilisateur-robot :

- Faciliter l'utilisation de la machine
- Protéger l'utilisateur

2-Atelier-robot :

- être silencieux

3-Source d'alimentation-robot :

- consommer le moins d'énergie possible

4-Pièces à souder-robot :

- souder les pièces
- maintenir les pièces
- mobiliser les pièces
- assurer une bonne qualité
- assurer l'alignement
- supporter le poids

5-Ambiance-robot :

- résister à la corrosion
- supporter les écarts de température

6-Normes et lois-robot :

- limiter le bruit et les vibrations.

Tableau 3 : fonctions trouvées par l'examen de l'environnement

Fonctions
Faciliter l'utilisation
Protéger l'utilisateur
Etre silencieux
Consommer le moins d'énergie possible
Souder la pièce
Maintenir la pièce
Mobiliser la pièce



Assurer une bonne qualité de soudage
Assurer l'alignement
Supporter le poids
Résister à la corrosion
Supporter les écarts de température
Limiter le bruit et les vibrations.

1.3.Méthode SAFE :

La méthode consiste à :

- Imaginer des scénarios d'utilisation du produit ;
- Chaque action donne lieu à une fonction ;

Tableau 4 : la méthode SAFE

Operations ayant rapport à l'utilisation	Fonction relevées
Le poste de soudage MIG chargé de faire le soudage linéaire et circulaire	-Souder la pièce
Mise en position de la pièce	-Maintenir la pièce -Mobiliser la pièce
Les pièces ont des longueurs et des diamètres différents	-S'adapter à plusieurs longueurs et diamètres
Les pièces vont être soudées avec la torche	-Mobiliser la torche
Le système va être manipulé par un operateur	-Protéger l'utilisateur
Le travail s'effectue 8h par jour	-Le système ne doit pas s'arrêter. -Le système doit consommer le moins d'énergie possible.



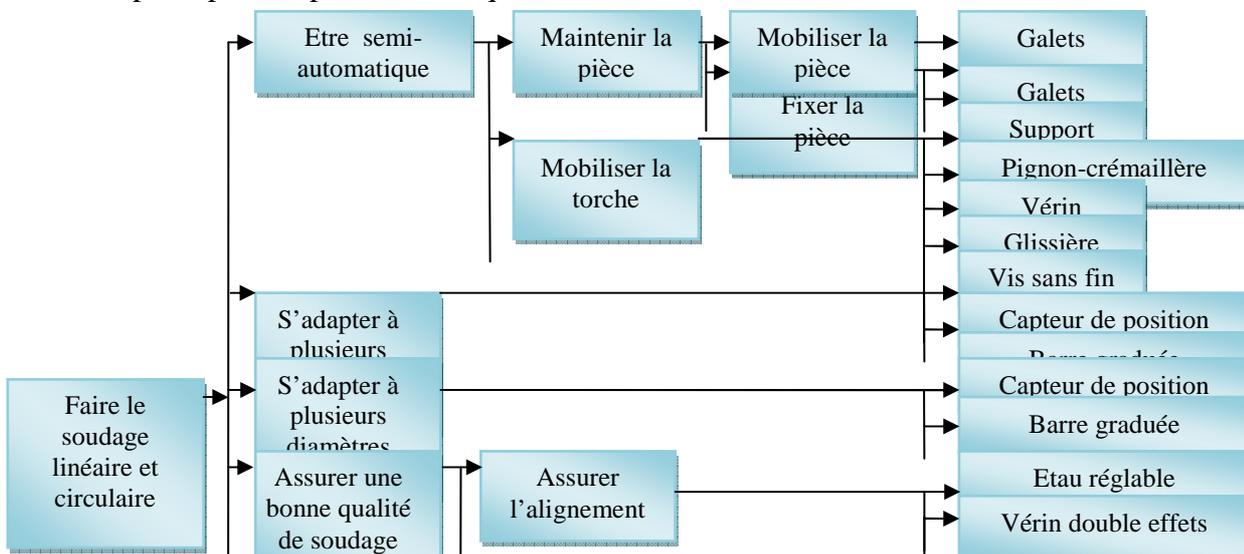
Dans l'atelier existent des opérateurs	-Etre sécuritaire.
Dans l'atelier existent d'autres machines	-Etre silencieux

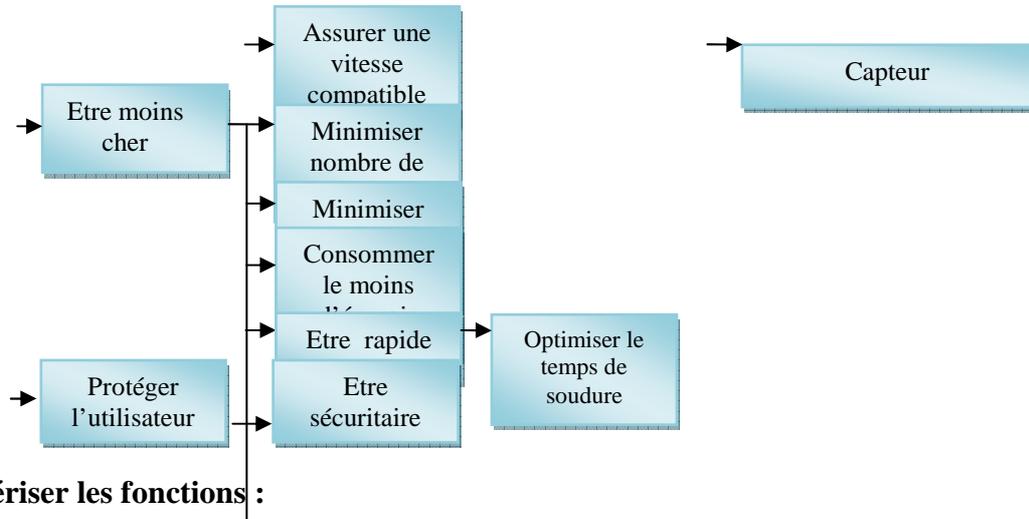
Tableau 5 : fonctions trouvées par la méthode SAFE

Fonctions
Souder la pièce
Maintenir la pièce
Mobiliser la pièce
S'adapter à plusieurs longueurs
S'adapter à plusieurs diamètres
Mobiliser la torche
Etre sécuritaire
Etre silencieux
Ne pas s'arrêter
Consommer le moins d'énergie possible

2. Ordonner les fonctions :

L'arbre fonctionnel permet d'identifier les liens entre les fonctions de manière à définir la fonction principale du produit ainsi que ses fonctions secondaires et tertiaires





3. Caractériser les fonctions :

A chaque fonction mesurable on attribue un critère, niveau et flexibilité.

Tableau 6 : critères-niveau-flexibilité

	Critère d'appréciation	Niveau	Flexibilité
Etre moins cher	Nombre de moteurs	2 moteurs	-
	Nombre de mouvements	5	Maximum
	L'énergie	-	
Supporter le poids	poids	700Kg	Maximum
S'adapter à plusieurs longueurs	Longueur de la pièce	5m	Maximum
S'adapter à plusieurs diamètres	Diamètre de la pièce	0,5m-1,5m	Min-Max
Etre silencieux	Niveau de son	100db	Maximum
	Niveau de vibrations	70HZ	-

4. Hiérarchiser les fonctions :

Il est à noter que les fonctions conservées ont été identifiées par trois caractéristiques pour en faciliter le tri :

1. Le type de fonction : service (usage ou estime), technique ou de contrainte;
2. L'échelle de Kano : échelle de classement selon le diagramme de KANO qui comporte quatre classes soit : Base (B), Performance (P), Innovation (I) ou Contrainte (C).



3. la méthode de classement suggérée par l'AFNOR : Il s'agit d'une façon supplémentaire suggérée pour classer les fonctions par ordre d'importance. Les niveaux de classement sont les suivants : Indispensable (IND), Importante (IMP), Intéressante (INT), Accessoire (ACC).

Une fois ce tri effectué, les **fonctions retenues** devraient permettre en général de tracer un portrait global du produit. Le Tableau 5 montre la liste finale des fonctions conservées suite à la génération des fonctions par les trois méthodes choisies.

Le tableau suivant résume notre classification :

Tableau 7 : hiérarchisation des fonctions

N°	Fonctions	Méthode de classement		
		Type	Kano	AFNOR
F1	Souder les pièces	Usage	B	IND
F2	Etre semi-automatique	Technique	B	IND
F3	Mobiliser la torche	Technique	B	IND
F4	Mobiliser la pièce	Technique	B	IND
F5	Maintenir la pièce	Technique	B	IND
F6	S'adapter à plusieurs longueurs	Technique	P	IMP
F7	S'adapter à plusieurs diamètres	Technique	P	IMP
F8	Etre rapide	Usage	P	IMP
F9	Etre silencieux	Usage	C	INT
F10	Etre sécuritaire	Usage	C	INT
F11	Consommer moins d'énergie	Technique	P	IMP



F12	Etre moins cher	Estime	C	IND
F13	Assurer une bonne qualité de soudage	Usage	C	IND
F14	Résister à la corrosion	Technique	C	INT
F15	Supporter les écarts de température	Technique	C	INT
F16	ne pas s'arrêter	Usage	C	IND
F17	Etre esthétique	Estime	C	INT
F18	Etre facile à manipuler	Estime	P	IMP
F19	Créer un sentiment de distinction	Estime	B	IMP
F20	Optimiser le temps de soudure	Usage	P	INT
F21	Assurer l'alignement	Technique	B	IND
F22	Minimiser le nombre de mouvements	Usage	C	IMP
F23	Minimiser le nombre de moteurs	Usage	C	IMP
F24	Etre facile à maintenir	Estime	P	IMP
F25	Supporter le poids de la pièce	Usage	B	IND

III. Génération et choix du concept :

Nous allons effectuer le soudage linéaire, d'où on doit déplacer soit la torche soit la pièce, nous avons aussi à effectuer le soudage circulaire, donc l'idée est de tourner la torche ou la pièce.

