

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Abderrahmane MIRA de BEJAIA

Faculté de Technologie

Département Génie Mécanique

## Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Génie Mécanique

Spécialité : Conception Mécanique et Productique

### THEME

Etude, conception et réalisation d'une structure  
tubulaire en acier pour la cabine de mini pelleuse

**Réalisé par**

Mlle CHERIGUEN Amel

Mr RABHI Abderrahim

**Proposé et dirigé par :**

Mr.BELAMRI Abdelatif

**Présenté devant le jury :**

Mr. OURARI Mahmoud - Université de Bejaia - Président

Mr. SFARNI Samir - Université de Bejaia - Examineur

Promotion 2015/2016

# Remerciements

Dieu merci pour la santé, la volonté le courage et la persévérance

Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements et notre sincère gratitude :

Aux membres de jury de nous avoir fait l'honneur d'accepter de juger et d'examiner notre travail.

A notre promoteur Mr Belamri , de nous avoir encadré, de son suivi, ses conseils, sa disponibilité et sa patience. Nous vous témoignons ici toute notre reconnaissance.

A tout le personnel du HALL de Technologie (Rachid et Abdellah, et d'autres) pour leur serviabilité.

A tous les amis (es) qui n'ont pas hésité à nous donner leurs soutiens.

Enfin on ne peut oublier de remercier tous ce qui a contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

# Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail*

À ceux qui n'ont jamais cessés de m'encourager et de me soutenir, à ceux qui leur amour m'a donné la volonté d'aller toujours de l'avant, à mes très chers parents, que dieu les protège.

Mes deux sœurs Salima et Zina, mon frère Kichem, je leurs souhaite une vie heureuses pleine de santé et réussites, que dieux me les garde.

À toute ma famille oncles et tantes, cousins et cousines.

À mes amies et copines de chambre Samia, Wafa et Ryma.

À l'équipe conception et fabrication mécanique en particulier et mes amis des autres spécialités en général.

À notre enseignant et promoteur Belamri Abdelatif, qui n'a jamais cessé de nous encourager dans tous les domaines.

Mr. Rachid et Mr. Abdellah pour leurs aides et services.

Ch. Amel

# Table des matières

## Introduction

Méthodologie..... 1

Chapitre I : Types de cabines d'engins selon leur environnement de fonctionnement .....**Erreur ! Signet non défini.**

I.1) Agricole ..... **Erreur ! Signet non défini.**

I.2) Minier et travaux publics ..... **Erreur ! Signet non défini.**

I.3) Levage..... **Erreur ! Signet non défini.**

I.4) Forestier ..... **Erreur ! Signet non défini.**

I.5) Manutention ..... **Erreur ! Signet non défini.**

I.6) Aéroportuaire ..... **Erreur ! Signet non défini.**

I.7) Montagne ..... **Erreur ! Signet non défini.**

Chapitre II : Méthodes de fabrication de cabines ..... **Erreur ! Signet non défini.**

II.A) Fabrication à base de tôle ..... **Erreur ! Signet non défini.**

A.1) L'emboutissage ..... **Erreur ! Signet non défini.**

A.2) Problèmes techniques ..... **Erreur ! Signet non défini.**

A.3) Assemblage ..... **Erreur ! Signet non défini.**

3.1) Assemblage par rivetage ..... **Erreur ! Signet non défini.**

3.1.1) Méthodes de rivetage ..... **Erreur ! Signet non défini.**

II .B) Fabrication à base de résine moulée reposée sur une structure tubulaire en acier (cage de renfort) :..... **Erreur ! Signet non défini.**

B.1) La coque en résine : ..... **Erreur ! Signet non défini.**

1.1) Le composite : ..... **Erreur ! Signet non défini.**

1.2) Les matrices (résines)..... **Erreur ! Signet non défini.**

3.a) Les fibres de verre (3) ..... **Erreur ! Signet non défini.**

3.b) Les fibres de carbone ..... **Erreur ! Signet non défini.**

3.c) Les fibres d'aramide..... **Erreur ! Signet non défini.**

B.2) Différentes méthodes de moulage ..... **Erreur ! Signet non défini.**

B.2.1) Moulage au contact..... **Erreur ! Signet non défini.**

B.2.2) Moulage sous pression ..... **Erreur ! Signet non défini.**

4.c) Moulage par projection simultanée ..... **Erreur ! Signet non défini.**

B.2) L'armature : la structure tubulaire en acier ..... **Erreur ! Signet non défini.**

B.2.1) Définition du soudage ..... **Erreur ! Signet non défini.**

B.2.2) Critères de choix de la forme des profilés ..... **Erreur ! Signet non défini.**

B.2.2.1) Caractéristiques de résistance des tubes: ..... **Erreur ! Signet non défini.**

B.2.3) Cintrage des tubes en acier :

.....**Erreur ! Signet non défini.**

B.2.4) Découpage des

tubes (coupes) .....**Erreur ! Signet non défini.**

Chapitre III:Etude de la cabine par simulation du comportement aux différents chargements

III.1) Procédure d'une simulation solidworks (étapes et généralités).....39

III.2) Présentation du projet .....40

III.3) Simulation du comportement de la cabine.....40

Chapitre IV) : La fabrication de la cage tubulaire.....54

IV.1) Réalisation de la cage tubulaire.....54

IV.2) Réalisation de la cabine.....57

Conclusion .....58

# Listes des figures

Fig1. Cabine agricole .....	1
Fig2. Bulldozer.....	1
Fig3. Engin du secteur de levage.....	2
Fig4. Engin pour le secteur forestier.....	2
Fig5. Machine de manutention.....	3
Fig6. Machine aéroportuaire.....	4
Fig7. Cabine de control .....	4
Fig8. Presse à emboutir.....	6
Fig9. Les 4 étapes d'emboutissage de toles .....	8
Fig10. Exemple d'une cabine réalisée à base de tôles rivetées.....	11
Fig11. Les clinques types standards des rivets.....	11
Fig12. Comment déterminer le diamètre des rivets à employer.....	13
Fig13. Schéma du procédé du rivetage à chaud.....	13
Fig14. Riveteuses pneumatique.....	14
Fig15. Riveteuse opérant par compression.....	15
Fig16. Image illustrant le soudage par point .....	16
Fig17. Système de soudage par points.....	16
Fig18. Fibre de verre.....	21
Fig19. Fibre de carbone.....	22
Fig20. Capot carbone pré-imprégné .....	23
Fig21. Aileron auto carbone pré-imprégné.....	23
Fig22. Fibre aramide.....	23
Fig23. Résistance à la fatigue.....	24
Fig24. Procédé de moulage au contact.....	26
Fig25. Procédé de moulage sous pression .....	27
Fig26. Procédé de Moulage par projection simultanée.....	28
Fig27. Chassis automobile en treillis .....	29
Fig28. Cadre moto en treillis .....	29

Fig29. Schémas explicatif du procédé du soudage à l'arc.....	30
Fig30. Calcul du cordon de soudure pour un tube soudé en révolution sur une plaque.....	31
Fig31. Schéma explicatif.....	31
Fig32. Cintreuse numérique.....	34
Fig33. Cintreuse manuelle.....	35
Fig34. Schéma d'une cintreuse manuelle.....	36
Fig35. Schéma explicatif de la condition de la trace.....	37
Fig36. Fixation de la cabine sur le châssis, appelé géométrie fixe sur le logiciel.....	39
Fig37.maquettes de la cage tubulaire en pailles en plastique.....	40
Fig38. Sous une charge de 20 000 N en flexion, la structure présente un coefficient de sécurité minimum de 0,38.....	41
Fig39. Sous une charge de 20 000 N en flambement, la structure présente un coefficient de sécurité minimum de 1,5.....	42
Fig40. Les déformations engendrées par le chargement sur la cage tubulaire.....	42
Fig41. Résultats de la première simulation au niveau de la base (distribution des déformations).....	43
Fig42. Mise en place de renforcement où on voit clairement l'augmentation de la résistance en flexion de la cabine, le côté renforcé se déforme moins que le côté libre.....	44
Fig43. Amélioration de la résistance au flambement, de la cabine en mettant la traverse en diagonale.....	45
Fig44. Réduction de la flexion des montants après l'ajout d'un deuxième renforcement.....	45
Fig45. Distribution des déformations après l'ajout des renforts.....	46
Fig46. Temps de maillage du modèle 3D de la cabine, à 6 minutes le maillage est à 32%.....	46
Fig47. Maillage de la cabine après l'ajout des renforcements.....	47
Fig48. Distribution du coefficient de sécurité après l'ajout des renforts.....	48
Fig49. Distribution des contraintes de Von Mises.....	49
Fig50. Distribution des déplacements, le déplacement maximum est de l'ordre de 0.3 mm.....	50
Fig51. Rendu final 3D de la cabine sur le logiciel de simulation Solidworks.....	51
Fig52. Supports triangulaires démontés.....	52

Fig53. Support monté et fixé.....	52
Fig54. Premiers résultats de simulation des supports (les déplacements) .....	52
Fig55. Résultats de simulation du support après modification de l'épaisseur.....	53
Fig56. Gabarit qui forme la base de la cage.....	54
Fig 57. La base tubulaire de la cabine.....	55
Fig.58. Gabarit d'orientation des montants à 80°.....	55
Fig .59.Montants soudés, début de réalisation.....	56
Fig.60. Les zones coudées de la cage tubulaire.....	56
Fig.61. La cabine finalisée et fixée sur le châssis.....	57
Fig.62. Les outils de réalisation de la maquette en argile.....	57
Fig.63. Maquette finale.....	58



## Liste des tableaux

Tab1 : les caractéristiques de soudage des métaux.....	18
--	----

## INTRODUCTION

Depuis toujours, les constructeurs d'engins ont été amenés à soulever des problématiques concernant la protection des opérateurs et leur environnement. Que ce soit en matière de sécurité, de confort, d'ergonomie, de visibilité ou même d'obligations liées à l'évolution des produits. Pour cela, les ingénieurs concepteurs considèrent que le développement du châssis et carrosserie d'un engin est primordiale en question de protection de l'opérateur.

La construction des cabines se fait en plusieurs procédés (emboutissage de tôles en acier ...), moulage des composites ou stratification (de nos jours, cette méthode est la plus appliquée pour la carrosserie automobile car elle permet d'obtenir une structure bien résistante aux chocs et très rigide, et largement plus légère par rapport à l'acier). Pour expliquer brièvement cette méthode, on parlera d'abord sur les matériaux à utiliser, (le moule voulu pour reproduire, les renforts pour rigidifier la structure, en général des fibres de verre ou de carbone, de la résine, et un démoulant qui est le gelcoat).

Il faut tenir compte que tout notre travail sera précédé par toute une étude et schématisation de la cabine et de la cage tubulaire, c'est la simulation par logiciels CAO (solidworks). La cage de notre pelleteuse sera faite en acier et soudée par soudage à l'arc.

Dans ce qui suit nous allons voir les différents types de châssis, leurs modes de réalisation, les matières utilisées, et aussi une vue sur les types de cabines etc.

## Méthodologie

Chaque projet est unique, et pour répondre parfaitement à chaque cahier des charges, il faut suivre systématiquement une procédure rigoureuse tout au long de la réalisation du projet

- Spécification technique Pré-étude et Pré-dimensionnement.
- Choix du procédé et des matériaux.
- Etudes et Dimensionnements.
- Définition Moules et Outillages.
- Réalisation prototype.
- Qualification

**CHAPITRE I**

**CABINES D'ENGINS DANS LEURS**

**ENVIRONNEMENTS DE**

**FONCTIONNEMENT**

## Chapitre I : Types de cabines d'engins selon leur environnement de fonctionnement

Il existe plusieurs types de cabines (1), chacune diffère de l'autre selon leurs environnements de fonctionnements, de cela il existe des cabines dans le secteur :

### I.1) Agricole

Depuis longtemps un marché porteur et dynamique, le secteur Agricole, a eu le besoin de protéger ses opérateurs dès le début des années 70. Initialement un besoin de protection sommaire contre les attaques climatiques, la cabine (fig.1) est rapidement devenu un outil de sécurité incontournable et de confort pour le conducteur. Aujourd'hui, ce secteur reste l'un des pionniers en matière d'évolution des métiers autour de la cabine et demande toujours plus de design, d'ergonomie, de confort et de sécurité.



Fig1. Cabine agricole

### I.2) Minier et travaux publics

Avec des exigences similaires au monde Agricole. Le secteur des Travaux Publics et sa branche « mines », ont également été depuis longtemps des secteurs demandeurs de protection des opérateurs et plus particulièrement en matière de cabine. Ces cabines exigent une Insonorisation optimisée comme le montrent les deux figures (fig.2).



Fig2. Bulldozer

### I.3) Levage

Très souvent apparentés aux cabines de camion, le secteur du levage, et plus précisément des grues mobiles, tend aujourd'hui vers plus de confort et de finitions intérieures et extérieures (fig.3) élevées. Voici les principales caractéristiques :

- Cabine légère et spacieuse.
- Très grand confort intérieur
- Bonne insonorisation
- Structure de cabine cataphorèse.



Fig3. Engin du secteur de levage

### I.4) Forestier

Le travail du bois et en particulier à la source, l'abattage et le débusquage, ont toujours été des métiers difficiles et à risques. Avec l'arrivée du machinisme, les engins ont très vite nécessité des cabines (fig.4) de protection pour les conducteurs



Fig4. Engin pour le secteur forestier

### I.5) Manutention

Le secteur de la manutention, et plus particulièrement des chariots élévateurs, est resté longtemps en retrait en matière de protection cabine. Bien que dotés depuis presque toujours d'un arceau de sécurité, les matériels ne se sont équipés de cabine qu'au début des années 90. Protection avant tout contre les aléas du temps, ces cabines sont devenues au fil des années un atout en termes de confort mais aussi de sécurité selon les utilisations très soumises des chariots. Voici les principaux besoins que nécessite le marché aujourd'hui :

- Rapides et simples à monter
- Bonne visibilité et fiabilité des éléments
  - Solutions de vitrages multiples (incassables, chauffants, teintés, etc...)

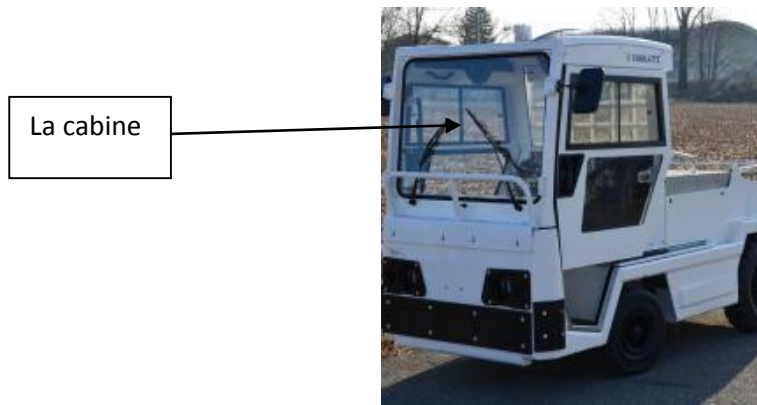


Fig5. Machine de manutention

### I.6) Aéroportuaire

Assez proche du secteur de la manutention et des chariots élévateurs, les véhicules de manutention du secteur des aéroports ont été rapidement demandeurs de cabines pour protéger les hommes. En effet, ces engins, beaucoup plus soumis aux contraintes climatiques, au bruit et en terme d'utilisation, ont nécessité l'équipement de cabines pour garantir à ses opérateurs tout le confort et la sécurité que requiert cette activité. Ce type de cabines exige une :

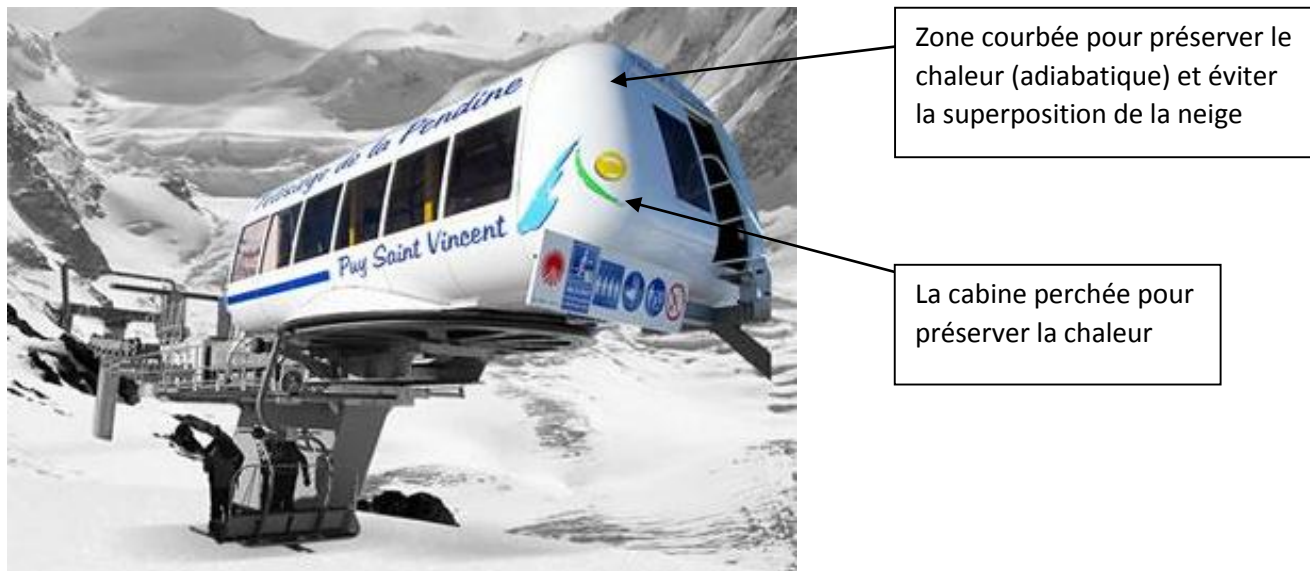
- Efficacité et robustesse.
- Fiabilité des matériaux et des composants.
- Cabine économique.



**Fig6.** Machine aéroportuaire

### I.7) Montagne

Le secteur de la montagne, et plus particulièrement des remontées mécaniques, a toujours eu besoin de cabines de contrôle (fig.7) ou de protection pour protéger les hommes et les matériels qui pilotent le transport par câble cabines de contrôle ou de protection. Subissant des contraintes climatiques fortes



**Fig7.** Cabine de control

**CHAPITRE II**

**METHODES DE FABRICATION DE**

**CABINES**



## Chapitre II : Méthodes de fabrication de cabines

Il existe deux méthodes de fabrication de coques de véhicules (2) :

Fabrication par moulage de matériaux composites (stratification ou stratoconception), et fabrication à base de tôles (emboutissage puis assemblage par soudage ou rivetage).