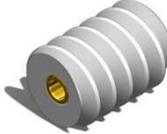
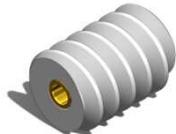
Puisque on veut faire un seul montage mécanique pour assurer les deux, on choisit de faire tourner la pièce et fixer la torche lors du soudage circulaire, et lors du soudage linéaire on fait déplacer la torche et fixer la pièce.



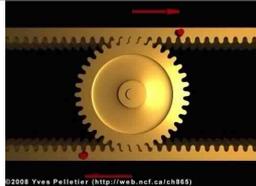
Dans l'atelier on dispose des galets qu'on doit les exploiter, on va les utiliser pour poser la pièce sur eux, ainsi pour la tourner à l'aide d'un moteur par transmission du mouvement.

1. Matrice morphologique :

Tableau 8 : matrice morphologique

Fonctions	Solutions			
Déplacer la torche verticalement	vérin 	Vis sans fin 	Glissière 	
Déplacer la torche horizontalement	Pignon-crémaillère 	Glissière 	Vérin 	Vis sans fin 
Tourner la pièce	Moteur 	Galets 	Pignon 	Manivelle 
Fixer la pièce	Mandrin 	Galets 		
S'adapter à plusieurs longueurs et diamètres	Barre graduée 	Etau réglable 	Capteurs 	
Assurer l'alignement	Pignon à deux crémaillères 	Etau réglable à deux mors mobiles 	Vérin double effets 	



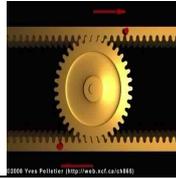
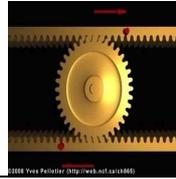
				
Faciliter l'utilisation	Automate 	Manipulation mécanique		

Le tableau suivant regroupe les concepts générés :

Tableau 9 : les concepts générés par la matrice morphologique

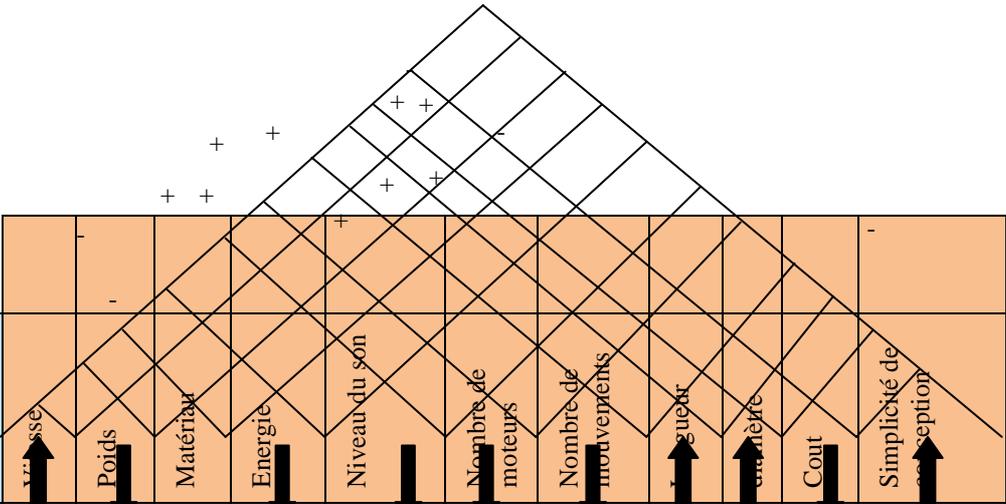
Fonctions	Concept 1	Concept 2	Concept 3	Concept 4	Concept 5
Déplacer la torche verticalement	Vérin 	Vis sans fin 	Vis sans fin 	Glissière 	Glissière 
Déplacer la torche horizontalement	Vérin 	Vis sans fin 	Pignon-crémaillère 	Glissière 	Vis sans fin 
Tourner la pièce	Moteur 	Pignon 	Galets 	Pignon 	Manivelle 
Fixer la pièce	Galets 	Mandrin 	Galets 	Galets 	Galets 
S'adapter à plusieurs longueurs et diamètres	Capteurs	Etau réglable 	Barre graduée 	Barre graduée 	Barre graduée 
Assurer	vérin double	Etau à deux	Pignon à	Etau à deux	Pignon à



l'alignement	effet 	mors mobile	deux crémaillères 	mors mobile	deux crémaillères 
Faciliter l'utilisation	Automate 	Manipulation mécanique	Manipulation mécanique	Manipulation mécanique	Manipulation mécanique

2. Maison de la qualité (QFD):

Afin de déterminer les critères qui influent plus la satisfaction du client, nous avons utilisé la maison de la qualité suivante :

	Importance											
		Vitesse ↑	Poids ↓	Matériau	Energie ↓	Niveau du son ↓	Nombre de moteurs ↓	Nombre de mouvements ↓	Traqueur ↑	Précision ↑	Cout ↓	Simplicité de conception ↑
Déplacer la torche verticalement	5	●					●	●	■			
Déplacer la torche horizontalement	5	●					●	●		■		
Tourner la pièce	5	●					●	●		■		
Fixer la pièce	5		●					■				
S'adapter à plusieurs longueurs	5								●			
S'adapter à plusieurs diamètres	5									●		
Etre rapide	3	●										



Etre moins cher	4				■		■	■			●	
Résister à la corrosion	2		▲	●								
Supporter le poids	3		●	■	▲							
Etre silencieux	2	■			▲	●	▲	▲				
Faciliter l'utilisation	2		■				■	■	■	■		●
Importance		168	62	27	17	18	155	170	66	81	45	45

La maison de la qualité nous donne comme résultats les critères les plus critiques sont : la vitesse, le nombre de moteurs, le nombre de mouvements, et le coût.

3. Choix du concept :

La méthode de convergence à utiliser en conception est la matrice de Pugh, les critères présents dans la matrice sont les critères tirés de la maison de la qualité plus des critères de conception.

Tableau 10 : première matrice de Pugh

Critère	Concept 1	Concept 2	Concept3	Concept4	Concept 5
Cout	DATUM	+	+	+	+
Facilité de fabrication		-	+	-	+
Facilité d'assemblage		+	+	-	+
Vitesse		-	=	-	=
Energie		=	+	-	+
solidité		+	=	-	+
Nombre de mouvements		+	=	=	+
Simplicité de conception		+	+	-	-
La somme des « + »		5	5	1	6
La somme des «- »		2	0	6	1



La somme des		1	3	1	1
« = »					

L'évaluation des concepts présente clairement que les plus forts sont : concepts 5 ,3 et 2.

Le concept le plus faible est le concept 4.d'où on va l'éliminer.

Et on répète le cycle de convergence mais cette fois en choisissant une nouvelle référence, le nouveau DATUM sera le concept 5 qui présente le plus grand nombre d'avantages que les autres par rapport à l'ancien DATUM (concept 1).

Le concept 1 présente des points faibles concernant le coût de réalisation et la simplicité de conception et d'assemblage de conception, contrairement aux autres concepts qui simplifie largement la conception comme ils proposent une manipulation mécanique à la place d'utilisation d'un automate ce qui économise aussi le coût de réalisation.

Tableau 11 : deuxième matrice de Pugh

Critère	Concept 1	Concept 2	Concept3	Concept 5
Cout	=	=	=	DATUM
Facilité de fabrication	-	-	+	
Facilité d'assemblage	-	=	=	
Vitesse	+	-	+	
Energie	-	+	+	
solidité	-	=	=	
Nombre de mouvements	-	-	+	
Simplicité de conception	=	=	+	
La somme des « + »	1	1	5	
La somme des «- »	5	3	0	
La somme des « = »	2	4	3	



Les concepts 1 et 2 présentent un grand nombre de points faibles concernant essentiellement la facilité de fabrication et d'assemblage et le nombre de mouvements.

Contrairement le concept 3 a plusieurs points forts d'où les deux concepts 1 et 2 seront éliminés et le nouveau DATUM sera le concept 3.

Tableau 12 : troisième matrice de Pugh

Critère	Concept3	Concept 5
Cout	DATUM	=
Facilité de fabrication		-
Facilité d'assemblage		=
Vitesse		-
Energie		-
solidité		=
Nombre de mouvements		-
Simplicité de conception		-
La somme des « + »		0
La somme des «- »		5
La somme des « = »		3

En répétant le cycle de convergence on trouve que le concept ayant le plus grand potentiel est le concept 3.

Conclusion :



Au cours de ce chapitre nous avons effectué l'étude conceptuelle du projet en débutant par l'analyse fonctionnelle pour tirer les fonctions du système puis générer les concepts à l'aide de la matrice morphologique, ensuite la maison de la qualité nous donne : la vitesse, le nombre de moteurs, le nombre de mouvements, et le coût comme critères de satisfaction du besoin du client. Ces derniers sont utilisés dans la matrice de Pughafin de converger vers le meilleur concept qui répond aux besoins du client ayant les critères voulus. Le concept choisi est facile à manipuler, en utilisant un nombre minimum de moteurs et mouvements, et de même facile à réaliser car on exploite les ressources existants à la société ce qui réduit le coût de réalisation.



Chapitre IV : Prototype numérique et Etude de faisabilité

Introduction :

L'objectif de ce chapitre est de réaliser le prototype numérique sur Solidworks puis étudier le concept choisi en faisant un calcul de structure qui va nous permettre de savoir si cette structure va résister au chargement dans le cas statique.

Cela va nous aider à choisir le matériau convenable et si nous avons besoin de modifier la structure en raison de sécurité des opérateurs et rigidité du système.

Après la vérification de la performance de la machine, il faut définir les étapes de fabrication et estimer le coût de réalisation de notre projet.

I. Prototype numérique sur Solidworks et mode de fonctionnement:

1. Prototype numérique :

Le prototypage numérique permet aux concepteurs d'explorer virtuellement un produit complet avant sa fabrication. En utilisant un prototype numérique, on peut visualiser et simuler la performance réelle d'une conception et réduire leurs besoins de prototypes physiques coûteux. Ils réduisent ainsi leurs coûts de conception et de production.

Dans cette étape on a réalisé le prototype numérique sur Solidworks afin de visualiser notre concept.



Figure 17 : vue 3D du concept

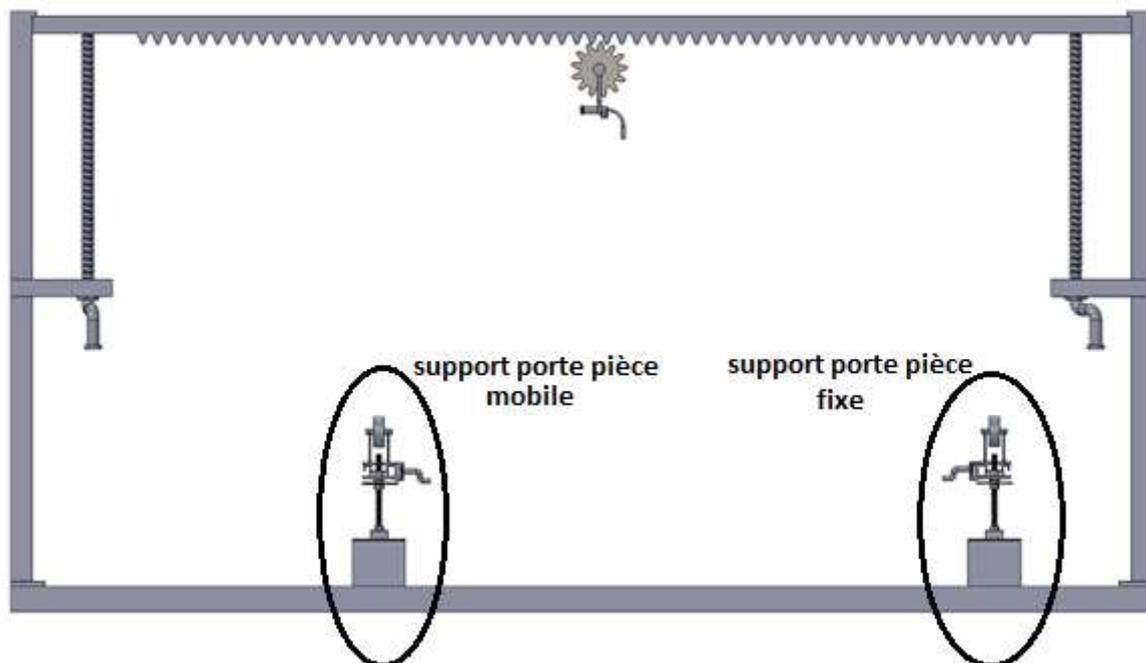


Figure 18 : vue de face du concept



La partie encadrée illustre le sous-système qui porte la pièce.



Figure 19 : support porte pièce

2. Mode de fonctionnement :

La machine réalise le soudage linéaire et circulaire, mais pour les deux cas il faut dans premier temps faire la mise en position de la pièce.

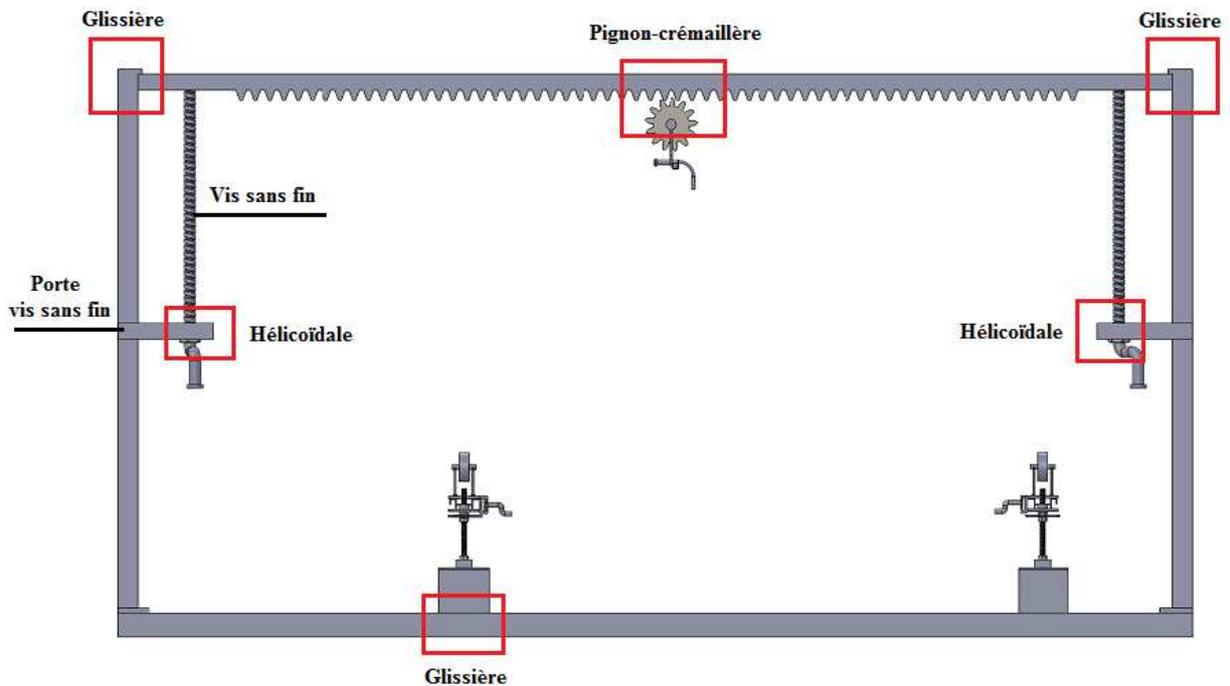


Figure 20 : schéma explicatif du fonctionnement du système



On écarte le support porte pièce mobile selon la longueur de la pièce, puis on écarte les deux galets et on déplace la torche verticalement pour s'adapter au diamètre de la pièce à l'aide du pignon à deux crémaillères.

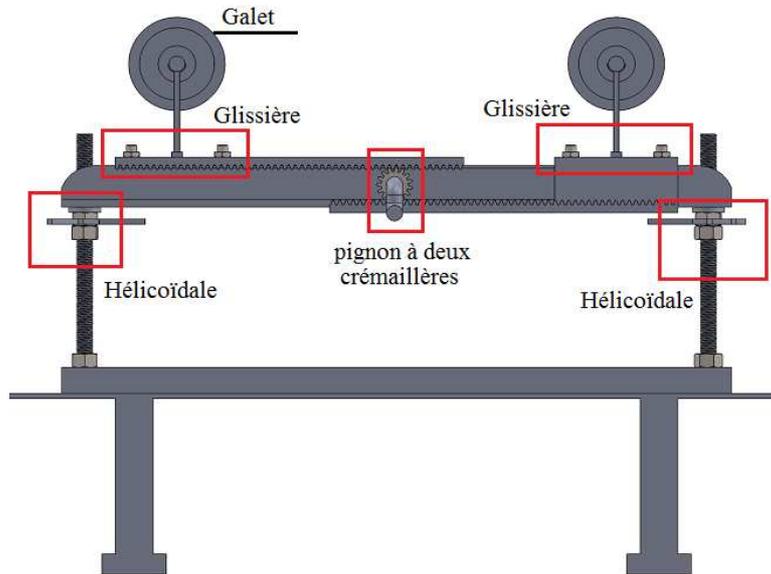


Figure 21 : schéma explicatif du fonctionnement du support porte pièce

✓ Cas du soudage linéaire :

Dans ce cas la pièce reste fixes c.-à-d. les galets sont immobiles, et la torche se déplace horizontalement pour effectuer le soudage.