### II.A) Fabrication à base de tôle

#### Préfabrication

La fabrication de cabine à base de tôles nous permet d'obtenir, à partir d'une feuille de tôle plane et mince, un objet dont la forme n'est pas développable. L'ébauche en tôle est appelée « Becker », c'est la matière brute qui n'a pas encore été emboutie. La température de déformation se situe entre le tiers et la moitié de la température de fusion du matériau. la méthode la plus utilisée dans ce cas est l'emboutissage par matriçage.

#### A.1) L'emboutissage (5)

L'emboutissage est un terme qui définit une technique de fabrication et c'est un procédé de fabrication très utilisé dans l'industrie automobile, dans l'électroménager, etc...

Le principe est fondé sur la **déformation plastique** (fig.8) du matériau (en général un métal), déformation consistant en un allongement ou un rétreint local de la tôle pour obtenir la forme.

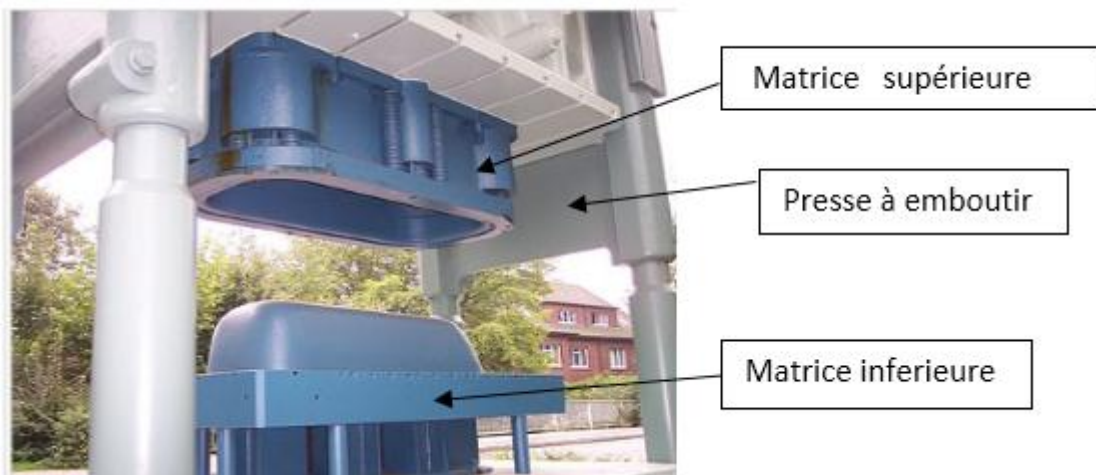


Fig8. Presse à emboutir

## Chapitre II méthodes de fabrication de cabines

L'emboutissage se pratique à l'aide de presses à emboutir de forte puissance munies d'outillages spéciaux qui comportent, dans le principe, trois pièces :

- une matrice, en creux, épouse la forme extérieure de la pièce
- un poinçon, en relief, épouse sa forme intérieure en réservant l'épaisseur de la tôle
- un serre-flan entoure le poinçon, s'applique contre le pourtour de la matrice et sert à coincer la tôle pendant l'application du poinçon.
- des jons sont parfois utilisés pour freiner le glissement de la tôle (retenue de l'acier)

L'entrée de la matrice doit être très arrondie et polie pour éviter toute déchirure du métal et pour optimiser le comportement des zones de rétreint - aucun angle ne doit être vif et un parfait état de surface est primordial : la mise au point de tels outils est une opération très spécialisée et très coûteuse notamment sur les pièces d'aspect (exemple : plusieurs mois pour l'extérieur d'une portière, capot, etc.)

L'opération d'emboutissage typique (double-effet)

- Phase 1 : poinçon et serre-flan sont relevés. La tôle, préalablement graissée, est posée sur la matrice.
- Phase 2 : le serre-flan est descendu et vient appliquer une pression bien déterminée, afin de maintenir la tôle tout en lui permettant de glisser.
- Phase 3 : le poinçon descend et déforme la tôle de façon plastique en l'appliquant contre le fond de la matrice.
- Phase 4 : le poinçon et le serre-flan se relèvent : la pièce conserve la forme acquise (limite d'élasticité dépassée). On procède au « détourage » de la pièce, c'est-à-dire à l'élimination des parties devenues inutiles. (essentiellement les parties saisies par le serre-flan).

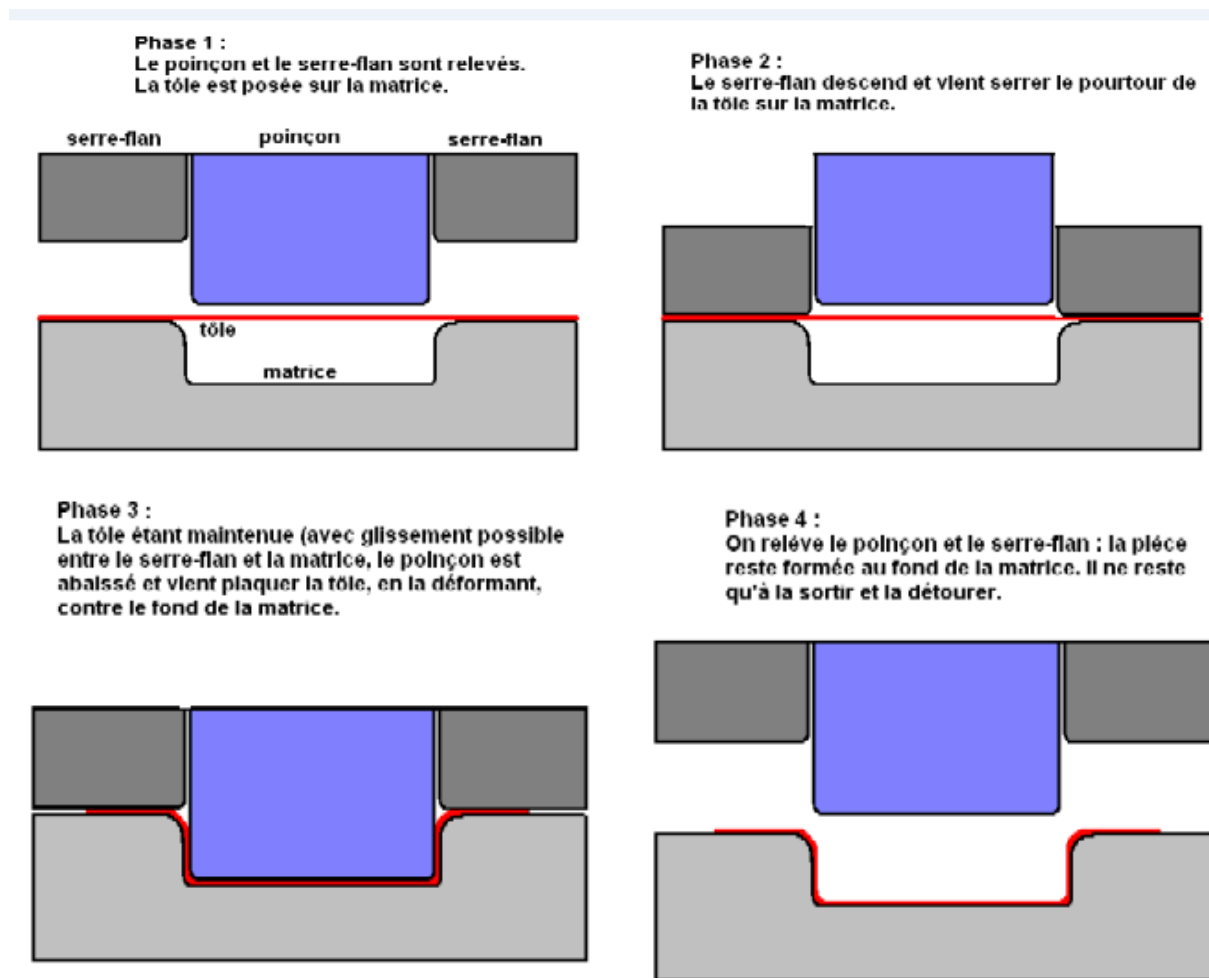


Fig9. Les 4 étapes d'emboutissage de toles

Selon la profondeur ou la forme de la pièce, plusieurs passes dans des outils différents peuvent être nécessaires.

### A.2) Problèmes techniques (5)

Sur certaines presses, la matrice peut se déplacer (emboutissage simple-effet). De même une matrice fixe peut comporter des parties mobiles (triple-effet etc.).

Le choix du procédé dépend du type de presse disponible en atelier (effort de serrage, dimension), de la forme de la pièce, du matériau (acier standard, acier à haute résistance, aluminium, etc.), du nombre total d'opérations pour obtenir la pièce finie, etc.

## Chapitre II méthodes de fabrication de cabines

La formabilité de l'acier est améliorée en chauffant légèrement mais il ne faut pas modifier la phase (état atomique) sinon les propriétés mécaniques sont modifiées (résistance, dureté, etc.). En général, l'emboutissage est une opération de formage à froid, la matrice étant généralement refroidie pour limiter l'échauffement lié au contact.

L'emboutissage ne plastifie pas entièrement la pièce, une étude de retour élastique est nécessaire pour assurer l'assemblage final.

Les opérations d'emboutissage posent de gros problèmes de frottement, d'usure et de lubrification.

### **-Quel acier en emboutissage?**

L'acier est un alliage métallique composé essentiellement de fer et de carbone. Le taux de carbone est inférieur à 2,5%, au-delà on obtient de la fonte. Suivant l'utilisation que l'on souhaite en faire, on lui ajoute différents alliages et/ou on lui applique des traitements thermiques. Les pourcentages de carbone dans les aciers métalliques sont :

- FER industriel : pourcentage de carbone  $< 0,05$  %
- ACIERS d'usage courant : % de carbone 0,05 % à 1,5 %
- FONTES : pourcentage de carbone 2,5 % à 5 %

L'augmentation du % carbone dans les aciers induit :

#### **L'augmentation de la :**

- Limite d'élasticité ( $R_e$ )
- Résistance maximale à la traction ( $R_m$ )
- Dureté (H)
- Résistance à la corrosion
- Résistance à l'usure
- Trempabilité

#### **La diminution de la :**

- Malléabilité (plasticité-ductilité)
- Résistance aux chocs (résilience)
- Soudabilité

Les techniques de laminage permettent d'obtenir des tôles d'acier très minces ayant des:

1. Surfaces propres et lisses
2. Structures métallurgiques homogènes
3. Caractéristiques mécaniques adaptées

Les tôles d'emboutissage en acier sont classées en trois catégories :

1. Tôle de fabrication courante (TC)
2. Tôle d'emboutissage (E)
3. Tôle d'emboutissage spéciale (ES)

Le choix d'un acier plus ou moins carburé dépend :

1. Résistance à l'usure : acier DUR (fort % carbone)
2. Chaudronnerie ou emboutissage : acier DOUX (faible % carbone)

Le cas particulier des aciers inoxydables qui se comportent différemment de l'acier doux du fait de la présence de Nickel et de Chrome. Ainsi les vitesses d'emboutissage doivent être plus lentes pour l'acier doux pour éviter un écrouissage rapide.

### A.3) Assemblage

#### 3.1) Assemblage par rivetage

Le **rivetage** est un assemblage de pièces à l'aide de rivets. C'est un assemblage définitif, c'est-à-dire non démontable sans destruction de l'attache.

De nos jours, le rivetage est largement employé là où il se révèle plus léger, plus fiable et plus rapide à mettre en œuvre que d'autres modes de fixation. Deux exemples extrêmes :

- Revêtements métalliques aéronautiques (légèreté, fiabilité).
- Assemblage de textiles pour vêtements.

Il est aussi beaucoup utilisé dans l'industrie mécanique et de plus en plus dans l'automobile car peu coûteux par rapport à un assemblage vis-écrou. Les rivetages modernes se

font dans des usines spécialisées. De façon générale, ils nécessitent certains calculs pour leur mise en œuvre.

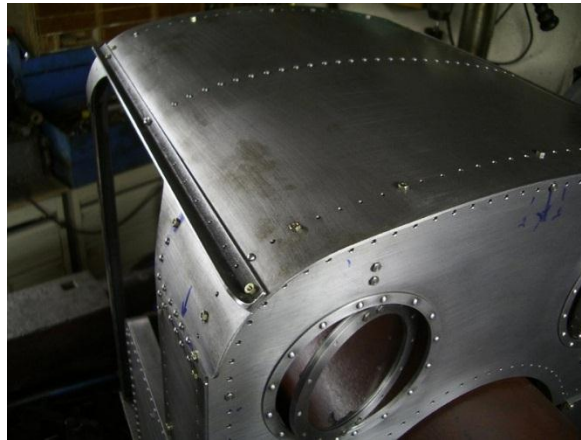


Fig10. Exemple d'une cabine réalisée à base de tôles rivetées

### Le rivet

Un **rivet** consiste en une tige unie et droite coiffée d'une tête dont la forme peut être très variée. Pendant le rivetage, vous formez une tête sur l'extrémité de la tige dont l'autre bout est la tête manufacturée. Ce procédé s'appelle rivetage ou rivure.

Les têtes manufacturées des rivets couramment employés dans les assemblages légers comme ceux de l'avionnerie sont en aluminium ou en alliage d'aluminium; elles ont 4 formes principales («basiques»). On les reconnaît par les désignations (en lettres et en chiffres) que fait voir la **figure suivante** :

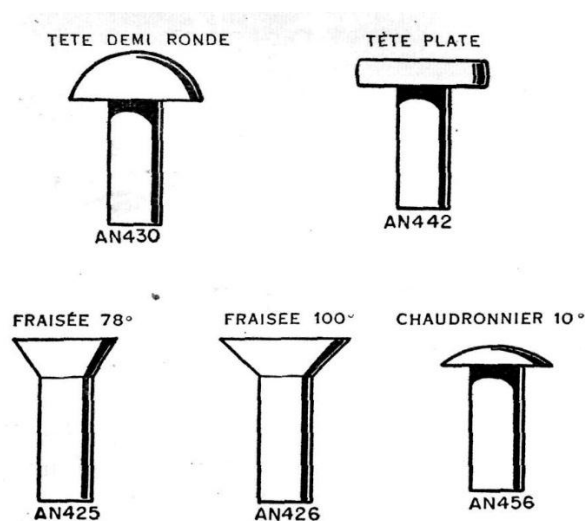


Fig11. Les cinq types standards des rivets

## Chapitre II méthodes de fabrication de cabines

Chaque type de rivet est destiné à un rivetage précis et cela dépend de plusieurs facteurs tels que : Le métal dont il se compose, son diamètre, et sa longueur.

Il est très important de choisir l'alliage d'aluminium voulu parce que, les rivets sont soumis à des efforts et tensions de cisaillement. La résistance d'un joint rivé à la somme de ces efforts et tensions dépend de la combinaison dûment effectuée du matériau et du rivet.

Enfoncer un rivet dur dans une plaque douce aura pour effet de gauchir la feuille métallique. En outre, on risque de perdre complètement les hautes propriétés de résistance au cisaillement du rivet.

Ceux qui font autorité en la matière déclarent qu'on doit éviter d'enfoncer un rivet dur dans du métal doux [5]. D'autre part, il est sage, à l'occasion, de se servir d'un rivet doux dans un matériau dur, surtout si le joint n'est pas soumis à des efforts et tensions exceptionnels. Cependant, règle générale, le matériau du rivet devrait avoir les mêmes propriétés que le métal dans lequel on se propose de le poser.

On peut différencier les rivets par la forme de leurs têtes, car il faut tenir compte que chaque forme de tête à une utilité précise par exemple :

Le rivet à tête type chaudronnier (brazier) est très employé en avionnerie pour river les feuilles minces exposées au remous créés par l'hélice. Ce rivet a une tête arrondie, basse, qui ne fait saillie qu'à peine au-dessus du métal, et qui, de la sorte, n'offre à l'air que peu de résistance.

Les rivets à tête fraisée (countersunk) parce qu'ils offrent un minimum de résistance au passage de l'air. Avant d'employer cette tête de rivet sur une feuille mince, on devra en évaser les trous sous presse (c'est le procédé appelé, en anglais, dimpling).

La force intégrale d'un joint rivé dépend de notre choix d'un rivet ayant la longueur et le diamètre voulus.

Si l'on insérait un rivet de grand diamètre dans une feuille mince, la pression requise pour enfoncer le rivet aurait pour résultat que le métal mince autour de la tête du rivet formerait une bosselure, une «enflure». C'est donc une règle généralement acceptée (figure 12) qu'il faut se servir d'un rivet dont le diamètre n'excède pas 2 1/2 ou 3 fois l'épaisseur de la plus épaisse des feuilles au travers desquelles le rivet est enfoncé.

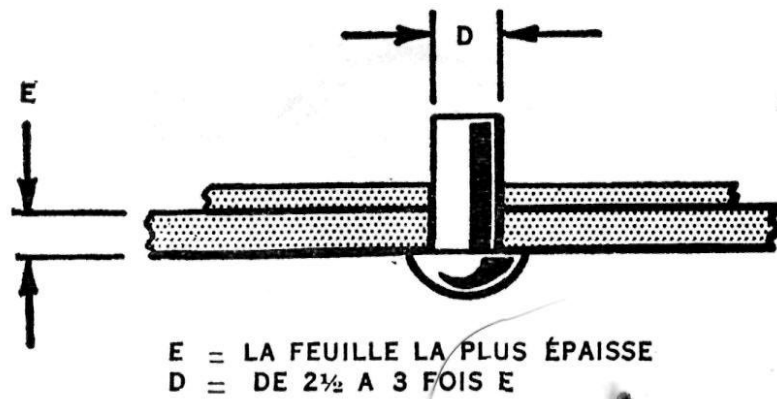


Fig12. Comment déterminer le diamètre des rivets à employer.

De toute façon, le diamètre du rivet ne doit pas être moindre que l'épaisseur de la plus épaisse des feuilles au travers desquelles il est enfoncé. On ne doit employer de rivets dont le diamètre est de moins de 3/32" pour aucune des parties de la structure qui sont soumises à des efforts et tensions. D'autre part, on emploie fort peu de rivets dont le diamètre excède 5/16".

Il est aussi des plus importants que le rivet ait la longueur voulue, parce qu'un rivet trop long tend à se gauchir quand on le rive.

D'autre part, un rivet trop court sera difficile à river et presque impossible à bien façonner. La longueur du rivet doit égaler la somme de l'épaisseur du métal, plus 1-1/2 fois le diamètre. La longueur maximum de la tige de rivet, avant qu'il soit enfoncé, ne doit pas excéder 1-3/4 fois son diamètre.

### 3.1) Méthodes de de rivetage (5)

#### - Rivetage à chaud (5)

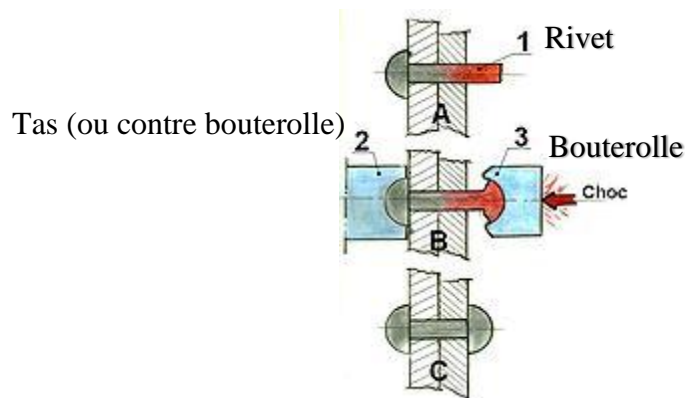


Fig13. Schéma du procédé du rivetage à chaud



Ce mode d'assemblage a connu une très large utilisation dans l'assemblage métallique au XIX<sup>e</sup> siècle avant l'apparition de la soudure oxyacétylénique : employé en rivetage « à chaud », il permettait un assemblage très résistant et de faible encombrement. On le trouvait utilisé pour l'assemblage des chaudières, la construction en charpente métallique (bâtiments, ponts, ouvrages d'art, ...), montage de grilles, portiques, rails. Il a longtemps été employé en construction navale car les tôles n'étaient pas déformées par la chaleur comme dans le cas du soudage.

### **Rivetage pneumatique**

Il arrivera, sur certains chantiers, qu'au lieu d'effectuer le rivetage à la main, vous devrez utiliser une riveuse pneumatique (fig.14). Il en existe quatre types principaux qui sont les riveuses à percussion lente, et à percussion rapide, celles qui rivent d'un seul coup, enfin les riveuses à compression.



Fig14. Riveteuses pneumatique.

Les riveteuses à percussion lente (slow hitting riveting hammers) donnent environ 2,500 P.P.M. (percussions par minute), cependant que les riveuses à percussion rapide (fast hitting riveting hammers) en donnent de 2,500 à 5,000.



Fig15. Riveteuse opérant par compression.

Les riveuses pneumatiques par compression (pneumatic squeeze riveters) se présentent sous divers formats allant des appareils minuscules aux puissantes machines stationnaires.

Lorsque vous pressez la gâchette, la bouterolle donne fortement contre la tête du rivet dont la tige, pénétrant dans la concavité du bloc opposé, épouse la forme de celle-ci. Ces bouterolles ou blocs de butée peuvent se régler à différentes hauteurs de façon à permettre le rivetage de plusieurs sortes de rivets. L'un des avantages de la riveuse à compression lui vient de ce qu'une fois réglée, elle refoulera tous les rivets uniformément.

### **2.b) Assemblage par soudage (6)**

Le soudage est un moyen d'assemblage permanent destiné à créer une continuité de la nature des métaux assemblés : matériaux et matières plastiques notamment.

Le soudage autorise l'assemblage permanent par fusion des bords des pièces à réunir et évite les apports de pièces et produits d'union comme les rivets, les agrafes, la boulonnerie.

Le principe du soudage

L'appellation du soudage s'applique dès l'ors que deux pièces sont réunies de façon à ce que la continuité de la matière entre les deux éléments soit telle qu'au niveau atomique des deux pièces n'en forment qu'une seule.

Le soudage rend donc obligatoire la présence des matériaux à souder, d'un appareil à soudage et d'une alimentation en énergie.

### Soudage des tôles

En général, dans la fabrication des cabines en tôles on utilise le **soudage par points**. Le soudage par points est un procédé d'assemblage discontinu, par recouvrement. Il s'applique à des assemblages en tôles d'aciers doux, allié, inoxydable, d'aluminium, etc. d'épaisseurs généralement comprises entre 0,5 et 10 mm.

La soudure par point est une méthode de soudage utilisant le principe de la soudure par résistance à électrode non fusible ou l'élévation de la température pour obtenir le point de fusion du métal s'ajoute à une forte pression mécanique (fig.16 et 17).

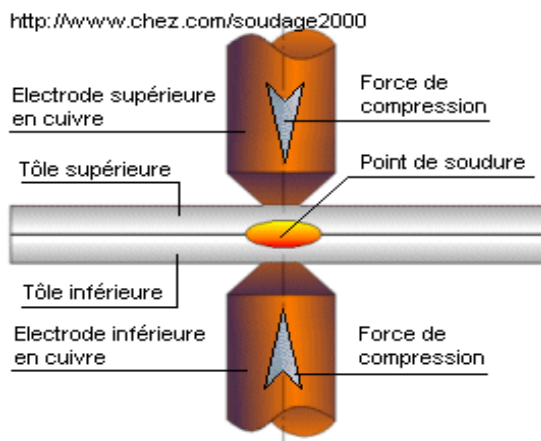


Fig16. Image illustrant le soudage par point

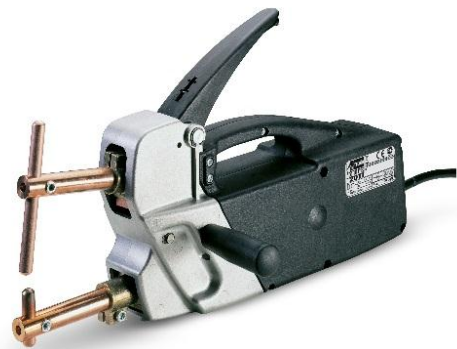


Fig17. Système de soudage par points

-Le matériel de soudure par point se compose soit

D'une machine à souder par résistance, qui est une machine à pince hydraulique ou mécanique pour assurer la pression associée à un générateur électrique de forte puissance.

D'une pince à souder par point qui est une pince hydraulique mobile. la pince est reliée au générateur par des câbles et par des flexibles hydrauliques pour assurer la puissance de pression.

L'électrode soudure est forcément une électrode en cuivre sans métal d'apport.

Comme il n'y a pas d'arc électrique mais mise en court-circuit au point de contact des métaux à souder, la soudure par résistance ne produit pas l'arc lumineux éblouissant. (Le masque à souder n'est pas nécessaire dans l'équipement de protection soudure par point).

Agissant par conductivité électrique, la soudure par point ne sert qu'à souder des métaux conducteurs d'électricité.

La capacité des métaux et alliages à être soudés par point est fonction de leur résistivité électrique et de leur conductibilité thermique, on peut donc distinguer deux catégories :

1<sup>re</sup> catégorie : les métaux à grande résistivité électrique et faible conductibilité thermique comme les aciers qui se soudent avec une faible intensité de courant mais un temps de passage relativement long.

2<sup>eme</sup> catégorie : les métaux à faible résistivité électrique et à grande conductibilité thermique, comme l'aluminium et ses alliages ou les alliages de cuivre, qui se soudent avec de fortes intensités de courant et de temps très courts.

Le tableau suivant nous montre quelques caractéristiques de quelques métaux (6):

Métaux	Informations
Acier	L'acier doux ne se soude très facilement, tout comme que les aciers à faible teneur en éléments spéciaux
Acier à tremper	Les aciers à tremper se soudent mais exigent un circuit après soudage, car la soudure est devenue fragile suite au refroidissement rapide.
Inox	Les aciers inoxydables (chrome, nickel) se soudent très bien par l'emploi d'un courant sous une pression forte et en un temps de soudage court et précis.

Aluminium	L'aluminium, le magnésium et leurs alliages se soudent à condition d'employer un courant très intense pendant un temps très court.
Laiton	Le laiton se soude plus facilement que l'aluminium en employant un courant élevé pendant un temps court.
Le zinc	Le zinc et ses alliages contenant du zinc ou du plomb sont très délicats à souder en raison de leur faible température de fusion.
Cuivre	Le cuivre sur cuivre est impossible à souder par point ou donne une très mauvaise soudure alors que les alliages rouges et les bronzes phosphoreux se soudent un peu mieux.

Tab1: les caractéristiques de soudage des métaux

### Remarque:

Des métaux et alliages de natures différentes sont soudables par points s'ils forment un alliage et si leurs températures de fusion ne sont pas très différentes

Comme (4) nous avons dit précédemment, le moulage en résine est une autre méthode de fabrication des coques dans ce chapitre, nous allons voir les procédés de cette méthode de plus près.

## **II .B) Fabrication à base de résine moulée reposée sur une structure tubulaire en acier (cage de renfort) :**

### **B.1) La coque en résine :**

#### **1.1) Le composite (3) :**

Les matériaux utilisés pour le moulage des coques sont les matériaux composites :

Un composite est constitué de l'assemblage de plusieurs matériaux non miscibles de natures différentes, et dont les qualités complémentaires permettent des performances supérieures à celles de chacun de ses composants.

Un matériau **composite** est composé

- **De la matrice** : qui assure la liaison de l'ensemble, répartit les efforts, et protège les renforts.
- **Du renfort** : qui constitue l'ossature de la pièce, et supporte l'essentiel des contraintes

#### **1.2) Les matrices (résines)**

La résine est une matière, grasse et onctueuse, qui découle de certains arbres tels que le pin, le sapin, le mélèze, le lentisque, le térébinthe ....etc. Composé macromoléculaire naturel ou synthétique utilisé dans les industries des matières plastiques.

Les matrices, ou résines, sont de différents types et utilisées dans différents domaines, les plus utilisés dans les industries mécaniques sont :

- **Epoxyde**

Elles confèrent au moule des qualités de tenus en température ainsi que des duretés de surface importante. De plus elles peuvent être chargées avec des poudres d'aluminium lui donnant une conductivité thermique intéressante pour des cycles de moulage importants avec des moules thermo régulés. Grande fidélité de reproduction des pièces.

Lorsque vous souhaitez réaliser des pièces où la résistance aux fortes contraintes mécaniques est une condition de réalisation, ou dans des environnements agressifs, vous devez utiliser une résine époxyde.

### **-Les applications**

- Pièces aéronautiques
- Construction navale haute performance
- Assemblage de pièces en bois de type arc (lamellé/collé)
- Canalisation enterrée pour transport de fluide

### **-Les principales caractéristiques de l'époxyde sont :**

- pouvoir d'adhésion
- résistance mécanique
- tenue à l'hydrolyse et aux agressions chimiques

Un point faible de la résine époxyde est sa mauvaise tenue aux ultraviolets (UV).

### **• Polyester**

Le plus communément utilisé dans la réalisation de moule rigide car les résines polyester restent les moins onéreuses. Elles possèdent de bonnes caractéristiques mécaniques et permettent des capacités de reproduction intéressantes pouvant aller jusqu'à 80 pièces environ suivant les pièces. Facilité de mise en œuvre par rapport aux résines époxydes.

### **-Pourquoi utiliser une résine polyester?**

Un des avantages est le coût vis à vis des résines époxy (environ 500DA le kilo). D'autre part, cette résine peut polymériser à température ambiante et par irradiation UV. Elle est aussi facile d'utilisation, et conviennent à beaucoup d'applications (bateaux, piscines, cuves, éoliennes).

### **- Caractéristiques principales des résines polyester**

- Le coût (inférieur à 1000DA)
- Transparence
- Bonnes résistances mécaniques
- Rapport Résine / catalyseur (de 1 à 2% quelle que soit la résine polyester utilisée).

### 1.3) Les renforts

Les renforts ont comme principal rôle de donner la résistance mécanique des pièces étant donné qu'ils possèdent des propriétés mécaniques supérieures par rapport à celles des matrices.

Il existe trois catégories principales de renforts :

- Organique : fibres de verre, d'aramide etc. ...
- Minérales : fibres de carbone, de céramiques ...
- Métalliques : fibres de bores, d'alumine etc. ...

#### 3.a) Les fibres de verre (3)

La fibre de verre (fig.8) est utilisée comme armature dans les matériaux composites à résine thermodurcissable, tel que les polyesters, Vinylester ou encore époxy.

Quelques Caractérisée des fibres de verre :

- Bon rapport performances/prix
- Disponible sous toutes les formes
- Bonne adhérence à toutes les résines
- Résistance à la température
- Dilatation thermique faible
- Bonnes propriétés diélectriques
- Bonne résistance à l'humidité
- Le renfort le plus utilisé industriellement.

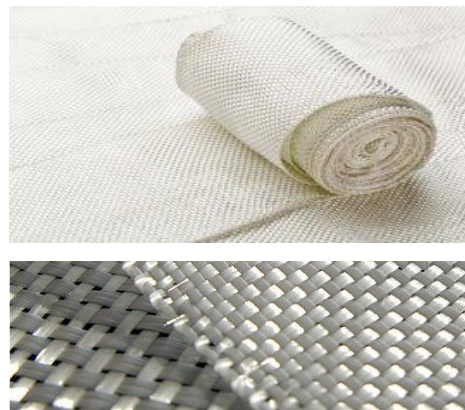


Fig18. Fibre de verre



Communément, on rencontre 2 types de fil de verre

1 – les fils **silionnes** assez fins qui servent à construire les tissus techniques pour l'aéronautique le modélise les planches de surf à voile etc... ces fils sont tissés en taffetas, serge, satin avec des grammages allant de 25 gr/m<sup>2</sup> à 300 gr/m<sup>2</sup>.

2 – les fils **roving** pour les tissus pour la construction nautique / industrielle / ferroviaire. Ils peuvent être tissés en taffetas ou serge avec des grammages 300, 500, 800 gr/m<sup>2</sup> et aussi assemblés avec des mats de verre que l'on appelle complexe. Ils servent aussi à la construction des multiaxiaux.

Ceux-ci peuvent être assemblés avec des mats de verre de différents grammages. Le fait que les fibres ne soient pas tissées mais à plat procurent au stratifié des résistances mécaniques élevées.

### 3.b) Les fibres de carbone

Ce type de matériau est utilisé dans toutes applications exigeant une grande résistance mécanique pour un poids réduit. Leurs inconvénients est une mauvaise résistance à l'abrasion, au cisaillement et aux chocs. C'est pourquoi il est souvent allié à une fibre d'aramide ou de verre. Il existe différents fils de carbone pour obtenir des tissus plus ou moins léger (fig.9).

Caractérisée par ses :

- Excellentes propriétés mécaniques
- Très bonne tenue en température
- Dilatation thermique nulle
- Bonne usinabilité
- Bonnes conductibilités thermique et électrique
- Excellente résistance à l'humidité
- Tenue aux chocs faible
- Prix relativement élevé



Fig19. Fibre de carbone

Exemples de réalisations en matériaux composites pour l'automobile :



Fig20. Capot carbone pré-imprégné



Fig21. Aileron auto carbone pré-imprégné

### 3.c) Les fibres d'aramide

Les fibres d'aramide ont de bonnes propriétés mécaniques en traction et bonne résistance aux chocs et à l'abrasion, au feu et à la chaleur, aux solvants organiques (exemple : carburants).

Leurs inconvénients sont un mauvais comportement en compression, grande difficulté à couper (résistance au cisaillement) ou à usiner, sensibilité aux rayons ultraviolets, prix élevé. Les aramides sont utilisés dans de nombreuses applications à haute technologie dans l'aéronautique, l'aérospatiale, la construction navale, le secteur militaire pour fabriquer par exemple des gilets pare-balles ou des casques.

Eventuelles caractéristiques :

- Résistance à la rupture en traction très bonne
- Dilatation thermique nulle
- Excellente absorption des vibrations
- Très bonne résistance aux chocs à la fatigue
- Sensibilité aux ultraviolets
- Usinabilité délicate
- Prix élevé



Fig22. Fibre aramide

### Avantages et inconvénients des composites (2)

L'utilisation des composites apporte un réel gain de masse et d'autres avantages techniques, cependant elle présente également des inconvénients.

#### -Inconvénients

A priori, de part leurs caractéristiques intrinsèques, les matériaux composites, à matrices thermoplastiques et/ou thermodurcissables, présentent trois handicaps majeurs à être utilisé dans le domaine automobile par rapport aux matériaux métalliques :

- un prix au kilogramme souvent plus élevé. Bien qu'il soit difficile de prendre en compte les coûts de la main d'œuvre, de la quantité réelle de matière engagée, des équipements, des outillages et des frais généraux ; en 2002 on estime le prix du kilogramme des composites s'établissant à 1128 euros par tonne à l'import et à 1056 euros par tonne à l'export.
- des procédés de mise en œuvre des pièces finies souvent lents.

Ces deux points étant défavorables à une production de masse contrairement à l'acier.

#### - Avantages

En contrepartie de ces quelques inconvénients, les matériaux composites possèdent des avantages importants tels que :

Une densité faible, en comparaison avec les matériaux les plus utilisés dans la conception des châssis de voiture de course par exemple : l'acier et l'aluminium.

Une meilleure sécurité : Les matériaux composites vont participer à l'amélioration de la sécurité des véhicules grâce à leur destruction progressive et donc à leur capacité d'absorption progressive d'énergie. Ceci permettant une amélioration de la résistance au crash (choc à grande vitesse) des véhicules et la réduction de leur agressivité vis à vis des autres véhicules.

Les matériaux composites sont **très résistants à la fatigue (fig.20)**

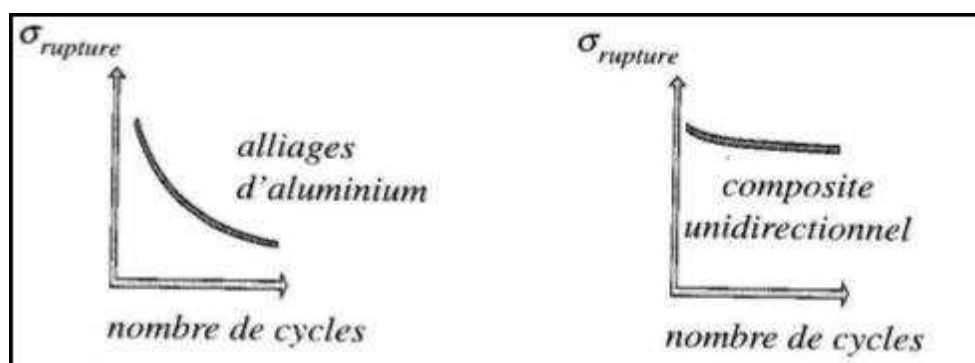


Fig23. Résistance à la fatigue

Des technologies de mise en œuvre par moulage (injection ou compression) qui limitent la quantité de matière engagée au juste nécessaire et compensent ainsi le coût de la matière de base au kilogramme. En effet, à l'aide des composites il est possible de fabriquer des pièces complexes en un seul tenant, ce qui lui confère un avantage face à l'acier : l'utilisation des composites réduit très fortement le nombre de pièces à assembler.

De plus ces procédés offrent la possibilité d'obtenir des formes beaucoup plus complexes qu'avec l'acier en utilisant un en polystyrène ce qui permet de se débarrasser du problème des contres dépouilles.

Les composites ne se corrodent pas. Et ils sont insensibles aux produits chimiques courants dans l'automobile (graisses, peintures, solvants...). Un comportement acoustique souvent favorable.

Ces différents avantages font des composites des matériaux concurrentiels aux matériaux métalliques, notamment l'acier. En effet, à l'heure actuelle (depuis 2006) il est possible d'obtenir des composites dont les caractéristiques mécaniques sont équivalentes à l'acier, tout en étant très nettement plus léger.