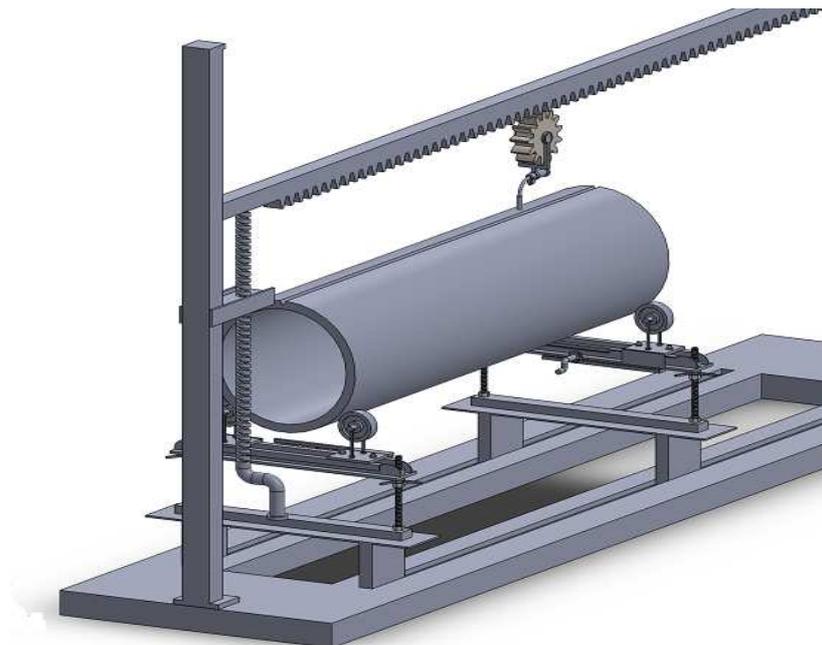


Figure 22 : cas du soudage linéaire



✓ Cas du soudage circulaire :

Dans ce cas la torche reste fixe, et les galets sont en rotation et ils transmettent le mouvement à la pièce ce qui permet la réalisation du soudage circulaire.

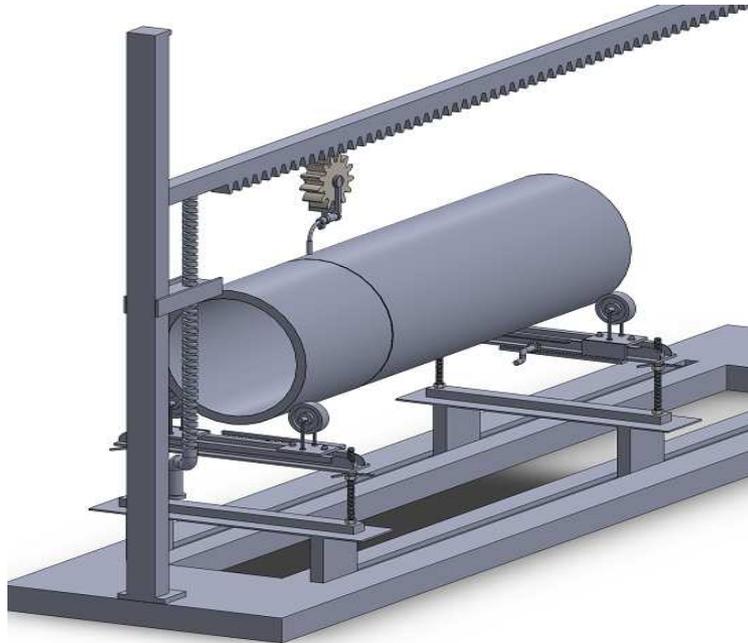


Figure 23 : cas du soudage circulaire

II. Calcul des structures dans le cas statique :

La partie sollicitée dans le système est le support qui maintient la pièce, et qui subissent seulement aux poids de la pièce.

D'où on veut concevoir un support pouvant supporter une masse statique maximale de 700Kg.

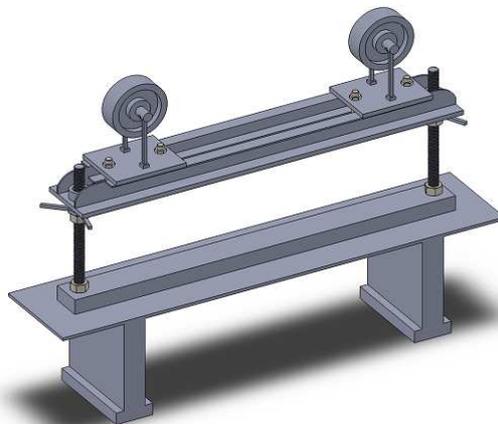


Figure 24 : support étudié

1. Contexte et objectifs :



- Contexte :

Pratique : un support soutenant une masse statique de 700Kg.

- Objectif :

L'objectif de l'étude est de vérifier le facteur de sécurité et la résistance de la structure.

2. Données du problème :

D'abord nous avons éliminé les éléments non structuraux.

- Dimensions :

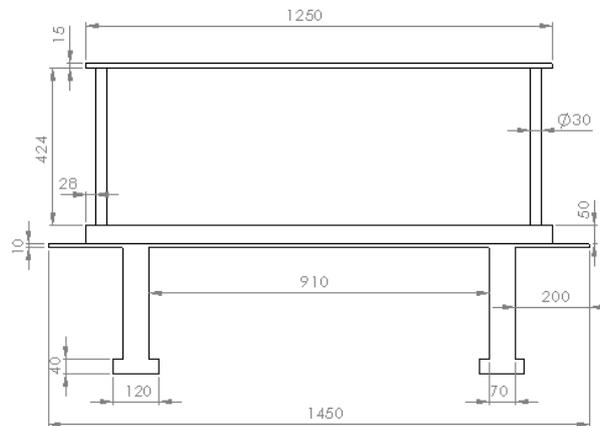


Figure 25 : dimensions du support

- Propriétés de section :

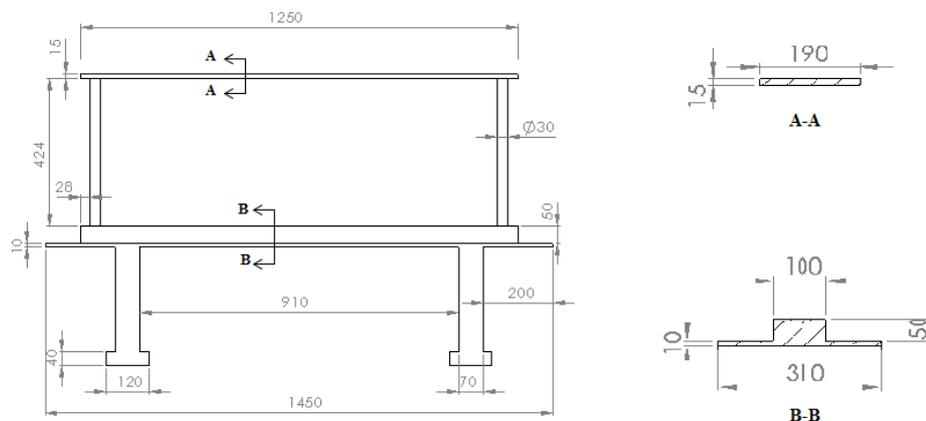


Figure 26 : propriétés de la section



- Propriétés du matériau :

Pour la construction métallique on utilise les aciers de construction, ce support déjà existant à l'atelier il est fabriqué en acier S235, qui a les caractéristiques données ci-dessous :

Tableau 13: propriétés mécaniques du S235

Matériau	Acier S235
Module d'élasticité	20500 MPa
Coefficient de Poisson	0.3
Densité	7800 kg/m ³
Résistance à la rupture	340 MPa
Résistance à la traction	340 MPa
Limite d'élasticité	235MPa

- Hypothèses :

- On fait l'hypothèse d'un état plan de contrainte, parce que le support est généré projection d'un profil 2D et que les efforts sont appliqués uniformément dans le plan.
- Dans l'analyse, on néglige deux parties supérieures du support car ils n'ont aucun rôle structural.
- La longueur du support est plus de 10 fois supérieure aux dimensions transversales. Par conséquent on peut négliger, pour le calcul classique, l'effet du cisaillement transverse.
- Le poids du support peut être négligé devant le poids de la pièce. Par conséquent l'effet de la gravité sera négligé.

- Gravité :

On utilise une accélération gravitationnelle de $9,81 \text{ m/s}^2$ pour calculer le poids de la pièce.

Le poids est donc de $700\text{Kg} \cdot 9,81\text{m/s}^2 = 6867\text{N}$.



3. Résultats anticipés :

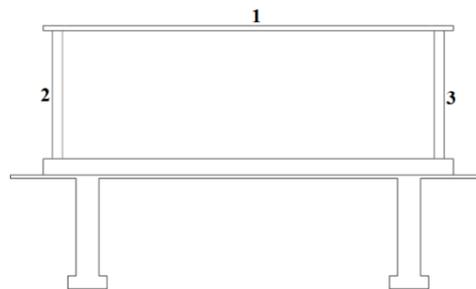


Figure 27 : parties du modèle

- Soumise à la masse 700Kg, la partie 1 fléchira vers le bas.
- Les fibres supérieures seront en tension et celles inférieures en compression.
- En ce qui concerne les parties 2 et 3 elles vont flamber et il y aura des contraintes élevées.
- A l'encastrement, les déplacements et les rotations doivent être nuls.

4. Planification du modèle numérique :

➤ Type de problème :

On fera une analyse statique afin de calculer les déplacements et les contraintes.

On peut modéliser les parties du support avec les éléments de poutre. Cependant, les efforts agissant suivant l'épaisseur de la partie 1, cette partie présentera un état plan de contrainte. On peut donc réduire le problème physique 3D à un problème numérique 2D.

➤ Modèle géométrique :

Le modèle géométrique qui sera utilisé pour simuler le support est présenté ci-dessous.