## B.2) Différentes méthodes de moulage

### B.2.1) Moulage au contact

Ce principe (2) de mise en œuvre est le plus ancien. On l'emploie pour des matrices thermodurcissables du type polyester ou époxyde. Avant la pose des fibres, le moule est enduit d'une sorte de vernis, le « gel coat ». On dispose successivement dans le moule les armures (fibres) et la résine. Après chaque couche, un débullage est réalisé grâce au passage d'un rouleau chassant les bulles d'air et permettant ainsi de mieux faire pénétrer la résine dans les mailles des fibres, cela améliore l'homogénéité de l'ensemble.

Cette technique (fig21) ne demande pas d'investissement (les machines utilisées ont un faible coût et le moule peut être en bois, en plâtre, mais ne permet pas d'obtenir des pièces ayant d'excellentes propriétés mécaniques.

Les caractéristiques finales dépendent de la qualité de la main-d'œuvre. On peut disposer de la même façon les armures sur une mousse préalablement découpée aux cotes exactes.

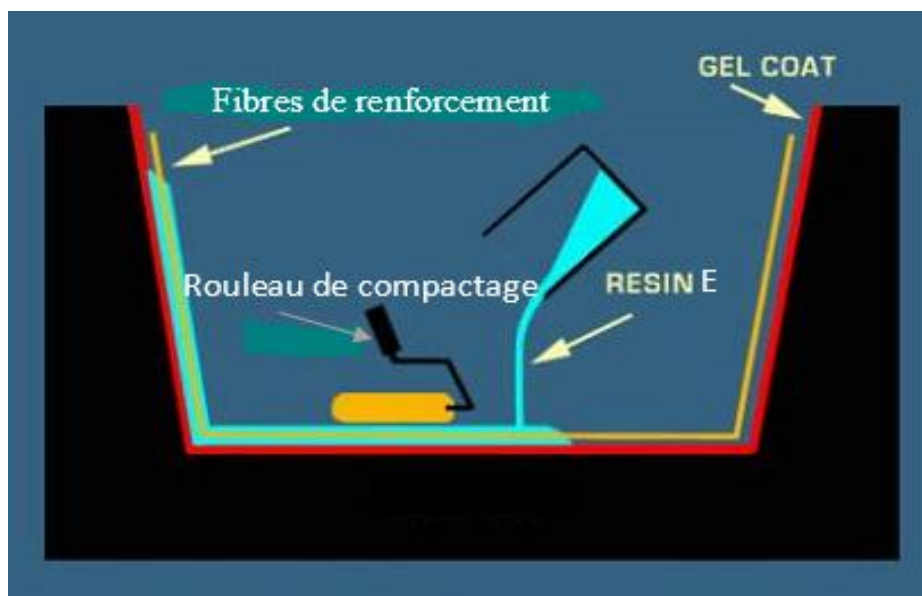


Fig24. Procédé de moulage au contact

### B.2.2) Moulage sous pression

L'imprégnation est réalisée comme précédemment (fig.22), la pression permet d'avoir un excellent compactage, d'ajuster le taux de résine, d'avoir une très bonne reproductibilité. Suivant la manière dont la pression est exercée, on aura les procédés de fabrication suivants

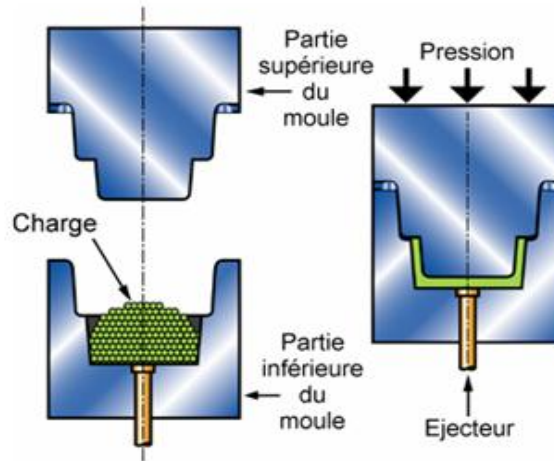


Fig25. Procédé de moulage sous pression

### 4.c) Moulage par projection simultanée

Ce type de procédé est inspiré du moulage au contact. Les fibres alimentent un coupeur qui les débite aux longueurs désirées, puis elles sont projetées sur le moule (fig.23) entre les jets de résine afin que l'ensemble se dispose simultanément sur le moule. Ici aussi, on se sert d'un rouleau pour chasser les bulles d'air. Après le durcissement, on démoule la pièce ainsi réalisée. Ce type de fabrication permet d'obtenir des cadences plus élevées que lors du moulage au contact. On peut également obtenir des pièces plus grandes et réaliser des formes plus complexes, notamment en variant l'épaisseur. Enfin, les fibres présentent une forme peu couteuse et les moules employés restent peu onéreux.

Cependant, la méthode requiert une grande habileté de la part de l'opérateur qui est à l'origine de la régularité de la projection et par conséquent des caractéristiques mécaniques du produit. On remarque donc, de plus faibles caractéristiques que lors du moulage au contact.

Ce procédé est employé dans les mêmes domaines que le moulage au contact mais avec la possibilité de réaliser des pièces plus grandes (par exemple pour la construction navale).

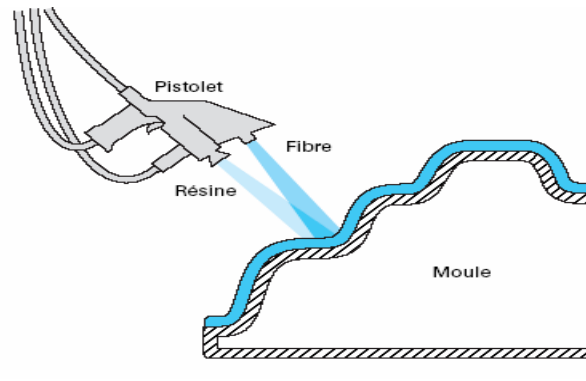


Fig26. : Procédé de Moulage par projection simultanée

### Usinage et assemblage

L'usinage des composites s'effectue généralement sans difficulté. On utilise habituellement des outils à pointe de carbure de tungstène ou des outils diamantés pour le perçage. L'ébarbage, le sciage et le meulage s'effectuent avec des fraises ou des disques diamantés. Afin de limiter les poussières volantes, cet usinage s'effectue soit avec projection d'eau sur l'outil, soit avec une gaine aspirante. On utilise également des procédés d'usinage par découpe au jet d'eau ou au rayon laser. L'assemblage s'effectue le plus souvent par collage, après ponçage des parties à assembler. Les adhésifs sont à base de polyuréthane, de résines acryliques ou époxydes.

### B.2) L'armature : la structure tubulaire en acier

Le renforcement des cabines et des carrosseries se fait à l'aide d'installation des arceaux métalliques(fig.24), ces derniers sont des tubes en acier soudés entre eux de telle sorte à ce que le châssis résiste au maximums aux charges qu'il pourrait subir dans son environnement ,ce type de renforts est beaucoup plus utilisés dans les voitures de course et de sports mécaniques .

Pour notre projet, on a adapté un type de châssis tubulaire en intégrant un système triangulé (treillis).

Un **treillis**, ou **système triangulé**, est un assemblage de barres verticales, horizontales et diagonales formant des triangles, de sorte que chaque barre subisse un effort acceptable, et que la déformation de l'ensemble soit modérée.

Cette structure est devenue courante en construction à partir de la révolution industrielle, dans le domaine mécanique elle est utilisée pour les cadres des motos fig. (25) et aussi pour les châssis automobiles fig. (24). [4]



Châssis tubulaire  
Avec système en  
treillis



Cadre moto  
en treillis

Fig27. Chassis automobile en treillis

fig28. Cadre moto en treillis .

Un tel assemblage allie résistance, rigidité et légèreté, et permet d'utiliser des éléments normalisés (barres) ; par ailleurs, le treillis peut éventuellement être préassemblée.

Lorsqu'un treillis est soumis à un effort, certaines parties de l'assemblage sont mises en compression et d'autres parties en tension.

Les axes des barres concourent en nœuds ; ce sont les points d'assemblage des barres. D'un point de vue mécanique, les nœuds sont modélisés par des articulations parfaites. Initialement, pour simplifier les calculs, les charges n'étaient appliquées qu'aux seuls nœuds ; l'utilisation de la méthode des éléments finis permet de s'affranchir de cette simplification.

Les éléments des structures en treillis doivent impérativement travailler en traction compression au risque de voir la raideur diminuer fortement, car c'est alors la raideur des joints (qui est faible) qui est sollicitée.

Il est donc impératif de trianguler toutes les surfaces pour bloquer les degrés de liberté adéquats.

Toutefois le point faible vient des surfaces vitrées et des ouvertures qui déforcent la structure.

L'assemblage de ces pièces nécessite le **soudage à l'arc**.



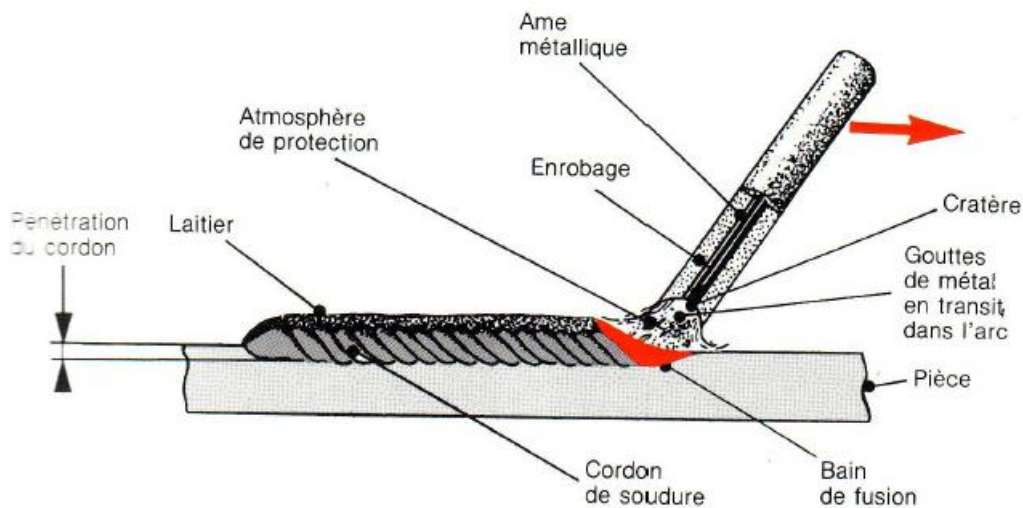


Fig.29. Schémas explicatif du procédé du soudage à l'arc.

### B.2.1) Définition du soudage [10]

C'est l'assemblage des métaux par fusion en utilisant l'énergie électrique.

Cette énergie électrique est fournie par un générateur de courant de soudage qui va donner une certaine intensité de soudage (4 A à 500 A en soudage manuel) et une certaine tension d'arc qui dépendra du procédé et des travaux à réaliser. (10 V à 40 V).

Il faut donc transformer le courant d'alimentation primaire de 230 V ou 400 V en courant de Soudage. Cela va se concrétiser par le passage dans un transformateur qui va abaisser la tension et augmenter les intensités.

Un redresseur va lui agir pour obtenir un courant continu.

Le soudage = fusion du métal de base et du produit d'apport

A ne pas confondre avec le brasage qui est un procédé avec fusion uniquement du métal

D'apport. On utilise la chaleur d'une flamme alimentée par apport d'oxygène et d'acétylène

Arc électrique = source de chaleur permettant la fusion

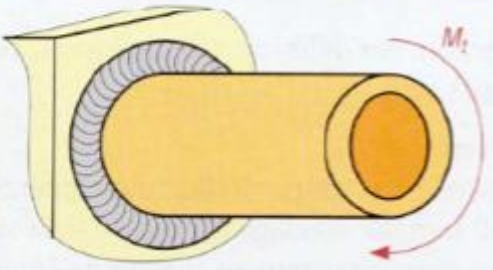
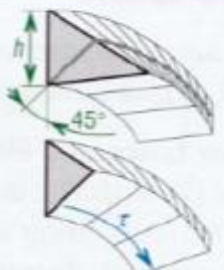
Cas	Exemples	Contraintes	
		Représentation	Formules
torsion			$\tau = \frac{M_t}{I_{UG} \cdot 0,707 \frac{h}{V}}$

Fig30. Calcule du cordon de soudure pour un tube soudé en révolution sur une plaque

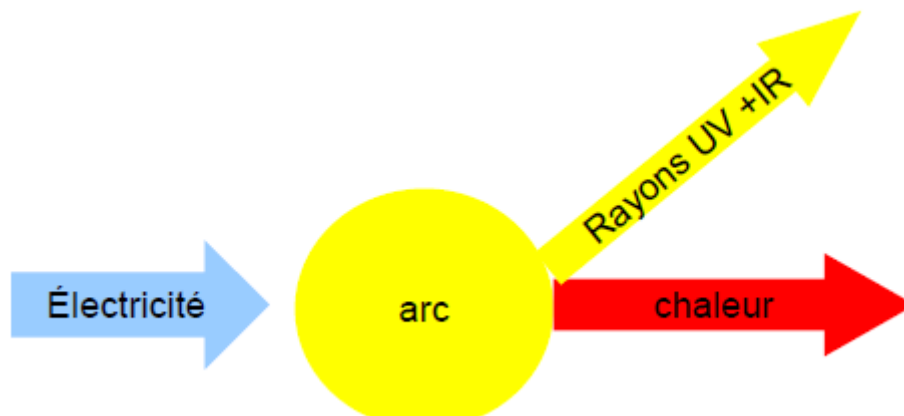


Fig31. Schéma explicatif

L'arc électrique produit des ultraviolets et d'infrarouges, il faut donc se protéger avec un

Masque, porter des vêtements, des gants et des chaussures résistants à la chaleur.

Le soudage produit des fumées contre lesquelles il faut se protéger soit par un système de Protection individuelle (AIR160 ou AIR190 soit avec une centrale d'aspiration et de traitement des fumées portable de type CARRYVAC.

Remarque :

Plus l'énergie de soudage est faible, plus on augmente les Propriétés mécaniques. L'énergie doit être suffisante pour éviter le collage mais pas trop Importante pour éviter le grossissement des grains, entraînant une diminution des propriétés mécaniques.

L'énergie se calcule :  $U \times I$

vitesse (mm/s)

L'énergie s'exprime en kilojoules / mm

Avant soudage Nettoyage des pièces Brossage Préparation des chanfreins avec un moyen mécanique ou plasma de la  
Procédés de soudage à l'arc électrique.

### B.2.1) Types de soudage :

Différentes technologies répondent aux besoins spécifiques des utilisateurs d'équipements de soudage à l'arc électrique

Les principaux procédés de soudage à l'arc sont :

**MMA** = électrode enrobée (manual métal arc) figure (26).

**TIG** = soudage à l'argon avec électrode réfractaire en tungstène, soudage avec ou sans métal d'apport.

**MIG/MAG** = procédé semi-automatique avec métal d'apport en fil plein ou fil fourré avec gaz de Protection.

Durant notre travail, nous avons utilisé le soudage à l'arc.

#### Conditions de soudage :

- Epaisseurs de tôles et préparation Bord à bord sans chanfrein pour les épaisseurs de 4 à 15 mm
- Préparation des joints en Y ou en X pour des épaisseurs supérieures à 15 mm
- Le joint doit être réalisé avec précision.
- Le jeu ne doit pas excéder 1 mm

Les réglages recommandés pour souder à l'électrode enrobée

Réglage de l'intensité :

$$I = (\varnothing \text{ él} - 1) \times 50$$

Ou 30 à 40 A par mm  $\varnothing$

Exemple 35 A par mm de diamètre électrode en soudage en angle à plat

Réduire en position

Il vaut mieux en soudage multi passe sur chanfrein utilisé une électrode de diamètre 2,5 mm pour réaliser la passe de racine.

Adapter la vitesse d'avancement pour obtenir une largeur de cordon de soudure égale à 1,5 à 2 fois le diamètre de l'électrode.

#### Remarque

Défauts à éviter

- Les inclusions avec les baguettes.

### B.2.2) Critères de choix de la forme des profilés

Durant notre travail, nous avons choisi un profilé rond de diamètre de 40mm, et 3 mm d'épaisseur.

#### B.2.2.1) Caractéristiques de résistance des tubes:

- **Résistance à la torsion des tubes :**

Les tubes résistent assez bien en torsion, d'ailleurs, les formules théoriques démontrent que, pour un même poids, la résistance à la torsion d'un tube rond courant est de 100 à 150 fois plus élevée que celle d'un autre profil, quel qu'il soit. Cette qualité donne une grande rigidité transversale aux poutres ou ouvrages en tubes. L'utilisation de tubes a aussi pour conséquence d'augmenter la résistance au déversement des charpentes, ce qui permet la réalisation d'ossatures en forme de voûtes ou de coupôles par exemple. Les tubes carrés sont légèrement moins résistants que les tubes ronds mais leur résistance est cependant de 60 à 100 fois celle d'un autre profilé de même masse au mètre.

- **Résistance au flambement et à la compression des tubes:**

Les tubes lorsqu'ils sont soumis à des efforts de compression, s'ils sont de grande longueur, et s'ils ne sont pas maintenus latéralement, fléchissent dans le plan dans lequel la résistance est la plus faible. C'est ce phénomène que l'on appelle flambement.

- **Résistance à la flexion des tubes:**

Les tubes ronds de diamètre < 80 mm, résistent mieux à la flexion que tous les autres profilés de même masse au mètre. Au-dessus de 80 mm de diamètre, le tube rond est moins résistant que les poutrelles en I ou en H, par exemple. Les tubes rectangulaires ont une excellente résistance, comparable à celle des poutrelles de même masse au mètre. Les tubes se prêtent très bien à la confection de poutres en treillis et spécialement de poutres triangulaires qui résistent admirablement à la flexion et au déversement (flexion dans le plan horizontal). Les tubes permettent également l'emploi de tirants ou de câbles de précontraintes (placés axialement à l'intérieur des tubes). Dans le cas d'efforts de flexion pouvant provenir de plusieurs directions (cas du vent), il est fortement conseillé de prendre du tube, sa résistance étant la même dans toutes les directions.

- **Résistance générale des assemblages de tubes:**

Les assemblages soudés réalisés avec des tubes ronds découpés en 'gueule de loup' ont une grande rigidité.

**En plus de ces caractéristiques**, le tube rond a une forme telle que les poussières ont plus de difficulté à stagner que des tubes plats. La condensation et les liquides projetés ne peuvent pas stagner à leur surface, ni dans les nœuds d'assemblage. Cela facilite également les nettoyages et la mise en peinture.

### B.2.3) Cintrage des tubes en acier : [11]

Le cintrage des tubes en acier s'effectue manuellement avec des cintreuses manuelles, ou numériquement par des machines CNC fig. (29).

Les innovations productives ont été remarquables au cours de ces dernières années, jusqu'à en arriver à la réalisation de rayons variables dans l'espace avec matrices universelles capables de produire des rayons variables de diverses grandeurs simplement avec l'auxiliaire de programmation par CNC.

Une des autres innovations, c'est l'intégration, dans un seul cycle de production, de cintres avec rayons courts ( avec mandrin ) et rayons variables sur machines à sens de cintrage droit et gauche en continu, en évitant la reprise des pièces et donc la production d'outillages.



Fig32. Cintreuse numérique.

Pour notre travail on a utilisé les moyens disponibles au hall technologie, la figure suivante nous montre la cintreuse manuelle.

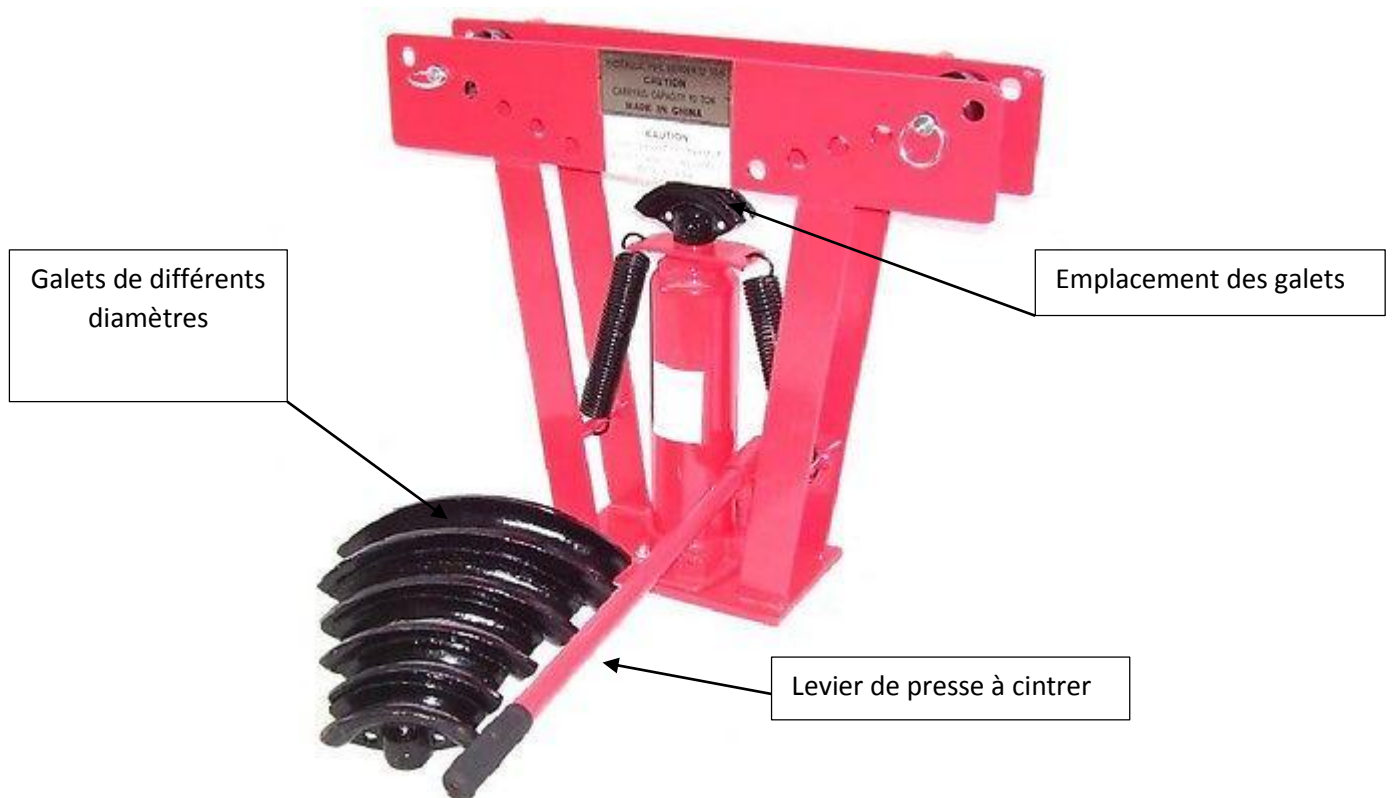


Fig33. Cintreuse manuelle.

Une cintreuse manuelle est constituée par un socle. Sur la base du bâti, sont fixés deux coussinets à gorge (dits coussinets latéraux) G et G' situés à égale distance du milieu K de cette base. Ces coussinets latéraux forment les deux points d'appui du tube. La tête de l'appareil presseur, vis ou piston, coïncidera avec le sommet O du bâti. La vis ou le piston poussera, suivant l'axe O K, et à égale distance entre les deux coussinets latéraux, une forme à gorge F (dite sabot) qui exercera sur le tube sa pression en K et l'obligera à épouser sa forme. Le principe ressemble à la flexion. Un effort généré sur une pièce en deux appuis. Le tube, une fois cintré, s'enlève facilement du sabot F.

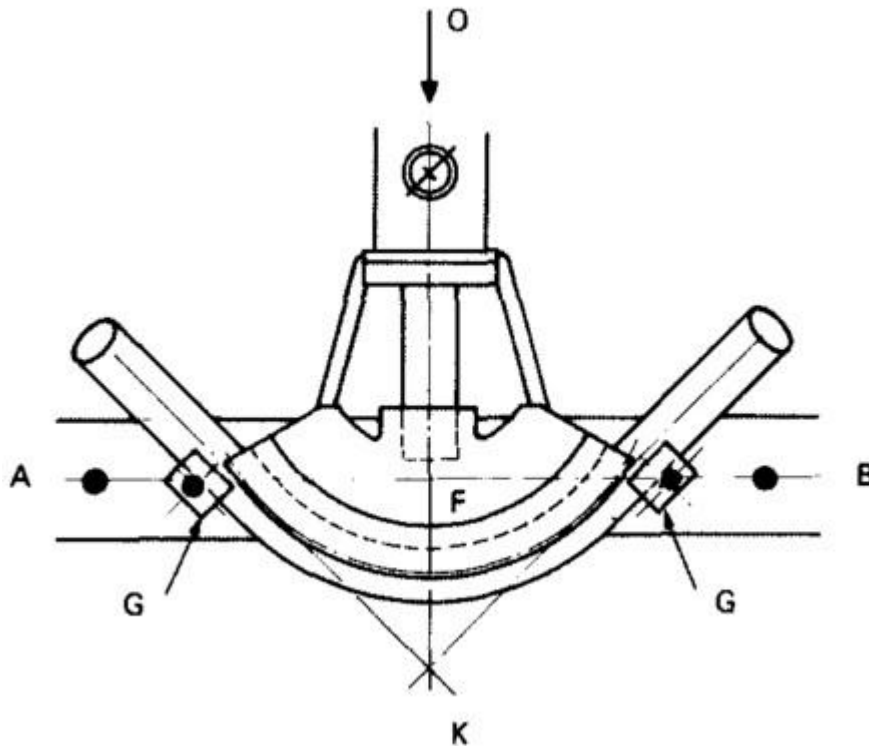


Fig34. Schéma d'une cintreuse manuelle

#### B.2.4) Découpage des tubes (coupes) :

##### 4-1) Coupes planes, biaises ou d'équerre:

Quand le tube doit être découpé en forme (en gueule de loup), il faut faire une coupe droite préalable pour le mettre à une longueur convenable. Les moyens habituels utilisés pour les profilés peuvent être employés pour les tubes: scies circulaires, scies à ruban, scies meules, chalumeau oxyacétylénique, plasma, laser, etc. Le tube étant creux, l'utilisation des cisailles n'est pas préconisée, sinon la lame aplatit le tube en même temps qu'elle le coupe. Cet aplatissement total peut produire des criques sur les bords de l'aplatissement. Ce procédé ne peut être utilisé que si l'opération ne risque pas de nuire à l'emploi envisagé.

##### 4-2) Coupes en forme:

Cette opération peut être faite par moyens mécaniques, par meulage, par sciage, par perçage, au chalumeau oxyacétylénique, au plasma, par laser. Les solutions ne seront pas les mêmes s'il s'agit de quantités importantes ou de découpes unitaires, de petits tubes, de tubes moyens ou gros, de travail à l'atelier ou sur chantier. Chaque procédé présente avantages et inconvénients du point de vue de ses possibilités, et de l'importance de l'outillage à approvisionner, du temps nécessaire à la coupe. Il faut, en particulier, signaler que le tracé de l'intersection dépend du diamètre  $D$  du tube principal, des diamètres d'intérieurs et extérieurs,

du tube secondaire, de l'angle des deux tubes. Les combinaisons de ces divers facteurs donnent un grand nombre de formes d'intersections.

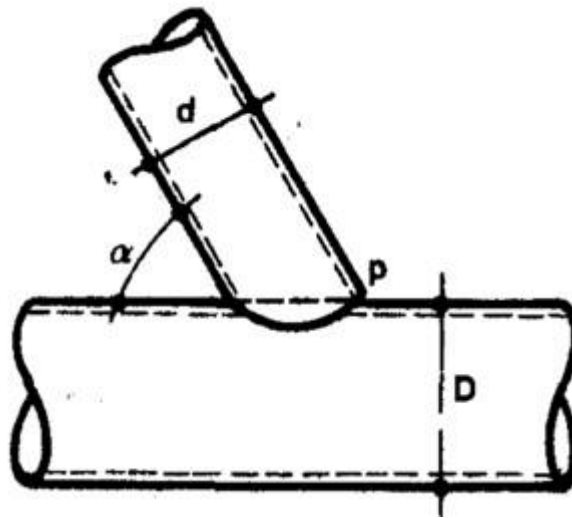


Fig35. Schéma explicatif de la condition de la trace.

### 4-3) Coupes à la scie

Les coupes peuvent être préparées par le traceur, être générées directement par une machine automatique (poste plasma ou laser) ou encore réalisées à la scie. Cette dernière méthode consiste à faire une découpe approchée au moyen de deux coupes planes, suivie d'un léger meulage. Elle repose sur le fait que la courbe d'intersection des deux cylindres (Surface intérieure du tube adjacent et surface extérieure du tube porteur) est, dans sa plus grande partie, très voisine de l'intersection de ces cylindres par deux plans judicieusement choisis. On utilisera une scie ou une tronçonneuse à disque avec étau orientable si possible. Au préalable, on fera au bureau de méthodes ou au traçage un croquis suivant indications ci-contre pour déterminer les longueurs, les angles de coupe et le positionnement. Ce dessin est d'ailleurs toujours utile, quelle que soit la méthode utilisée pour faire la découpe. Faire ce dessin en portant la cote **a** quel que soit l'angle **B**. Cela donne les tracés des deux plans de coupe que l'on positionne facilement en prenant quelques repères sur le dessin. Mesurer notamment la longueur CD afin de positionner la deuxième coupe AC. Ces coupes se font en série.





## Bibliographie

1. WWW.SARRAZIN.FR. Sarazzin cabine manufacturer. [En ligne]
2. DELLANOY (Marc), DEMARLE(Benoit). L'utilisation du carbone et des composites dans les realisation des chassis des voitures de courses :etat de l'art. S.l. : ecole des mines de douai, 2009.
3. S.l. : Quai west composites.
4. Wikipedia . [En ligne]
5. Wikipedia free encyclopedia. [En ligne]
6. Oorika ex comprendre choisir. Www.oorika.fr. [En ligne]
7. Itoh, Takahiro Tugoshi et Tatsuchi. Komatsu technical report. S.l. : Komatsu, 2008.
8. Solidworks simulation pour la carrosserie industrielle. [En ligne]
9. Bois, lycee des grands. Eco marathon shell. 2014.
10. Initiation au soudage PDF.
11. www.rocdacier.com.
12. Solidworks aide.



# **Chapitre III : Etude de la cabine par simulation du comportement aux différents chargements**

## **CHAPITRE III : Etude de la cabine par simulation du comportement aux différents chargements**

Chaque projet nécessite une étude préalable pour assurer sa validation .Pour notre projet, on a effectué une simulation numérique à l'aide du logiciel solidworks.

### **III.1) Procédure d'une simulation solidworks (généralités et étapes) :**

Solidworks est un logiciel de conception 3D assistée par ordinateur, fonctionnant sous Windows, il fut créé en 1993 par l'éditeur américain Solidworks, puis acheté en 1997 par la Société Dassault Systèmes, donc nous avons choisi ce logiciel de CAO pour pouvoir modéliser notre modèle 3D du châssis.

La mise en œuvre d'une simulation numérique nécessite la réalisation du modèle 3D, les dimensions et le matériau qui constituent la pièce ainsi les conditions aux limites en effort et déplacement.

#### **Réalisation de la pièce :**

On commence par dessiner la géométrie de la pièce en 2D à l'aide des outils d'esquisse, la fixation des cotes de l'esquisse, en suite la création du volume pour avoir le modèle 3D, finalement l'enregistrement pour avoir l'assemblage.

#### **Définition du matériau :**

Il faut savoir que le comportement d'une pièce dépend du matériau dont elle est faite, d'où cette étape consiste à attribuer un matériau à la pièce .Si le matériau n'est pas disponible dans la bibliothèque des matériaux du logiciel, cette dernière offre la possibilité d'introduire des matériaux en inscrivant leurs catégories et leurs caractéristiques mécaniques.

Par exemple, pour notre projet, nous avons utilisé un acier dit ordinaire non allié de la base de données du logiciel Solid Works 2014.

### **Géométrie fixe**

La géométrie fixe est nécessaire pour définir l'environnement de fonctionnement du modèle, cette étape consiste à fixer la structure dans une position convenable afin de lui appliquer les chargements. Dans notre cas on a appliqué la géométrie fixe aux connexions au niveau de la base comme illustré sur la figure (37) :



Fig36. Fixation de la cabine sur le châssis, appelé géométrie fixe sur le logiciel

### **Application des efforts externes :**

Cette étape consiste à appliquer les efforts extérieurs (force, couple, pression...) dues à l'environnement dans lequel s'insère la pièce qui sera sollicitée (pour notre cas la cage tubulaire ,et les supports).

C'est dans ces deux dernières étapes que la réflexion de l'analyse prend toute son importance, car le passage de la réalité au modèle numérique se traduit nécessairement par des hypothèses simplificatrices, et cela pour avoir une simulation entre la pièce dans son environnement et dans la simulation. La qualité des résultats dépend de ses étapes.

### **Création du maillage :**

Le maillage est une étape fondamentale de la simulation. Le model doit être divisé en petits éléments de formes données : triangles, quadrilatère, tétraèdre. L'ensemble de tous les éléments constitue le maillage. La fonction est donnée sur chaque élément et non plus sur la

structure complète. La méthode des éléments finis correspond donc à une méthode par morceaux.

Le choix du maillage dépend essentiellement de la géométrie de sollicitations extérieures, des conditions aux limites à imposer.

### **III.2) Présentation du projet :**

Après une longue recherche bibliographique, et une longue investigation des moyens disponible à notre niveau, nous avons tranché sur une cabine mécano-soudée à base de tube de diamètre 40 mm

Nous avons réalisé des maquettes pour la cage de notre machine à l'échelle 1/50, comme le montre les figures suivantes :

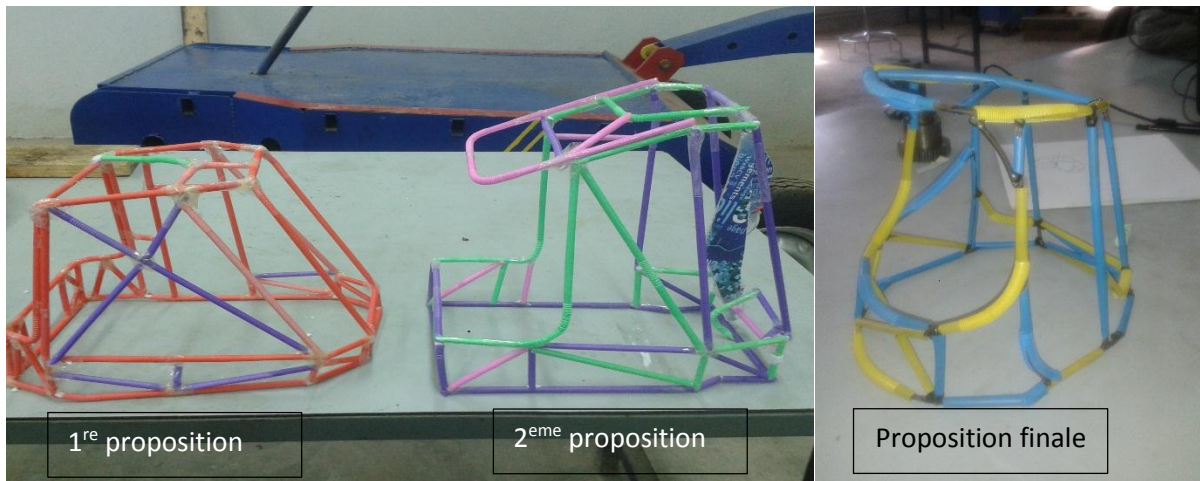


Fig. 37 : Les maquettes de la cage tubulaire en pailles en plastique.

Dans ce chapitre nous allons présenter les résultats de la simulation numérique des différentes parties dont se compose notre mécanisme, pour se faire, nous avons utilisé le module des structures <<solidworks simulation >> associé au logiciel Solidworks 2014 pour évaluer l'état de contrainte de l'armature.

**III.3) Simulation du comportement de la cabine:** Au cours de notre simulation, on considère le renversement de la machine comme le cas le plus défavorable que pourrait subir la mini pelleuse dans son environnement de fonctionnement. On a ensuite procédé aux étapes de simulation suivantes :

On a assimilé la partie supérieure de la cage tubulaire (toit) à un boîtier sans masse (vide) dans le but de voir le comportement mécanique des montants seuls et de la base lors de

l'application des sollicitations. On a appliqué une première force horizontale de 20000 N (montrée en flèches mauves) qui est la valeur maximale qu'on a estimée pour le poids globale de la machine.

Sur la figure suivante on voit clairement que la structure de la cabine à son état initial (montants seuls), sous une charge de 20 000 N provoquant une flexion, présente un coefficient de sécurité de **0.38**, ce qui nous indique que cette structure nécessite des renforcements afin d'améliorer sa résistance.