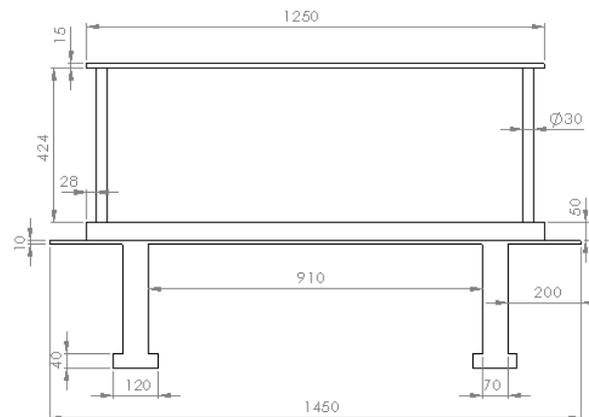


Figure 28 : modèle géométrique

➤ Maillage :

Le maillage de la géométrie utilisera principalement des éléments 2D quadrangles paraboliques.

Les raisons du choix des éléments sont :

- Analyse 2D en état plan de contrainte : éléments 2D.
- Forme rectangulaire : éléments quadrangles (converge mieux que triangles).
- Flexion du plan : éléments paraboliques (représentent mieux la flèche).

➤ Conditions aux frontières :

- La structure est sollicitée dans le cas statique par le poids du cylindre.
- Le poids maximale du cylindre est 700Kg, donc la force sera : $700\text{Kg} \cdot 9,81\text{m/s}^2 = 6867\text{N}$.
- Le cylindre va être déposé sur deux supports d'où la structure étudiée va supporter la moitié de cette charge, la force appliquée sur cette structure sera donc 3433.5N. Il est déposé au centre du support.

Les parties inférieures sont encastées comme illustre la figure ci-dessous.

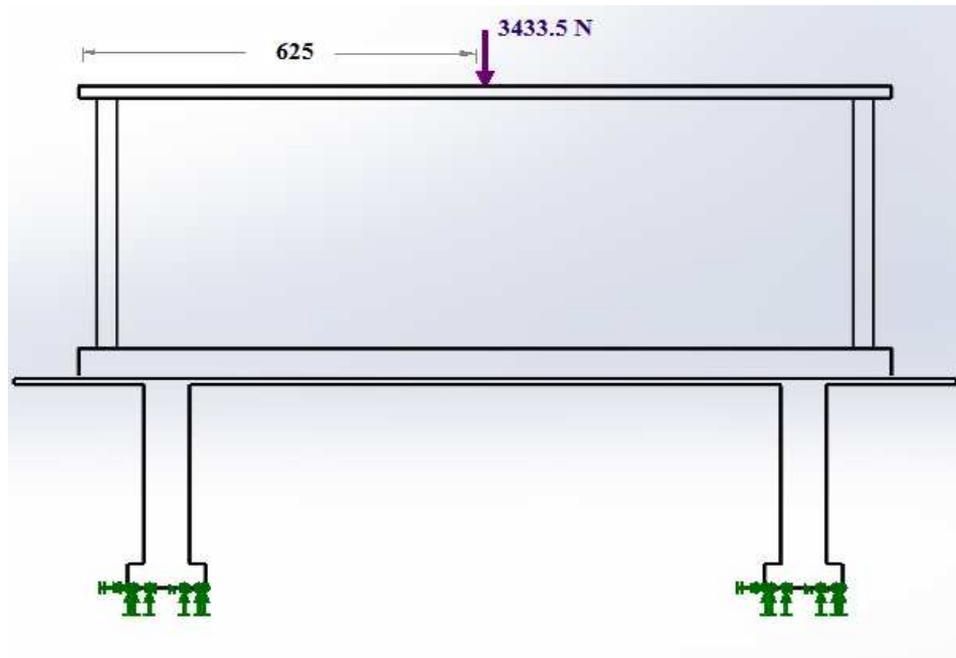


Figure 29 : conditions aux frontières

5. Résultats numériques :

➤ Maillage :

La figure suivante illustre le maillage exécuté par le Solidworks simulation :

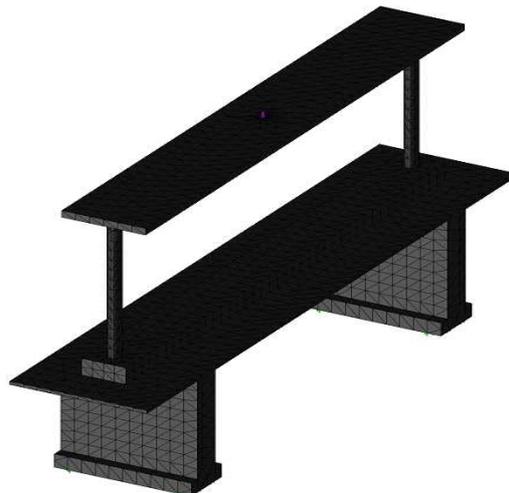


Figure 30 : maillage du modèle

➤ Contraintes :

Les résultats trouvés vérifient bien tous les résultats anticipés

La flèche maximale est comme anticipés ainsi que le flambement des paries 2 et 3.

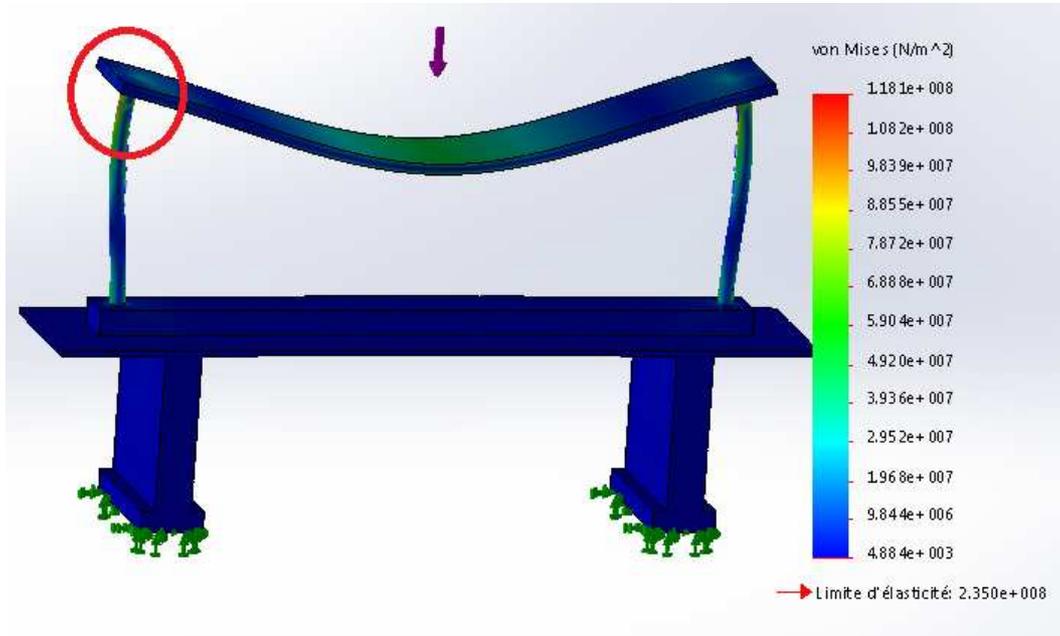


Figure 31 : contraintes trouvées

Les zones de concentrations de contraintes sont là où la couleur est rouge.

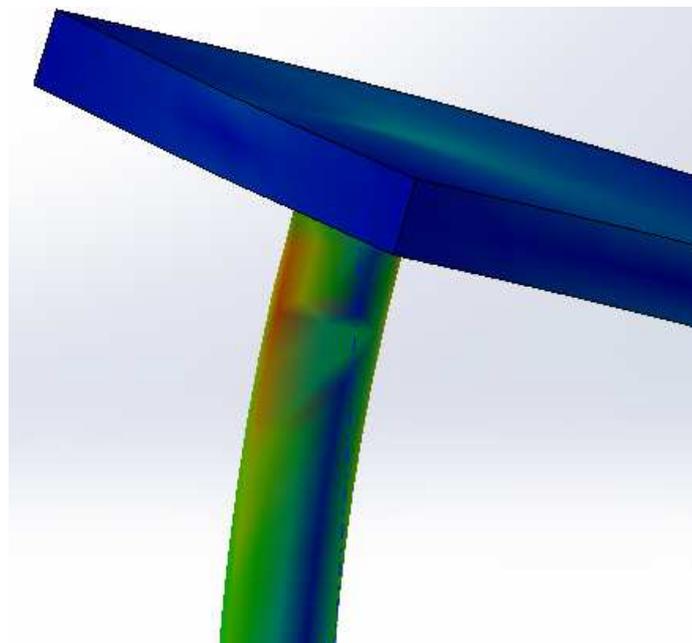


Figure 32 : zone de concentration de contraintes



➤ Conclusion :

La contrainte maximale de Von Mises obtenue par l'analyse numérique est de 178,8MPa.

Pour le support en S185, le facteur de sécurité obtenu est donné par le critère de Von Mises :

$$FS = \frac{S_y}{\sigma_{vm}} = \frac{235}{118} = 1.99$$

Le problème est dans la structure le flambement des parties 2 et 3, d'où on procède premièrement par la modification de la structure en éliminant ces deux parties puisque son rôle est de déplacer le support selon le diamètre de la pièce, ce qui peut être assuré par la translation verticale de la torche.

III. Reconception de la structure :

Nous avons évalué la résistance et la rigidité de notre système, les problèmes rencontrés nous ont poussés à chercher à modifier la structure au niveau du support où nous allons poser la pièce.