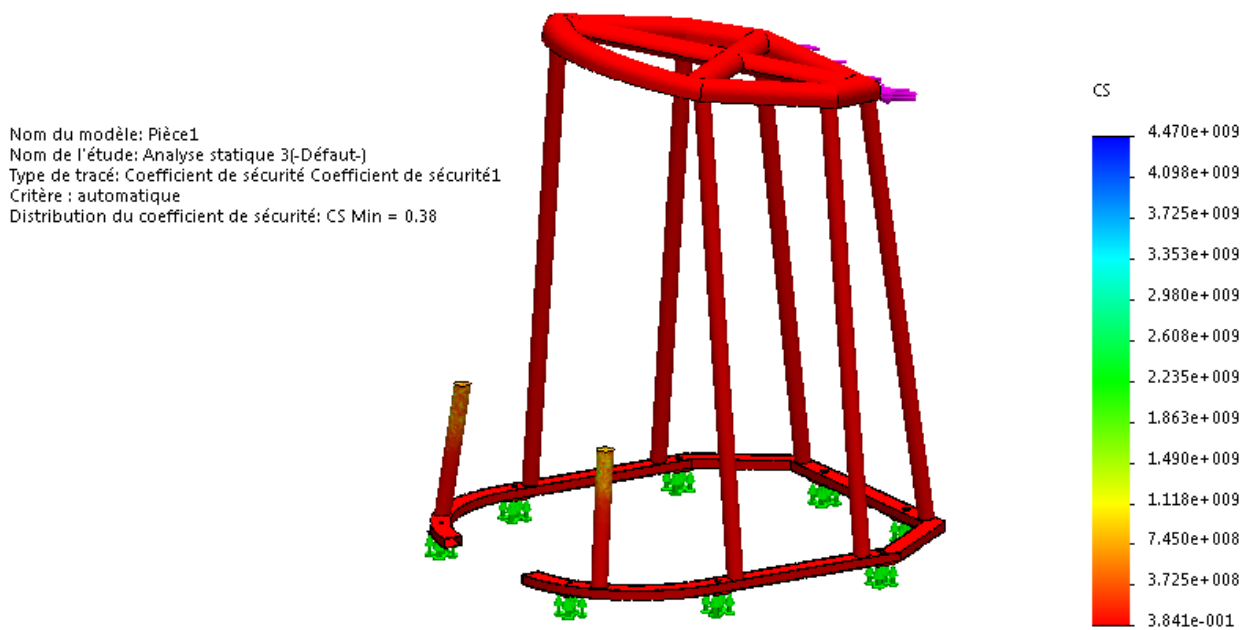
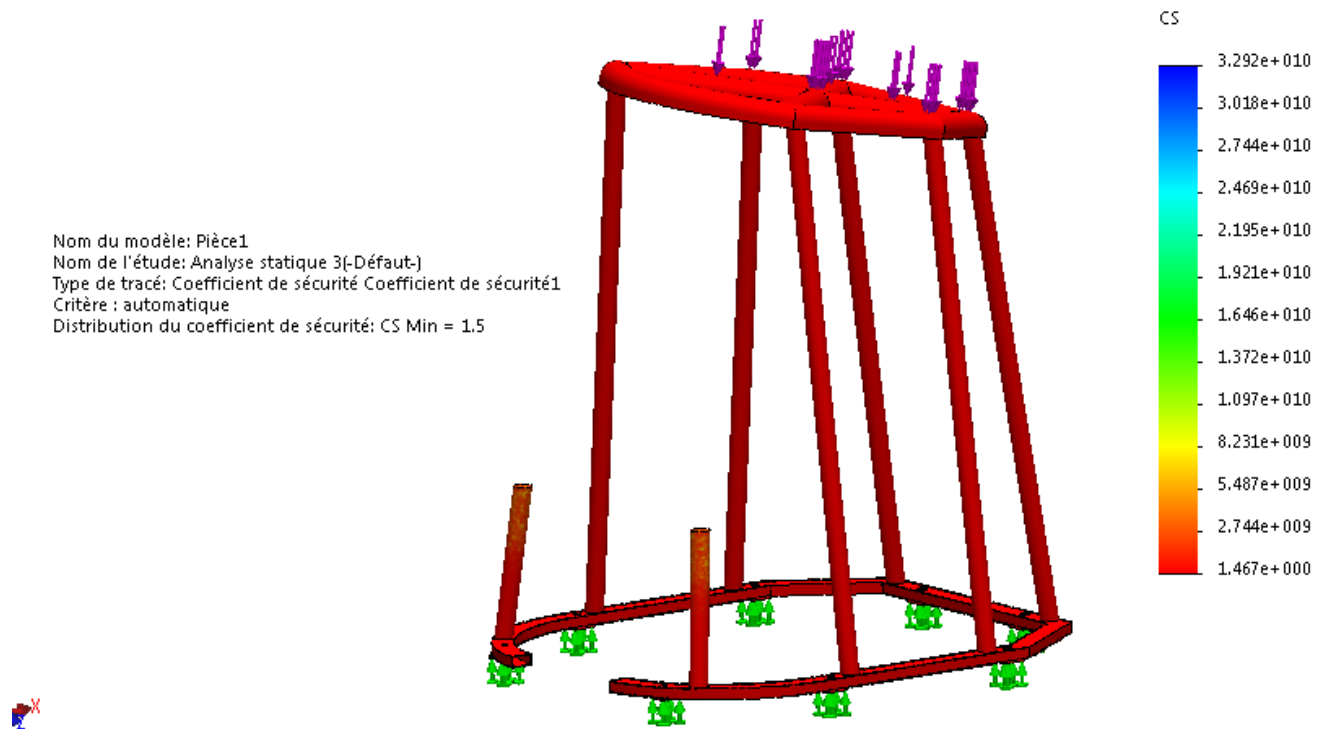


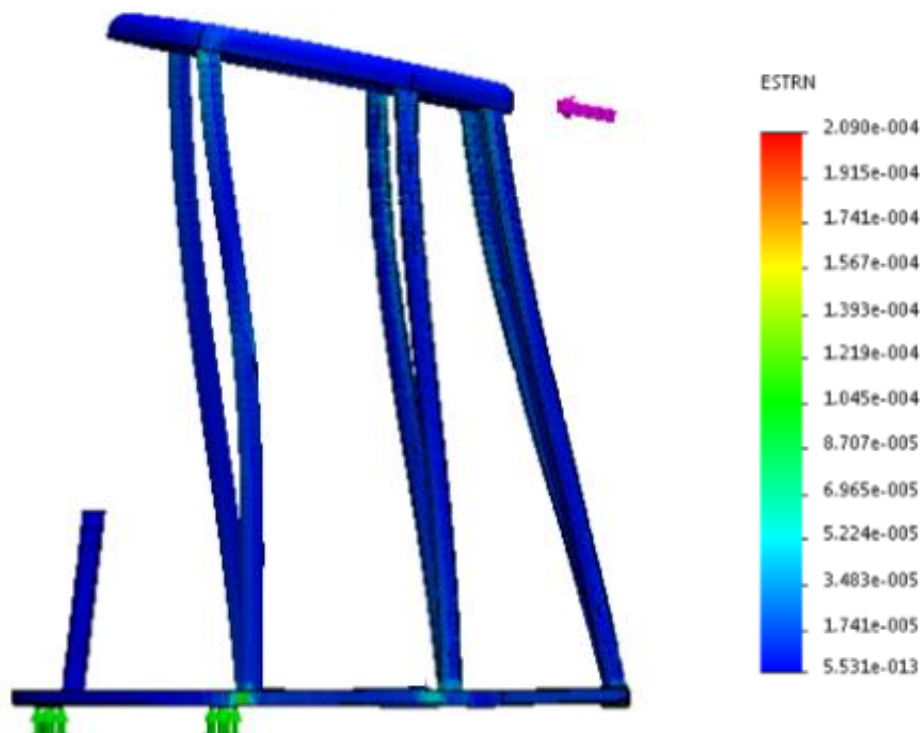
Fig 38. Sous une charge de 20 000 N en flexion, la structure présente un coefficient de sécurité minimum de 0,38.

Sur la figure suivante on voit aussi que la structure de la cabine à son état initial (montants seuls), sous une charge de 20 000 N provoquant un flambement, elle présente un coefficient de sécurité de 0.5, ce qui nous indique que cette structure nécessite des renforcements afin d'améliorer sa résistance.





**Fig.39** : Sous une charge de 20 000 N en flambement, la structure présente un coefficient de sécurité minimum de 1,5.



**Fig.40** : Les déformations engendrées par le chargement sur la cage tubulaire.

Cette procédure a confirmé que la localisation des sollicitations est au niveau des fixations liées à la base de la structure comme le démontre la figure (41), et affirme aussi que la distance prise entre ces nœuds est idéale offrant ainsi une bonne résistance à la base étant donné que ça n'entre pas dans le domaine plastique.

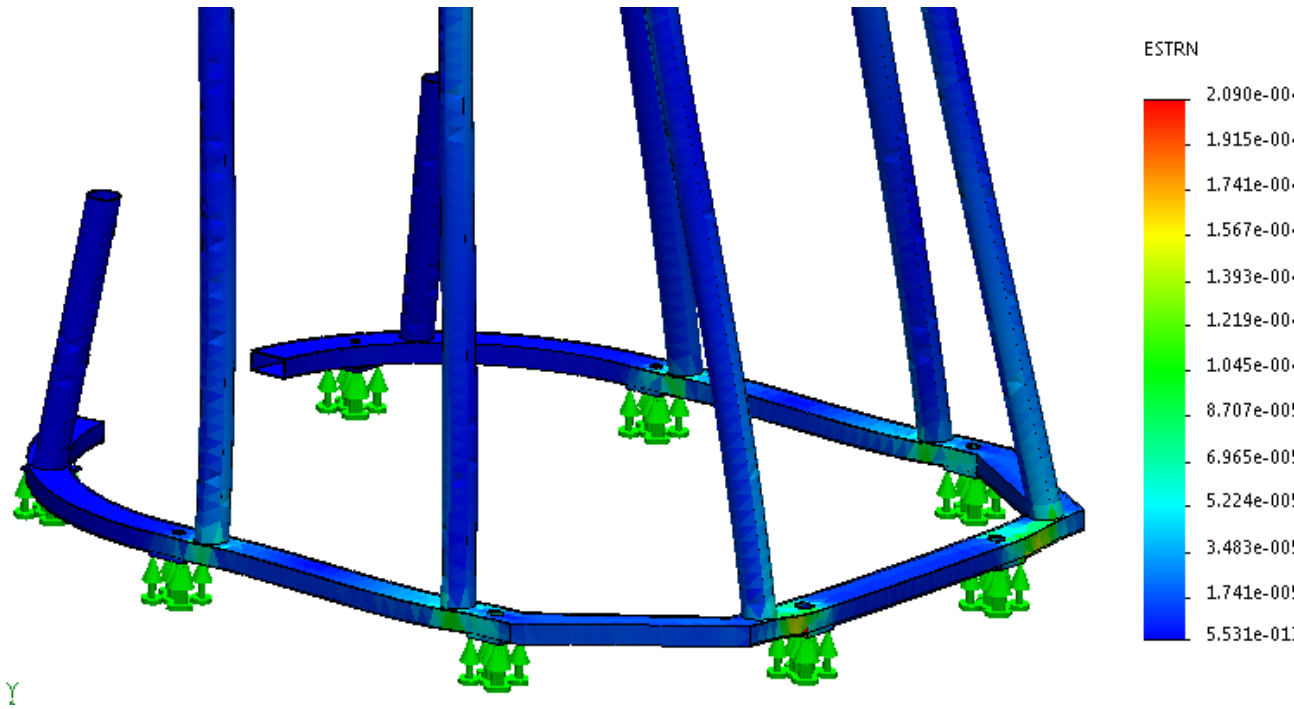


Fig.41. Résultats de la première simulation au niveau de la base (distribution des déformations).

Une autre remarque logique est aussi constaté pour un chargement verticale c'est que la cabine présente un coefficient de sécurité important de l'ordre de 1.5, ce qui indique que la cabine résiste mieux au flambement qu'à la flexion.

Nous avons procédé à la mise en place de renforcements pour améliorer la résistance de notre cabine, et la figure suivante montre clairement que l'ajout de traverses en diagonale augmente la résistance de cette structure et que le côté renforcé se déforme moins que le côté libre.

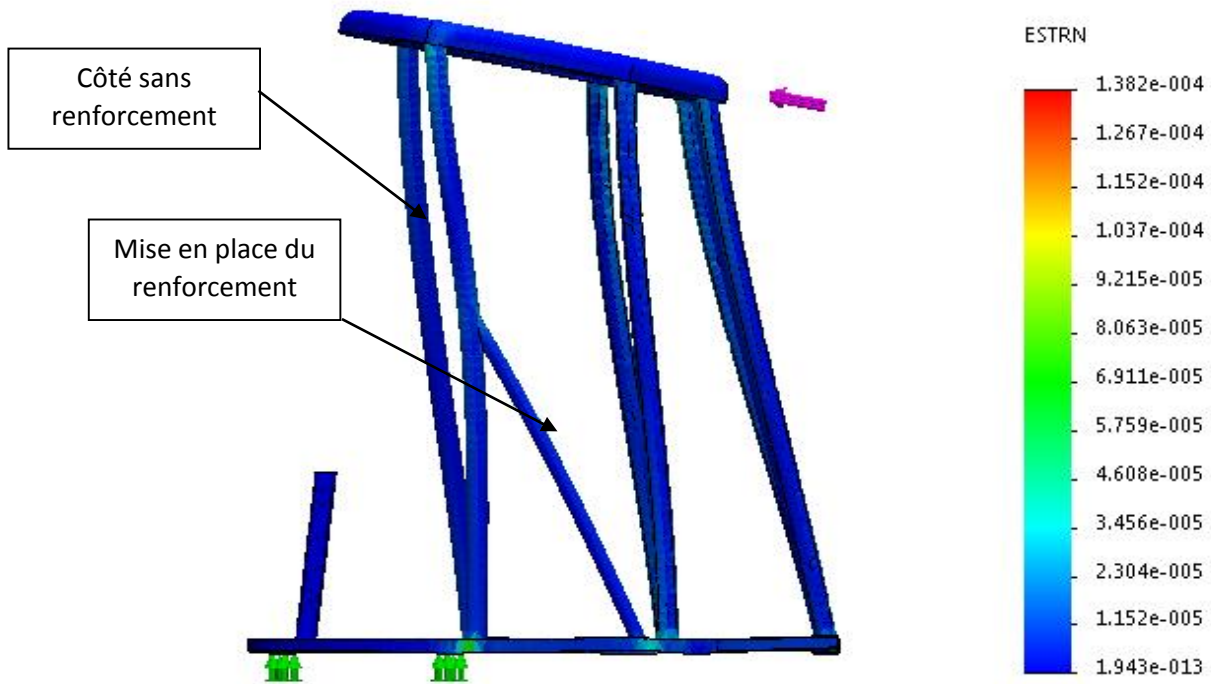


Fig42. Mise en place de renforcement où on voit clairement l'augmentation de la résistance en flexion de la cabine, le côté renforcé se déforme moins que le côté libre

Ensuite nous avons vérifié l'effet de ce renforcement en cas de charges verticales, nous avons constaté une amélioration de la structure, (Fig. 43.)

11

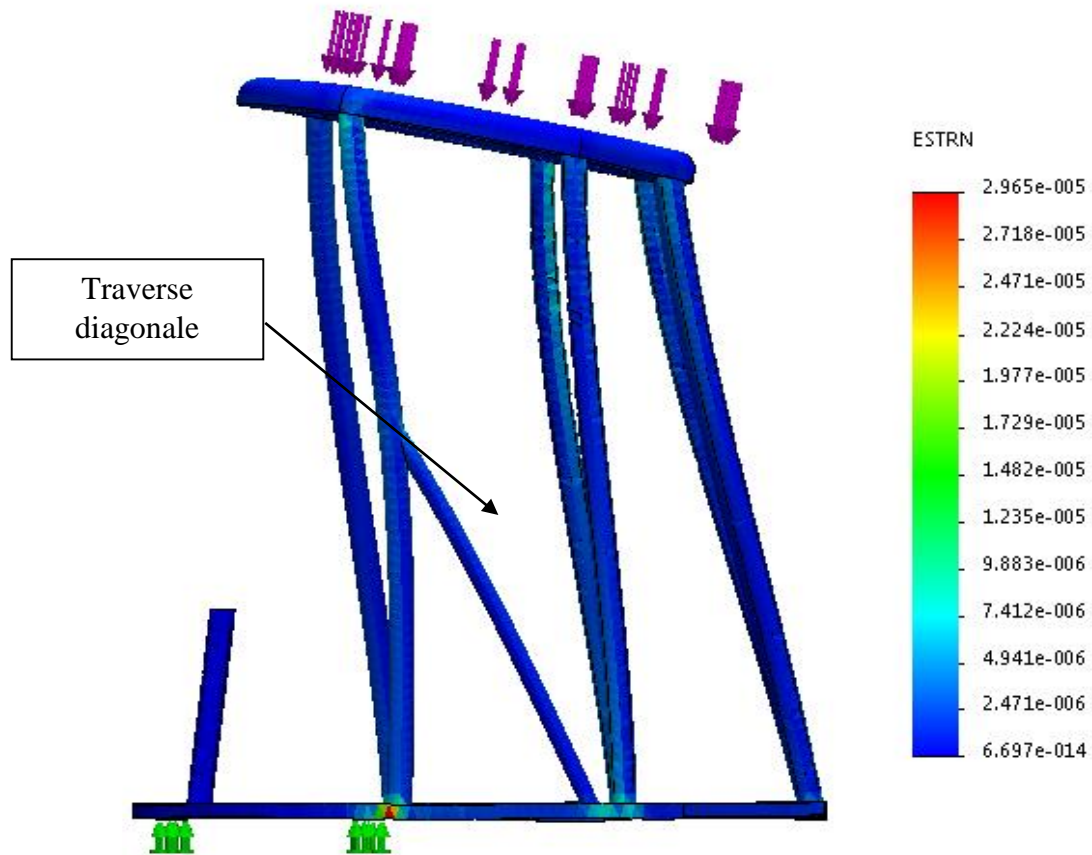


Fig43. Amélioration de la résistance au flambement, de la cabine en mettant la traverse en diagonale.

Pour réduire la flexion des montants, nous avons installé un autre renforcement, qui aura le rôle de réagir d'une manière opposée à la flexion lors de l'application d'une force verticale.

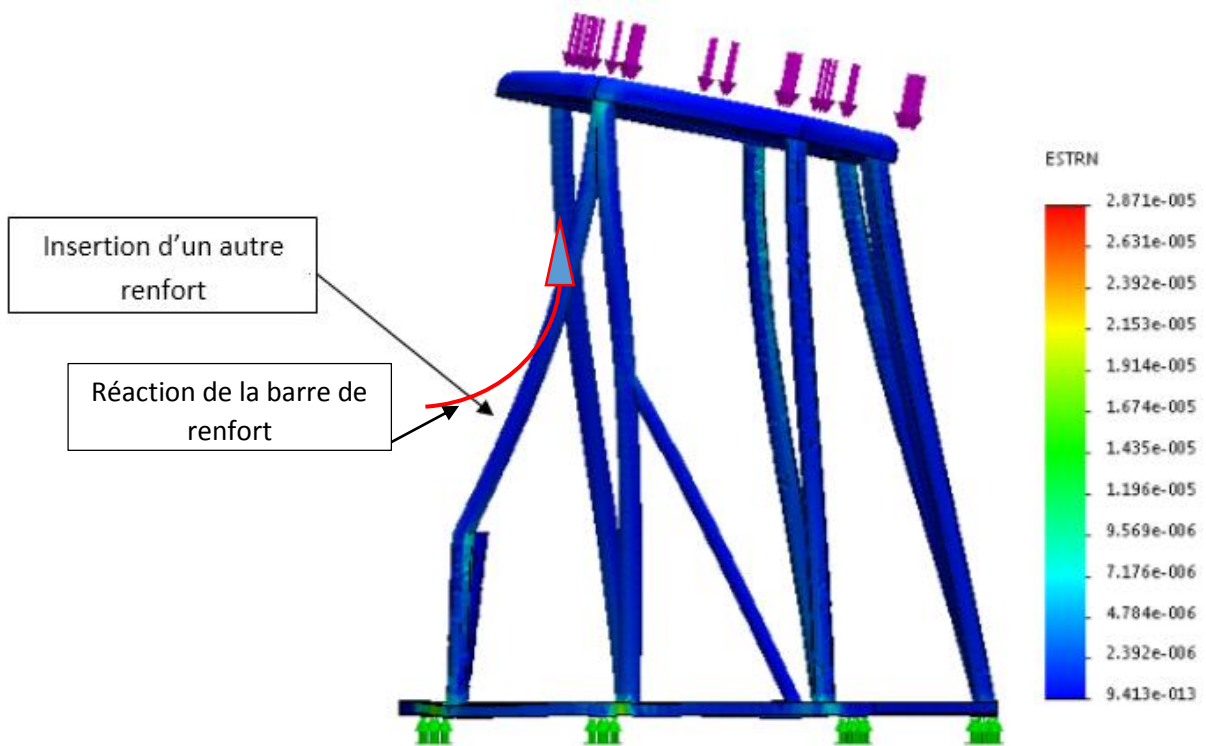


Fig44. Réduction de la flexion des montants après l'ajout d'un deuxième renforcement.

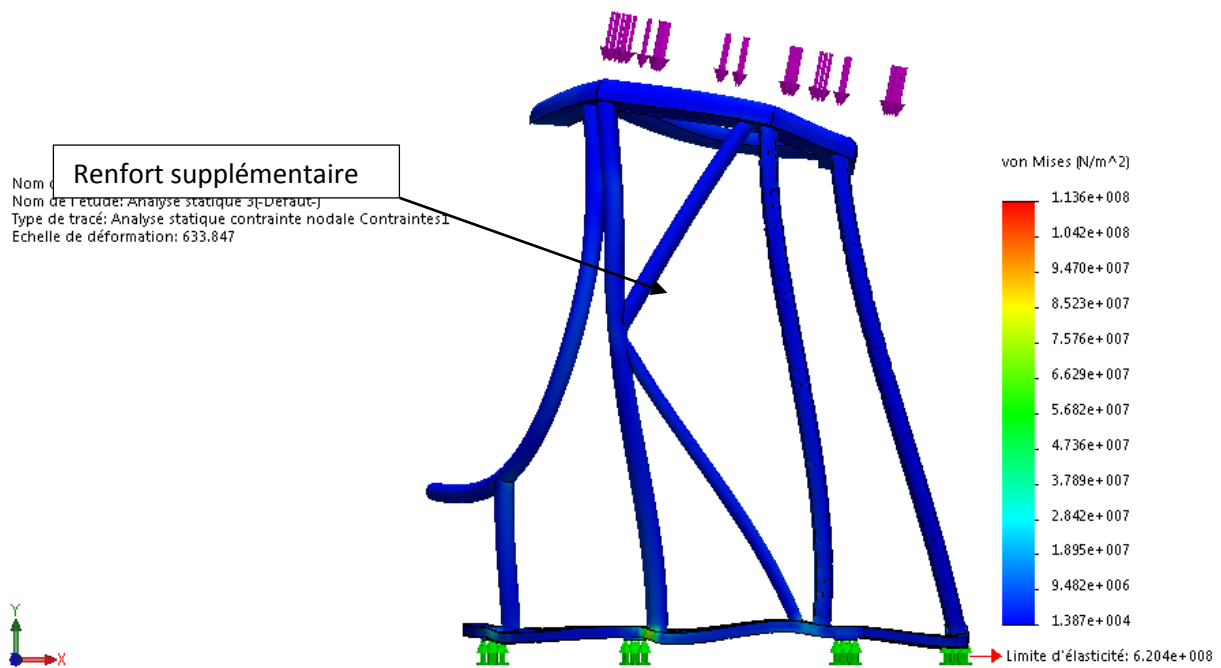


Fig45. Distribution des déformations après l'ajout des renforts.

En poursuivant cette stratégie, nous avons aboutit au résultat suivant (fig.47), cette image montre le maillage exécuté à la cabine après l'ajout de plusieurs éléments tels que : les quatre barres en treillis, et les deux barres supérieures en X.

**REMARQUE :**

Vue la complexité de la structure de notre cabine, on a rencontré un problème technique concernant l'exécution du maillage, la solution a été d'affiner davantage les mailles, ce qui a pris plus de temps à s'exécuter (fig. ( 46 )) (puissance du microprocesseur insuffisante).

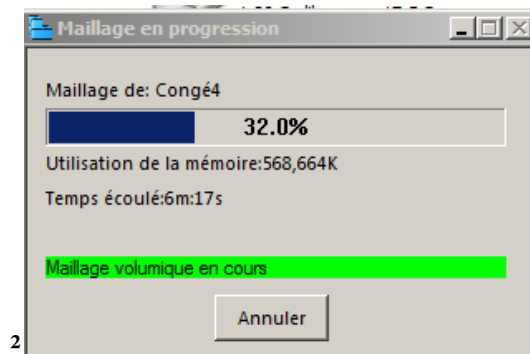


Fig46. Temps de maillage du modèle 3D de la cabine, à 6 minutes le maillage est à 32%.

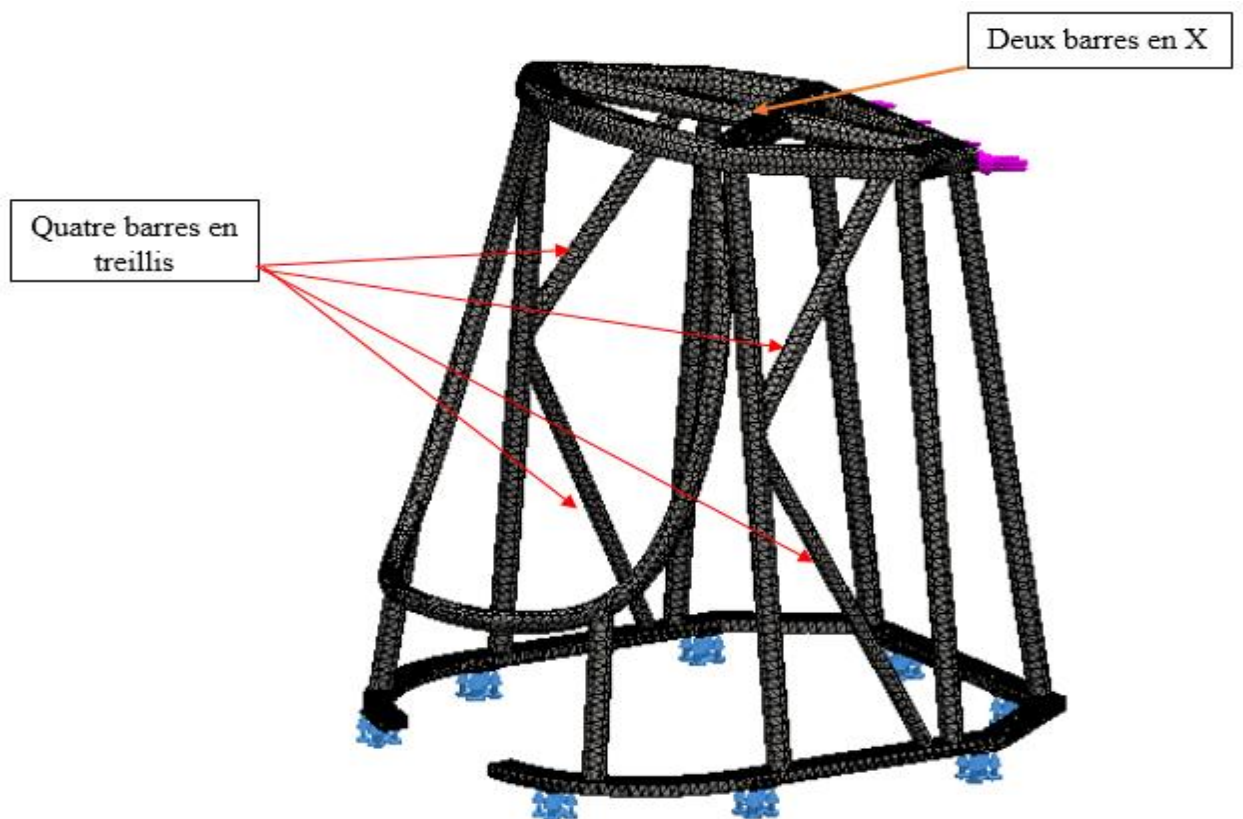


Fig47. Maillage de la cabine après l'ajout des renforcements.

Les résultats de la simulation sont illustrés dans les figures qui suivent (fig. (48), (49), (50)).

Cette étape a permis l'augmentation du coefficient de sécurité qui de 1,5 à 5.5

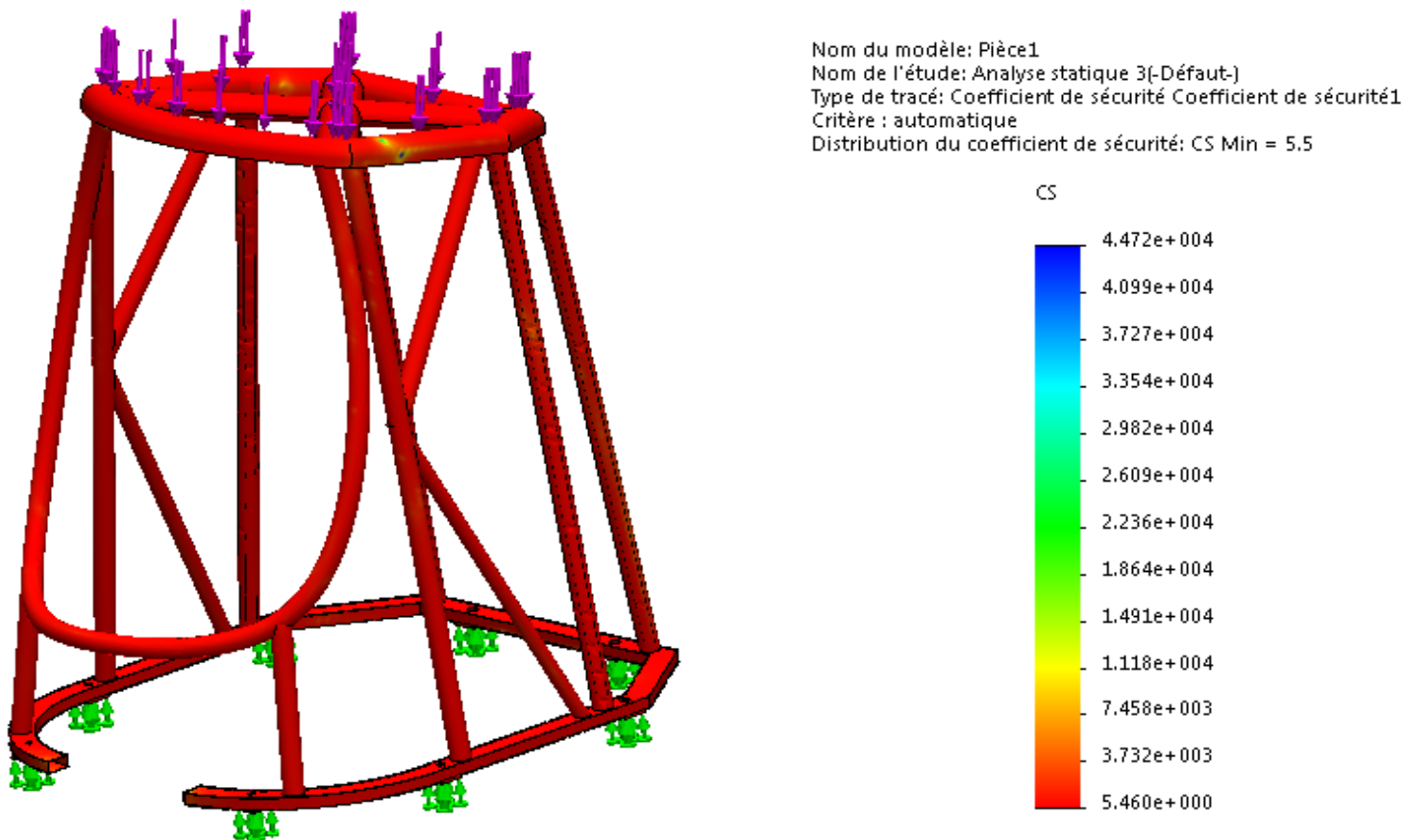


Fig48. Distribution du coefficient de sécurité après l'ajout des renforts.



Dans la figure qui suit ,nous avons la distribution de contraintes de types Von Mises, la cabine est soumise à un effort de 20000N en vertical, il est remarquable que les zones les plus sollicitées sont de l'ordre de  $1.136 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$

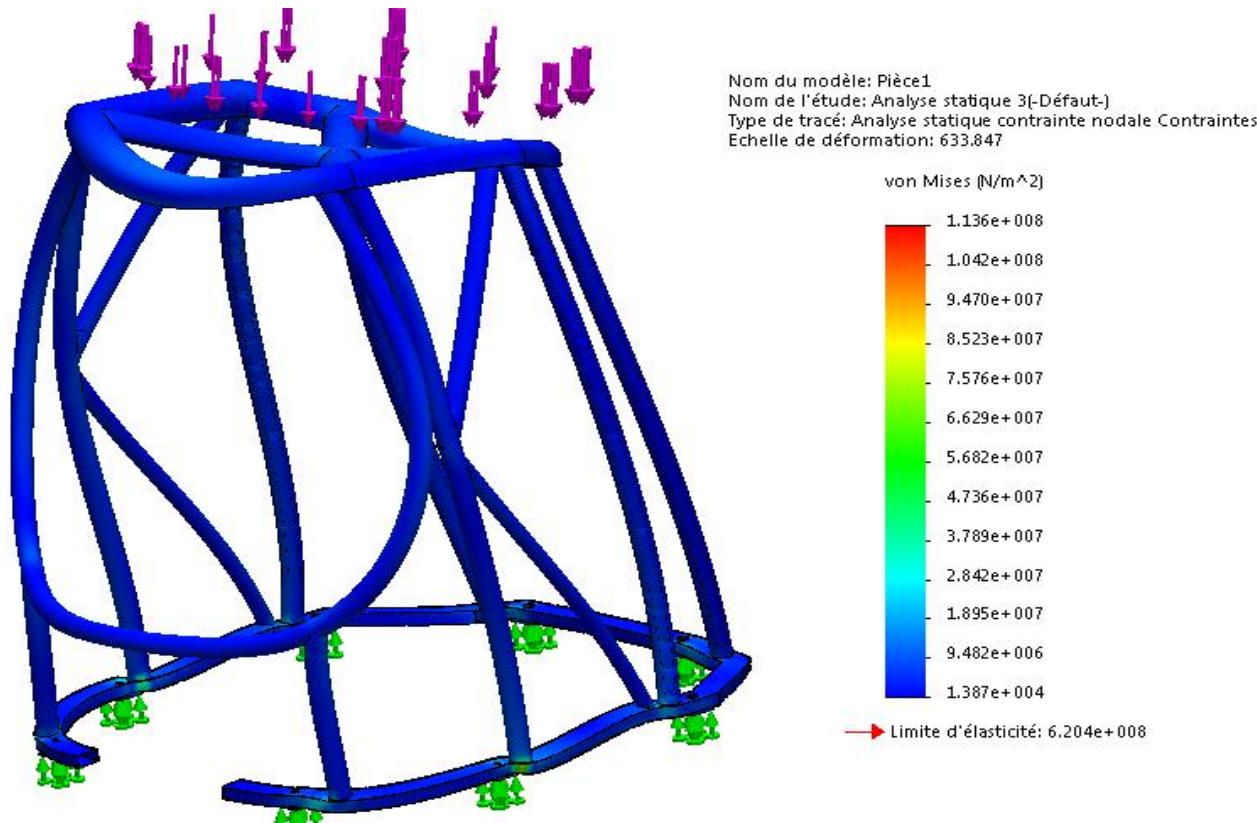


Fig49. Distribution des contraintes de Von Mise

Même au niveau des points les plus déplacé de cette cabine, la figure suivante montre que le point le plus déplacé est de l'orde de 0.3mm ce qui est largement admissible pour cette structure.



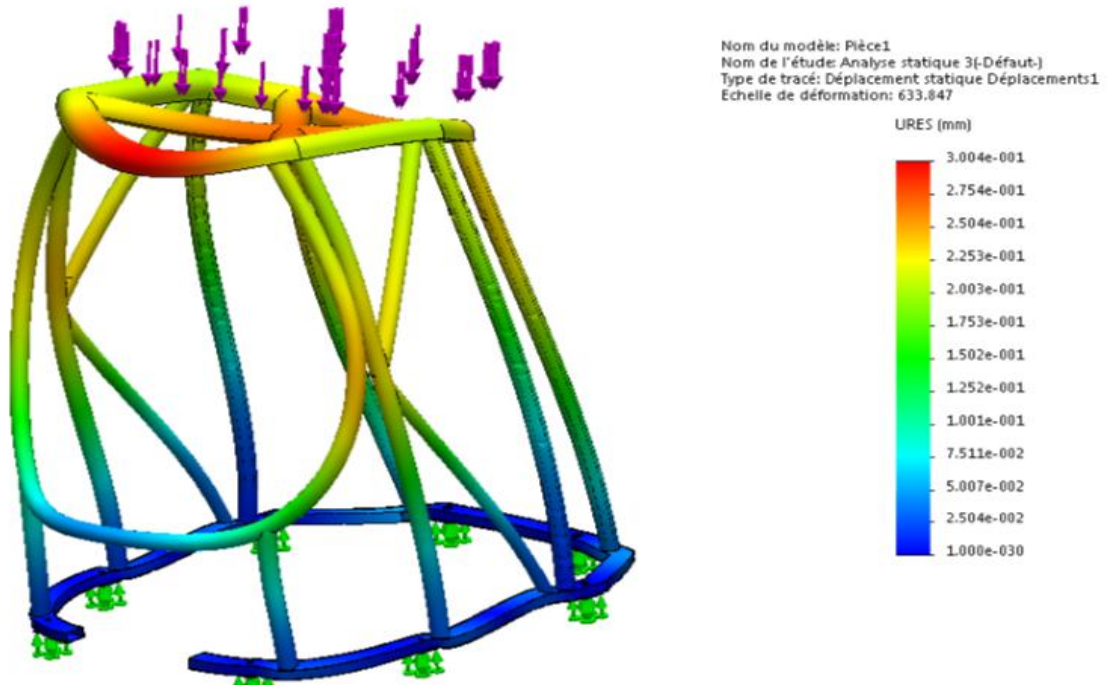


Fig50. Distribution des déplacements, le déplacement maximum est de l'ordre de 0.3 mm.