1. La nouvelle conception du support :

La solution proposée se base sur l'élimination des vis sans fin puis éliminer la translation verticale du support où nous allons poser la pièce en soudant les parties inférieures et supérieures du support.

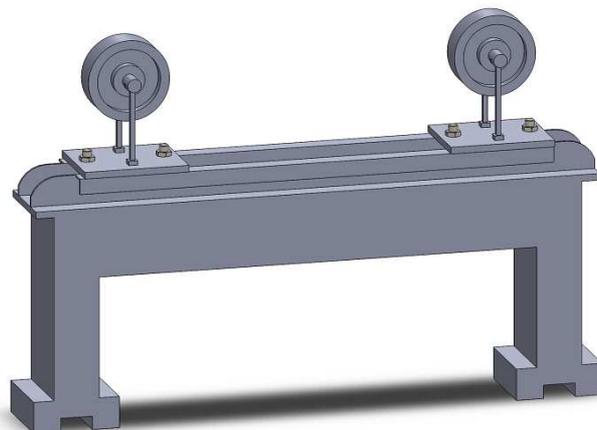


Figure 33 : la nouvelle structure

2. Calcul de structure statique de la nouvelle structure :



1.1. Contexte et objectifs :

- Contexte :

Pratique : minimiser la flexion, éliminer le flambement, choisir le matériau convenable et améliorer le facteur de sécurité.

- Objectif :

L'objectif de l'étude est de vérifier la résistance et la rigidité de la nouvelle structure proposée et choisir le matériau convenable en termes de facteur de sécurité et du coût.

1.2. Données du problème :

D'abord nous avons éliminé les éléments non structuraux.

- Dimensions et propriétés de la section :

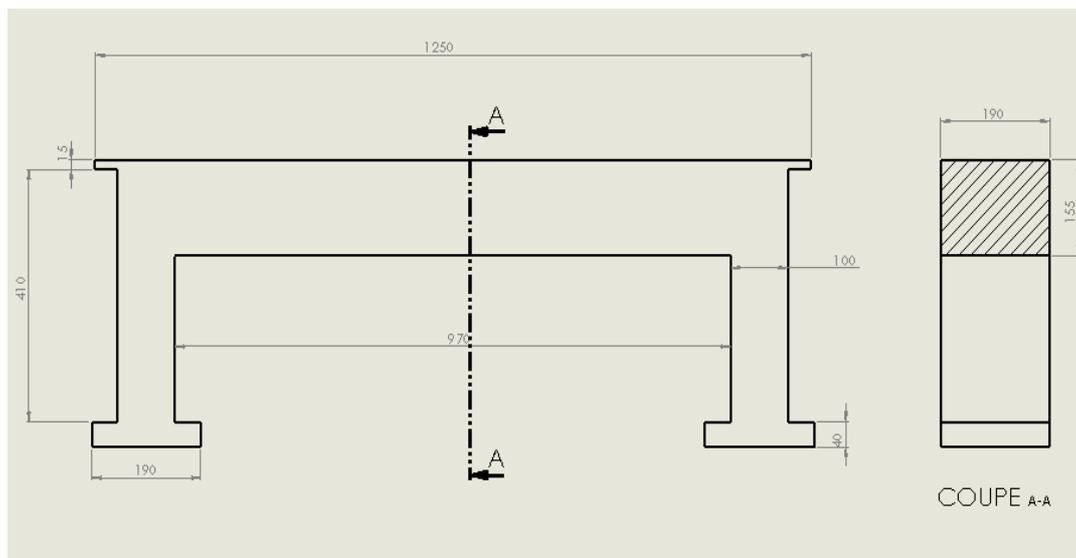


Figure 34 : dimensions du support et propriété de la section

- Propriétés du matériau :

Puisque nous allons concevoir une nouvelle structure, le matériau est inconnu donc on va utiliser les aciers de construction mécaniques avant de choisir le meilleur à utiliser, le tableau suivant présente leurs propriétés :

Tableau 14 : propriétés mécaniques des Aciers de construction

Matériau	Acier S185	Acier S235	Acier S 335	Acier 275
----------	------------	------------	-------------	-----------



Module d'élasticité	20500 MPa	20500 MPa	20500 MPa	20500 MPa
Coefficient de Poisson	0.3	0.3	0.3	0.3
Densité	7800 kg/m ³	7800 kg/m ³	7800 kg/m ³	7800 kg/m ³
Résistance à la rupture	290 MPa	340 MPa	490 MPa	410 MPa
Résistance à la traction	290 MPa	340 MPa	490 MPa	410 MPa
Limite d'élasticité	185 MPa	235 MPa	355 MPa	275 MPa

•Hypothèses :

- On fait l'hypothèse d'un état plan de contrainte, parce que le support est généré projection d'un profil 2D et que les efforts sont appliqués uniformément dans le plan.
- Dans l'analyse, on néglige les parties qui n'ont aucun rôle structural.
- La longueur du support est plus de 10 fois supérieure aux dimensions transversales. Par conséquent on peut négliger, pour le calcul classique, l'effet du cisaillement transverse.
- Le poids du support peut être négligé devant le poids de la pièce. Par conséquent l'effet de la gravité sera négligé.

•Gravité :

On utilise une accélération gravitationnelle de $9,81 \text{ m/s}^2$ pour calculer le poids de la pièce.

Le poids est donc de $700\text{Kg} \cdot 9,81\text{m/s}^2 = 6867\text{N}$.

1.3. Résultats anticipés :

- Soumise à la masse 700Kg, la partie supérieure fléchira vers le bas.
- Les fibres supérieures seront en tension et celles inférieures en compression.

1.4. Planification du modèle numérique :

➤ Type de problème :

On fera une analyse statique afin de calculer les déplacements et les contraintes.



On peut modéliser les parties du support avec les éléments de poutre. Cependant, les efforts agissant suivant l'épaisseur de la partie 1, cette partie présentera un état plan de contrainte. On peut donc réduire le problème physique 3D à un problème numérique 2D.

➤ Modèle géométrique :

Le modèle géométrique qui sera utilisé pour simuler le support est présenté ci-dessous.

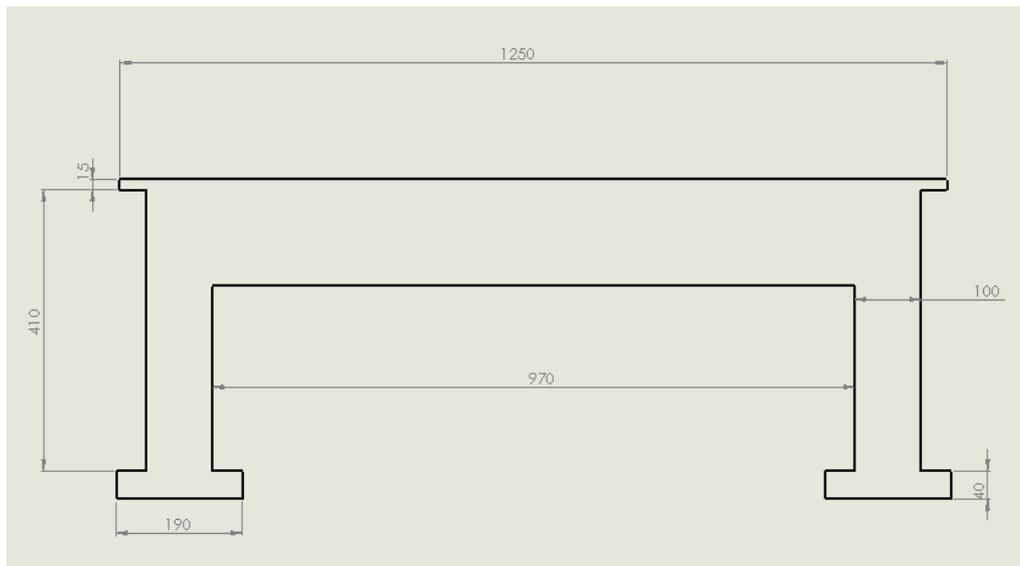


Figure 35 : modèle géométrique

➤ Maillage :

Le maillage de la géométrie utilisera principalement des éléments 2D quadrangles paraboliques.

Les raisons du choix des éléments sont :

- Analyse 2D en état plan de contrainte : éléments 2D.
- Forme rectangulaire : éléments quadrangles (converge mieux que triangles).
- Flexion du plan : éléments paraboliques (représentent mieux la flèche).

➤ Conditions aux frontières :

La structure est sollicitée dans le cas statique par le poids du cylindre.

Le poids maximale du cylindre est 700Kg, donc la force sera : $700\text{Kg} \cdot 9,81\text{m/s}^2 = 6867\text{N}$.



Le cylindre va être déposé sur deux supports d'où la structure étudiée va supporter la moitié de cette charge, la force appliquée sur cette structure sera donc 3433.5N. Il est déposé au centre du support.

Les parties inférieures sont encastrées comme illustre la figure ci-dessous.