Après toute cette étude de simulation numérique, on a constaté que notre cabine est bien résistante et reste dans le domaine élastique, c'est le but de notre conception. On a opté pour cette allure finale fig. (51).



Fig51. Rendu final 3D de la cabine sue le logiciel de simulation Solidworks.

### Etude de la résistance des supports



Fig52. Supports triangulaires démontés



Fig53. Support monté et fixé

On a exécuté une simulation pour les supports de la cabine. On a appliqué une contrainte imposée sur la face taraudée, et une force verticale de 2000N sur la pâte en acier de fixation de la cabine, la figure suivante nous démontre les 1ers résultats

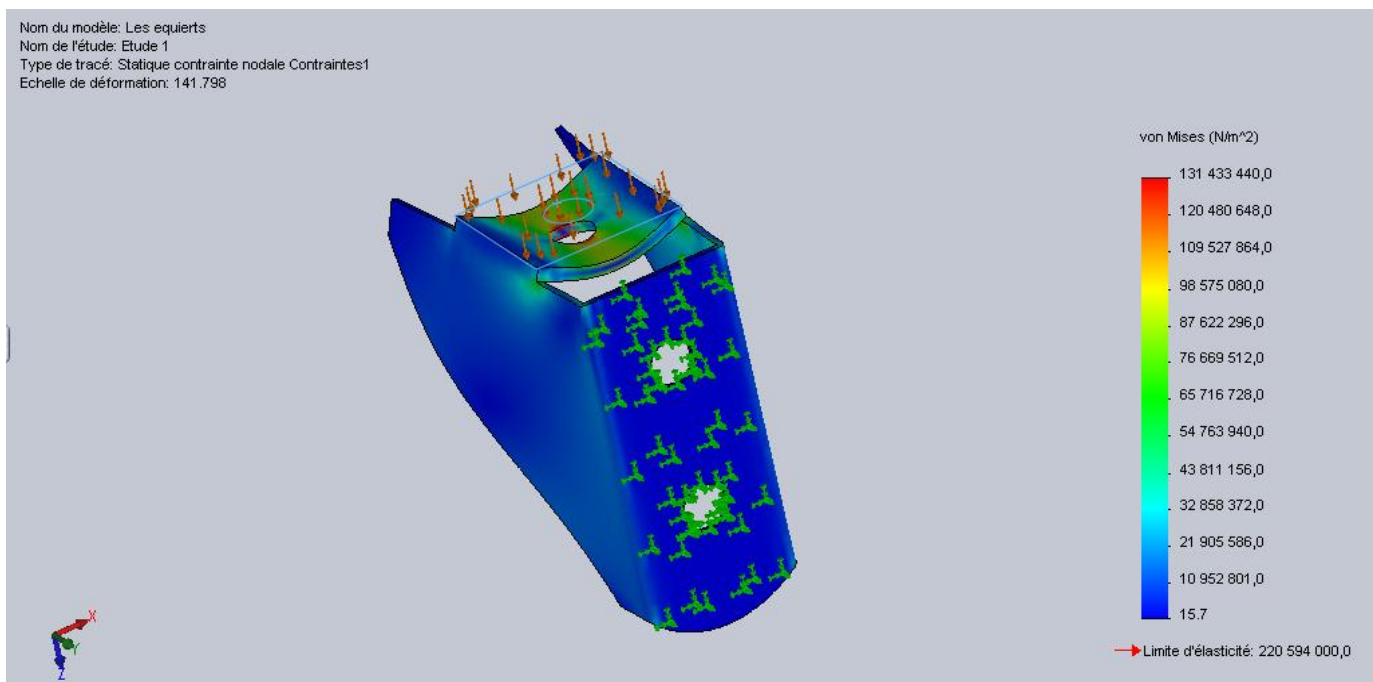


Fig54. Premiers résultats de simulation des supports (les déplacements).

On remarque que le support subit une grande déformation, on a donc cherché les causes, puis on a augmenté l'épaisseur de la pâte de 4mm à 8mm, une deuxième simulation a été faite, les résultats sont dans la figure qui suit :

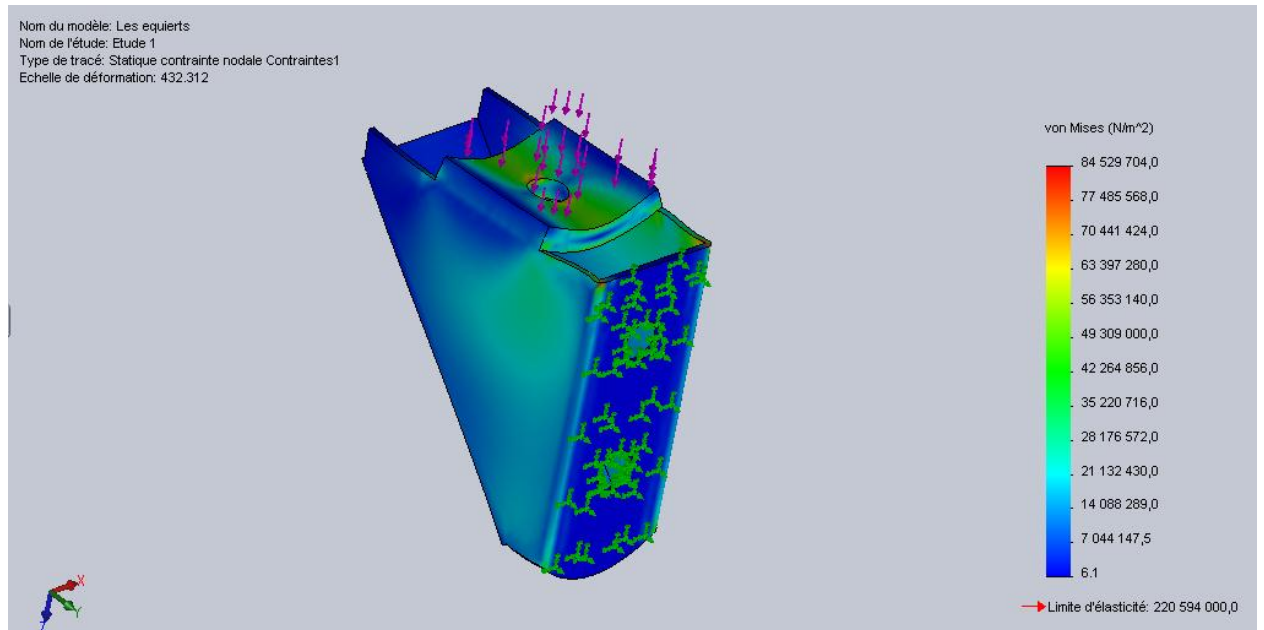


Fig55. Résultats de simulation du support après modification de l'épaisseur.

On remarque une meilleure réaction après la modification. Ce qui explique qu'une augmentation de l'épaisseur de la plaque formant ces supports est suffisante pour résoudre le problème de résistance de ces pièces.

## **CHAPITRE IV : La fabrication de la cage tubulaire**

## Chapitre IV : la fabrication de la structure tubulaire :

### IV.1) Réalisation de la cage tubulaire :

Après avoir validé le modèle sur solidworks, nous avons procédé à la concrétisation de ce dernier à l'échelle 1/1, pour se faire nous avons commencé à travailler la base de notre structure, on a utilisé les moyens disponibles à notre niveau et on a opté pour des tubes rectangulaires 50x30x2 mm et des tubes de 40mm.

L'emplacement des composantes de la machine était insuffisant, ce qui nous a amené à modifier la base et à l'élargir d'avantage en la fixant au châssis par des supports triangulaires.

Une autre contrainte s'est présentée par rapport à l'emplacement et le volume du moteur, la partie avant de la cage tubulaire (coté volant) empêchait le moteur de se stabiliser, on a donc trouvé la solution de soulever la cabine du châssis de 50mm en utilisant des supports triangulaires.

Pour ramener les dimensions de la base de la cage à l'échelle réelle, on a utilisé un gabarit en carton comme le montre la figure ci-bas :

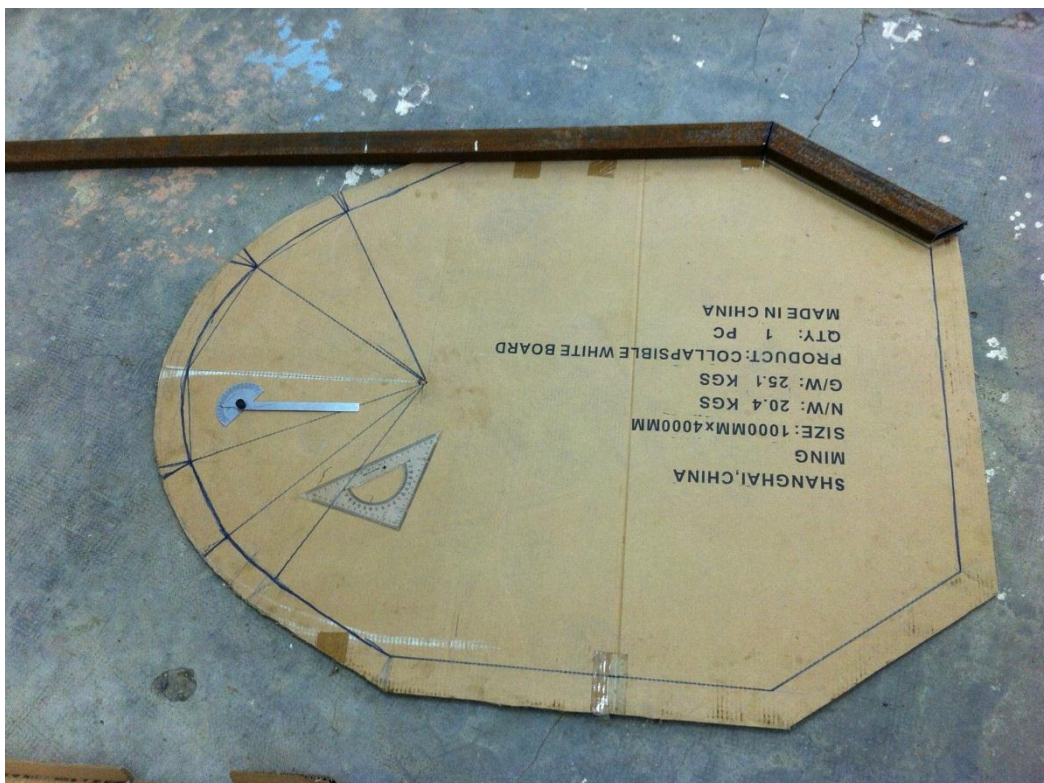


Figure 56: Gabarit qui forme la base de la cabine.

On a obtenu la forme suivante (figure (57)).





Fig. 57 : La base tubulaire de la cabine.

Une fois que la base a été soudée, nous devrions fixer les montants, pour cela un gabarit est nécessaire pour orienter ces tubes, on a réalisé un gabarit triangulaire en dont l'un des cotes été coupé de façon à former un angle de  $80^\circ$  le penchement voulu pour les montants (figure (58)) :



Fig. 58: Gabarit d'orientation des montants à  $80^\circ$ .

La cage commence alors à prendre forme (fig. ( 59 )) :



Fig.59 : Montants soudés , debut de réalisation .

La fixation des différentes parties de la cage tubulaire s'est faite pas soudage à l'arc électrique, et pour réaliser les zones coudées (fig. (60)) on utilise une cintreuse manuelle fig. (33) page .





Fig. 60: les zones coudées de la structure tubulaire.

Après tout ce travail, on a obtenu un résultat satisfaisant, comme montre la figure si dessous :



Fig.61 : La cabine finalisée et fixée sur le châssis.

## IV.2) la cabine :

Pour la réalisation de la cabine couvrante, nous avons suivi les mêmes étapes que la réalisation de la cage. Plusieurs croquis et formes ont été proposées, pour à la fin valider le désigne final, en utilisant de l'argile, une maquette à l'échelle 1/50 à été réalisée (fig. (62))



Fig. 62 : Les outils de réalisation de la maquette en argile.



Fig. 63 : Maquette finale.

La suite à donner à la réalisation de cette cabine, est sa simulation sur solidworks simulation, puis sa concrétisation à l'échelle 1/1, par la méthode du moulage de résine en s'appuyant sur le modèle.

## CONCLUSION :

Après une longue période de travaux, nous avons abouti à la réalisation d'une cabine rigide, solide et qui répond aux critères de résistance.

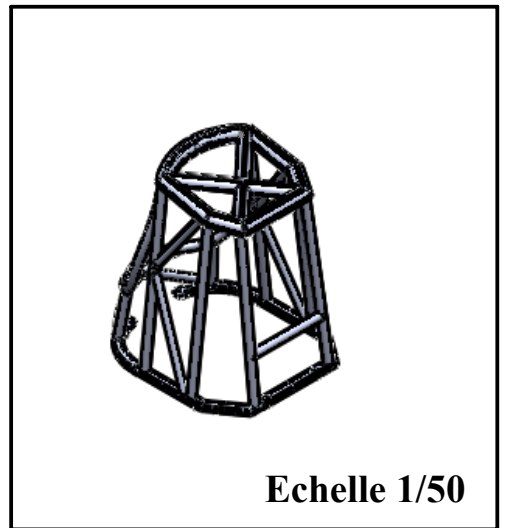
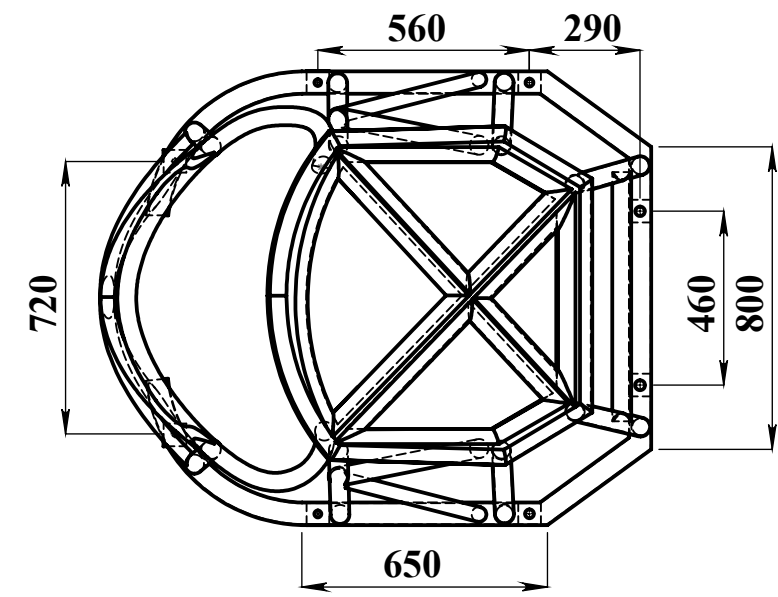
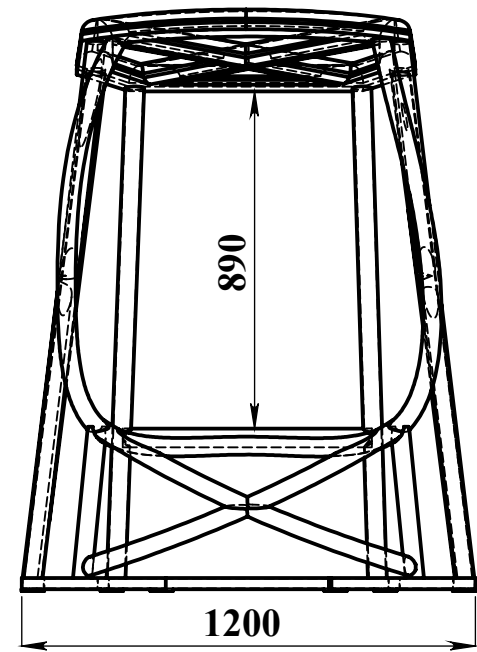
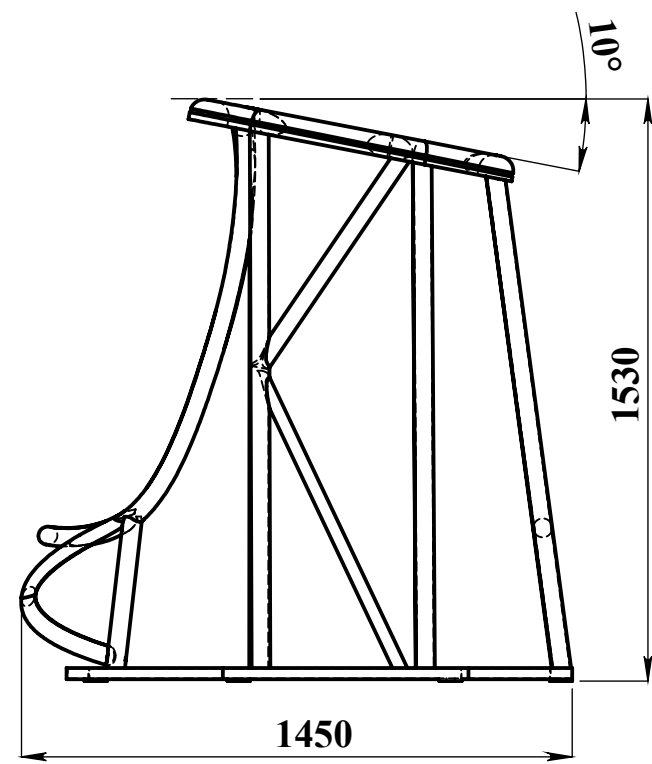
Nous sommes passés par l'étape de réalisation du design de la coque afin de réaliser la coque tubulaire du châssis suivant sa forme.

Nous avons alors proposé un premier prototype à l'échelle 1/50, pour pouvoir orienter les parties constituant cette cage dans le logiciel solidworks

Ensuite nous avons entamé la simulation par parties, pour enfin valider le model final.

Nous sommes aussitôt passés à l'étape de fabrication en exploitant les moyens disponibles au niveau du hall technologie.

Le châssis d'un véhicule et la coque protectrice sont des éléments indispensables pour la protection du conducteur et de son environnement, c'est pour quoi ça exige toute une étude pour qu'il réponde aux critères de plasticité. La suite à donner à ce projet est la réalisation de la coque extérieure en résine en se basant sur le modèle.



Echelle 1/50

Echelle 1/20	Université de Béjaia	26 juin 2016
	Cabine de la mini pelleuse	Master 2 CMP
		Rabhi et CHERIGUEN