Figure 36 : conditions aux frontières

1.5. Résultats numériques :

➤ Maillage :

La figure suivante illustre le maillage exécuté par le Solidworks simulation :

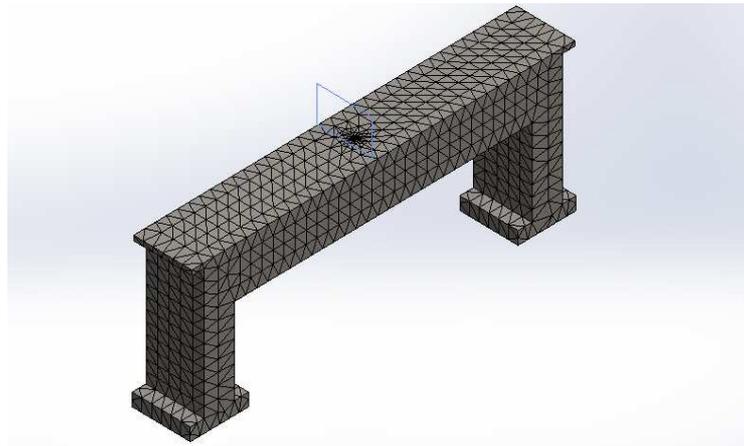


Figure 37 : maillage du modèle

➤ Contraintes :

On utilise premièrement l'acier S185 puisque il est le moins cher.

Les résultats trouvés pour le premier matériau S185 sont comme montre la figure suivante :

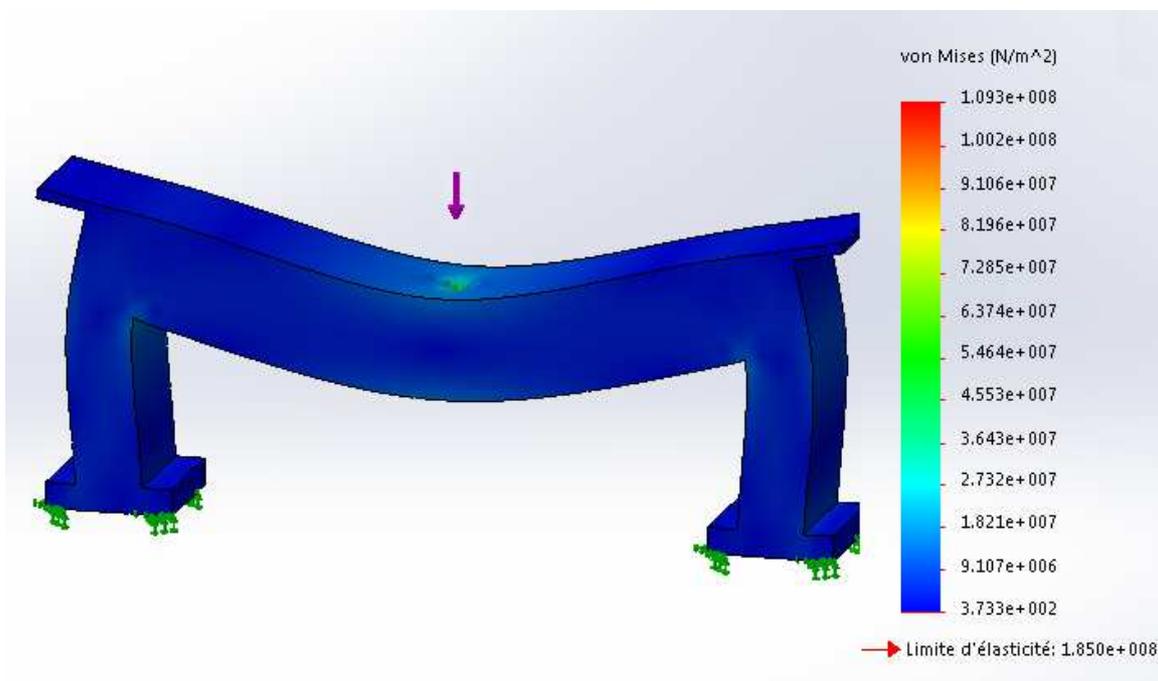


Figure 38 : contraintes trouvés

La flèche maximale est comme anticipés ainsi que le flambement trouvé dans la première structure est supprimé.



➤ Conclusion :

La contrainte maximale de Von Mises obtenue par l'analyse numérique est de MPa.

Le facteur de sécurité obtenu est donné par le critère de Von Mises :

$$FS = \frac{S_y}{\sigma_{vm}} = \frac{185}{109.3} = 1.69$$

Le facteur de sécurité est près de 1 donc la fatigue survient tôt ce qui peut causer une dégradation brutale.

D'où on change le matériau et on compare les résultats trouvées, le tableau suivant les présentent :

Tableau 15 : facteur de sécurité des matériaux utilisés

Matériau	Acier S185	Acier S235	Acier S335	Acier S275
Limite d'élasticité	185	235	355	275
Contrainte de Von Mises	109.3	75.9	75.04	75.08
Facteur de sécurité	1.69	3.09	4.73	3.66

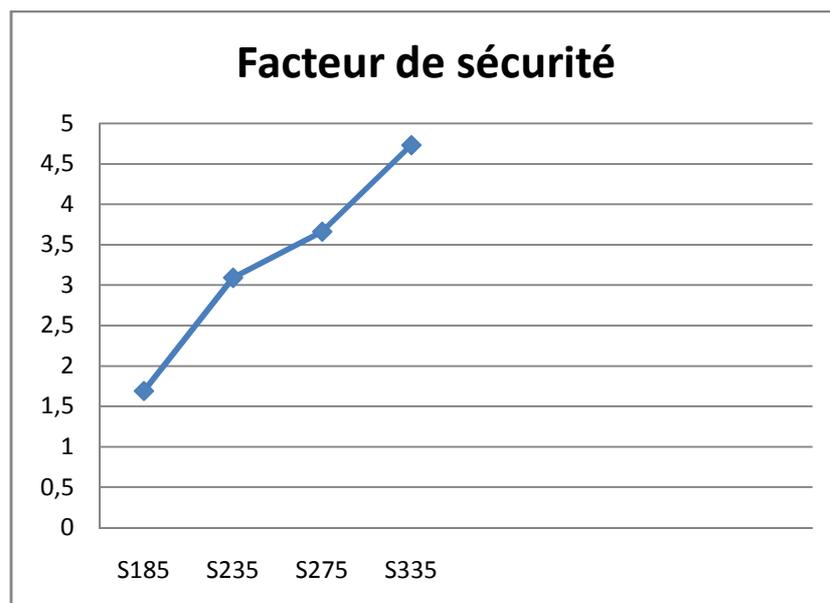


Figure 39 : courbe des facteurs de sécurité



L'acier S185 donne un facteur de sécurité près de 1 ce qui n'assure pas la sécurité de la structure, les autres aciers donnent des facteurs de sécurité bonnes, l'utilisation de ces aciers assure la résistance de la structure mais on ne peut pas juste choisir l'acier qui donne le meilleur facteur de sécurité, il faut choisir le bon matériau en tenant compte du prix.

Les aciers S335 et S275 sont plus cher que le S235, il est moins cher et au même temps il assure un bon facteur de sécurité.

D'où nous allons choisir l'acier de construction mécanique S235.

IV. Processus de fabrication de la machine de soudage semi-automatique :

Pour la fabrication de la machine de soudage semi-automatique, ils existent des pièces standards qui sont disponible sur le marché : les pignons, les vis sans fin et les crémaillères, d'autres composants peuvent être fabriqués à partir de l'usinage des profilés UPN et HEA.

1. Table des besoins :

Tableau 16 : table des besoins

L'élément	Dimensions	nombre
ProfiléUPN 400 (1)	h=400, b=110, l= 5160	2
ProfiléUPN 400 (2)	h=400, b=110, l= 1380	2
ProfiléUPN 120	h=120, b=55, l= 3370	2
ProfiléUPN 120	h=120, b=55, l= 5650	1
Profilé HEA 100	h=100, b=55, l= 435	
Crémaillère	Longueur : 5650, largeur : 100mm	1
Crémaillère	Longueur : 650mm, largeur : 20mm	4
Vis sans fin	Longueur : 1580mm, diamètre : 30mm	2
Pignon 1	(voir Figure 38)	2



Pignon 2	(voir Figure 38)	1
Glissière (voir Figure 38)	—	1
Glissière (voir Figure 38)	—	1

Module: 4

Nombre de dents: 15

Angle de pression: 20

Largeur de la face: 20

Style de moyeu: Type A

Diamètre nominal de l'arbre: 30

Rainure: Aucun

Montrer les dents: 15

Pignon 1

Module: 22

Nombre de dents: 13

Angle de pression: 20

Largeur de la face: 100

Style de moyeu: Type A

Diamètre nominal de l'arbre: 60

Rainure: Aucun

Montrer les dents: 13

Pignon 2

Figure 40 : propriétés standardisés des pignons



Fers U normaux européens
Dimensions: DIN 1026-1: 2009, NF A 45-202: 1986
Tolérances: EN 10279: 2000
Etat de surface: conforme à EN 10163-3: 2004, classe C, sous-classe 1

European standard channels
Dimensions: DIN 1026-1: 2009, NF A 45-202: 1986
Tolérances: EN 10279: 2000
Surface condition: according to EN 10163-3: 2004, class C, subclass 1

Europäische U-Stahl-Normalprofile
Abmessungen: DIN 1026-1: 2009, NF A 45-202: 1986
Toleranzen: EN 10279: 2000
Oberflächenbeschaffenheit: Gemäß EN 10163-3: 2004, Klasse C, Untergruppe 1

Désignation Designation Bezeichnung	Dimensions Abmessungen							Dimensions de construction Dimensions for detailing Konstruktionsmaße				Surface Oberfläche		
	G kg/m	h mm	b mm	t _w mm	t _f mm	r ₁ mm	r ₂ mm	A mm ² x10 ²	d mm	∅	e _{min} mm	e _{max} mm	A _f m ² /m	A _c m ² /t
UPN 120	13,4	120	55	7,0	9,0	9,0	4,5	17,0	82	-	-	-	0,434	32,52
UPN 140	16,0	140	60	7,0	10,0	10,0	5,0	20,4	98	M 12	33	37	0,489	30,54
UPN 160	18,8	160	65	7,5	10,5	10,5	5,5	24,0	115	M 12	34	42	0,546	28,98
UPN 180	22,0	180	70	8,0	11,0	11,0	5,5	28,0	133	M 16	38	41	0,611	27,80
UPN 200	25,3	200	75	8,5	11,5	11,5	6,0	32,2	151	M 16	39	46	0,661	26,15
UPN 220	29,4	220	80	9,0	12,5	12,5	6,5	37,4	167	M 16	40	51	0,718	24,46
UPN 240	33,2	240	85	9,5	13,0	13,0	6,5	42,3	184	M 20	46	50	0,775	23,34
UPN 260	37,9	260	90	10,0	14,0	14,0	7,0	48,3	200	M 22	50	52	0,834	22,00
UPN 280	41,8	280	95	10,0	15,0	15,0	7,5	53,3	216	M 22	52	57	0,890	21,27
UPN 300	46,2	300	100	10,0	16,0	16,0	8,0	58,8	232	M 24	55	59	0,950	20,58
UPN 320*	59,5	320	100	14,0	17,5	17,5	8,8	75,8	246	M 22	58	62	0,982	16,50
UPN 350	60,6	350	100	14,0	16,0	16,0	8,0	77,3	282	M 22	56	62	1,05	17,25
UPN 380*	63,1	380	102	13,5	16,0	16,0	8,0	80,4	313	M 24	59	60	1,11	17,59
UPN 400*	71,8	400	110	14,0	18,0	18,0	9,0	91,5	324	M 27	61	62	1,18	16,46

Figure 41 : caractéristiques des profilés UPN

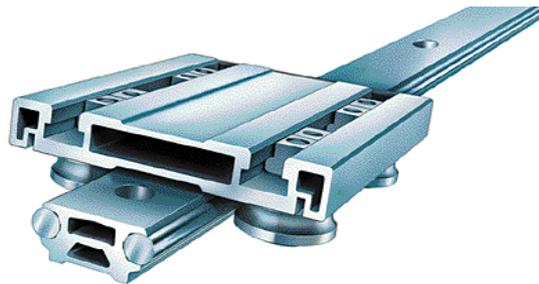


Figure 42 : Glissière

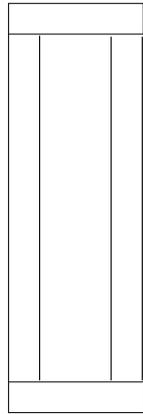
2. Gammes de fabrication :

1.1.Sol de la machine :

Tableau 17 : gamme de fabrication du sol

Sol de la machine	matière	ZINELEC
--------------------------	----------------	----------------



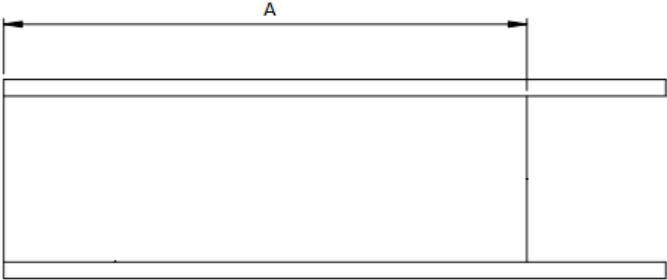
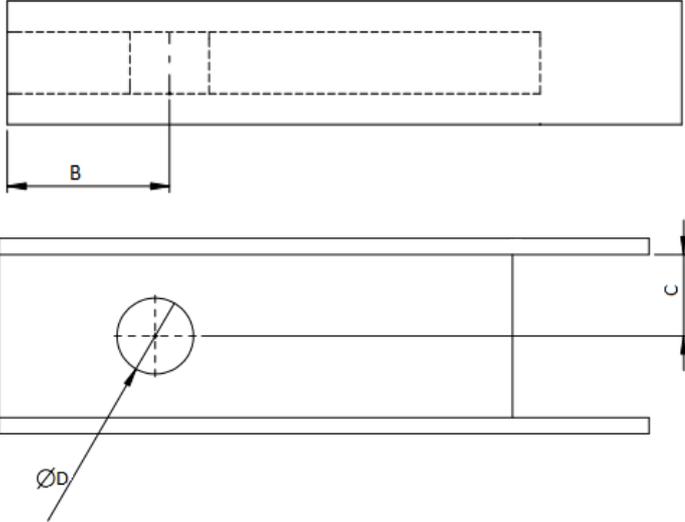
Rep	Désignation	S235	Brut : 2 profilés UPN 400 (1) 2 profilés UPN 400 (2)	N° : 1
N° des phases	Désignation des phases et	Machines utilisés	Dessin de la pièce obtenue	
00	Souder les 4 profilés dans les extrémités	Poste de soudage		

1.2. Porte vis sans fin :

Tableau 18 : gamme de fabrication du porte vis sans fin

Rep	Porte vis sans fin	matière	ZINELEC	N° : 2
Rep	Désignation	S235	Brut : profilé HEA 120	N° : 2
N° des phases	Désignation des phases et	Machines utilisés	Dessin de la pièce obtenue	



00	A=380 mm Mise en position Découpage	Tour CN	
10	D= 70 mm B= 100 mm C= 60 mm Mise en position Perçage	Perceuse	

3. Etude économique :

A fin d'avoir une idée sur le coût de la réalisation de la machine de soudage semi-automatique, nous allons compléter l'étude de la réalisation par une estimation réelle des frais de la fabrication.

Dans l'étude des projets il est nécessaire d'élaborer une partie qui concerne la gestion du projet et son étude économique pour déterminer les coûts et par conséquent le degré de sa rentabilité. Pour



cela, on a discuté avec le service d'achat de ZINELEC qui nous a informés que pour déterminer le coût du système nous sommes amenés à définir :

- Le coût de l'étude ;
- Le coût de la matière première ;
- Le coût de l'élément standard ;
- Le coût de la réalisation.

Le tableau suivant présente le cout de la matière première et des éléments standards :

Tableau 19 : tableau des couts

L'élément	nombre	Prix unitaire(DH)	Prix (DH)
Profil UPN 400 (1)	2	1000	2000
Profil UPN 400 (2)	2	500	1000
Profil UPN 120	2	750	1500
Profil UPN 100	1	1000	1000
Crémaillère	1	500	500
Crémaillère	4	125	500
Vis sans fin	2	300	600
Pignon 1	1	250	250
Pignon 2	2	125	250
Glissière (1)(voir Figure 38)	2	250	500
Glissière (2)(voir Figure 38)	2	150	300
Cout total		8400	

La réalisation va se faire par soudage,le cout de l'opération de soudage est 1000DH.



→ Donc le cout estimé total de la fabrication de la machine de soudage semi-automatique est de 9400DH.

Conclusion

Ce projet avait pour objectif d'appliquer les notions de la méthodologie de conception afin de concevoir une machine de soudage semi-automatique et d'élaborer une étude qui permettra de trouver le meilleur concept et vérifier sa résistance et rigidité. Nous avons entamé ce projet dans un premier temps par l'analyse fonctionnelle afin de rechercher et caractériser les fonctions offertes par la machine pour satisfaire les besoins du client. Puis nous avons utilisé la maison de la qualité pour préciser les caractéristiques à étudier en liant la demande du client avec les caractéristiques du produit et on a trouvé que les caractéristiques qui influent plus sur la satisfaction du client sont la vitesse, le nombre de moteurs, le nombre de mouvements, et le cout. Ces caractéristiques ont servi comme critères lors de génération des concepts, où nous avons utilisé la matrice morphologique afin de générer le maximum des concepts.

À l'aide de ces outils nous avons trouvé différentes solutions possibles. Afin de définir le concept optimum nous avons appliqué la matrice de Pugh, qui nous a donné comme résultat le troisième concept qui simplifie l'utilisation et réduit le cout. Et pour vérifier la rigidité de notre concept, nous avons effectué un calcul de structure, qui nous a permis d'identifier les zones de concentration de contraintes. Sur la base des résultats du calcul de la structure nous avons modifié le concept choisi ce qui a amélioré la performance de la structure, ensuite nous avons effectué un choix de matériaux en tenant compte du facteur de sécurité et du prix.

Finalement nous avons réalisé l'étude économique de notre projet en identifiant premièrement le cout de la matière première et des éléments standards, puis le cout de la réalisation, le cout total estimé de ce projet est de 9400DH.

Ce stage de fin d'études nous a été d'une grande utilité, il vient de compléter nos compétences et notre formation académique en nous permettant, outre que fréquenter le milieu industriel, de réaliser une étude technique et de mettre en pratique nos connaissances théoriques.

. Nous espérons par ce travail avoir contribué à amener une valeur ajoutée au savoir de l'équipe de l'atelier de production avec laquelle nous avons eu l'honneur de travailler pendant cette période de stage. Par ailleurs, ce projet a été pour nous une opportunité enrichissante pour appliquer les



méthodes puissantes de la conception et exploiter ainsi ce que nous avons acquis durant notre formation dans notre établissement.

Références bibliographiques

- Cours "Calcul des structures", Mr. Jalil Abouchita, 2015.
- Cours "Méthodologie de conception", Mr. Ahmed Aboutajeddine, 2015.