République Algérienne démocratique et populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche Scientifique
Universités Dr "Yahia FARES" de Médéa



PROJET DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du
Diplôme Master en génie mécanique
Option : conception mécanique

Thème

Etude et conception d'une machine de profilage

Présenté par
BOUKHNIFER Imad eddine

Encadré par
Pr.ABDELLAH ELHADJ Abdallah

Année universitaire 2012/2013

Dédicace

A ma tante Aicha à titre posthume, et que j'ai souhaité d'être parmi nous dans ces moments, celle qui me manque terriblement aujourd'hui.

A mes très chers parents

Ma mère, qui s'est toujours dévouée et sacrifiée pour moi ; qui m'a aidée du mieux qu'elle pouvait pour réussir ; celle qui m'a accompagnée tout au long de ce parcours ; celle qui a toujours été là dans mes moments de détresse.

Mon père, qui m'a toujours ouvert ses bras et soutenu dans tout ce que j'ai entrepris, qui m'a toujours encouragé et soutenu moralement, celui qui a toujours trouvé les mots pour me redonner la force de continuer et d'aller au bout de ma vie.

A mon frère Abdou.

A mes sœurs, Meriouma, Hafsa et son petit Mohamed El Amine, Imene et sa adorable Lyna.

Imad.

REMERCIEMENTS

Je remercie **ALLAH** tout puissant qui m'a donné le courage, la force et la volonté pour réaliser ce modeste travail.

Je tiens à remercier ici les personnes de prés ou de loin qui, par leurs conseils et leurs encouragements ont contribué à l'aboutissement de ce travail.

Je remercie évidemment le Professeur ABDELLAH ELHADJ Abdallah de m'avoir faire d'effectuer ce travail dans son service, son assistance, sa patience et surtout sa confiance a fin de réaliser ce modeste travail.

Je remercie tous les membres du jury pour l'honneur d'avoir accepté, de lire et de juger mon travail.

B.Akram, M.Khaled, Je ne sais comment exprimer ma gratitude à ces deux personnes autrement qu'en leurs soutien, encouragement et aussi pour les conseils stimulants que j'ai eux l'honneur de recevoir de leurs part, si un jour l'occasion m'en est donnée.

Je passe ensuite une dédicace spéciale à : M.tahar, Dr Mansour, que j'ai eux le plaisir de connaitre durant cette année.

Merci à tous mes amis, sans exception et surtout : Boubakeur, Sayeh, Hamza.

Enfin, un dernier remerciement : a tous ce que je n'ai pas cités, un grand merci de ne pas vous inquiéter, je pense a vous quand même!

RESUME

Le profilage est un procédé de formation des tôles qui possède une place très importante dans l'industrie. Ce travail de Master entre dans le cadre d'un projet PNR (13-U26-23) intitulé : Etude et conception d'une machine de profilage rattaché au laboratoire de Mécanique Physique et Modélisation Mathématique de l'université de Médéa. Dans ce but, on a utilisé un logiciel pour obtenir les différentes étapes de formation du profile désiré. Les dimensions et la forme des gales sont ensuite obtenues. Finalement, on a fait une série de simulation pour obtenir la forme de la déformé en 3D, ainsi que l'état de contrainte résultante.

Mots clés : profilage, conception, galet, simulation

ABSTRACT

Profiling is a method of forming sheet metal that has a very important place in the industry. This master thesis is part of a project PNR (13-U26-23) entitled: Study and design of a profiling machine attached to Mechanics Laboratory Physics and Mathematical Modeling, University of Medea. For this purpose, we used software for the various stages of training desired profile. The size and shape of galls are then obtained. Finally, we made a series of simulation for the shape of the deformed 3D, and the resulting stress state.

Keywords: roll forming, design, roller, simulation

ملخص

التنميط هو عملية تشكيل الصفائح المعدنية لإعطاء عدة نماذج والذي يحتل مكانة هامة جدا في النسيج الصناعي. يدخل هذا العمل في إطار المشروع الوطني للبحث العلمي PNR (13-U26-23)بعنوان:دراسة و تصميم آلة تنميط وهذا في مخبر الميكانيك,الفيزياء والنمذجة الرياضية بجامعة المدية. لهذا الغرض،قمنا باستخدام برنامج رقمي للحصول على المراحل المختلفة لتشكل الصفائح المعدنية حسب النموذج المطلوب.و بعد ذلك نحصل على الأبعاد و شكل الاسطوانات.في الأخير، قمنا بسلسلة من عمليات المحاكاة للحصول على الشكل المعدل ثلاثي الأبعاد ، فضلا عن حالة الإجهاد الناتج.

كلمات مفتاحية : التنميط ،التصميم ، أسطوانة ، المحاكاة .

LISTE DES SYMBOLES ET CARACTERES

L : Longueur de déformation	[mm]
r : la distance par rapport à la courbure	[mm]
r_0 : le rayon de la couche neutre	[mm]
u : la valeur de la fonction approchée	[/]
ϕ : la base de fonctions connues indépendantes	[/]
a : le vecteur des paramètres de l'approximation	[/]
Me :matrice de masse élémentaire	[/]
Ke : matrice de raideur élémentaire	[/]
P : conditions aux limites cinématiques	[/]
θ_1 : angle de pliage	[degré]
θ_2 : angle de courbure	[degré]
$\Delta\theta_0$: angle d'écart	[degré]
t : épaisseur de la bande	[mm]
h : la distance à partir de la couche neutre du côté intérieur de la courbure	[mm]
s : le moment du bras de levier parallèle	[N.m]
p : le moment du bras de levier perpendiculaire	[N.m]
Wt : travail total de la matière plastique	[J]
Y : la limite d'élasticité.	[Pa]

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1: Dispositif du profilage……3
Figure 1.2 : Galets de type cantilever……4
Figure 1.3 : un changement rapide de type des galets……...5
Figure 1.4 : Galet standard avec un espace d'arbre réglable……5
Figure 1.5: Les galets à double hauteur……..7
Figure 1.6 : Les galets empilés……7
Figure 1.7 : le levage des plaques amovibles ……8
Figure 1.8 : Galets côte à côte dans une seule machine ……9
Figure I.9. Galets à faire passer……...9
Figure 1.10 : Galet de tube spiral……..……10
Figure 1.11 : Une tête spéciale fait courber le tube…….……11
Figure 1.12 : Profileuse sur camion……...…12
Figure 2.1 : Le support de la profileuse…….....14
Figure 2.2 : Fixation des barres transversales parle calibrage à vis……..….15
Figure 2.3 : L'écart doit être suffisamment faible pour conserver la position des arbres.....15
Figure 2.4 : Vis à tête fraisée, vissée dans le centre de l'arbre……..……16
Figure 2.5 : La direction du filetage est toujours opposée à la direction de rotation de l'arbre……..17
Figure 2.6 : Engrenages……19
Figure 2.7 : Déviation de la ligne……..21
Figure 2.8 : Gros bouche de poissons……21
Figure 2.9 : Les guides ……...……..22
Figure 2.10 : Le redresseur……23
Figure 2.11 : Force unidirectionnelle du redresseur……..23
Figure 3.1 : La variation des contraintes entre deux stations…… …26
Figure 3.2 : La définition des paramètres de l'angle de pliage et l'angle de courbure minimum……27
Figure 3.3 : Longueur de déformation……...28
Figure. 3.4 : un élément au cours d'une passe…….…...29
Figure 3.5 : Erreur de discrétisation géométrique……..33

Figure 3.6 : Fonctions d'interpolation linéaires du triangle……...35
Figure. 3.7 : Fonctions d'interpolation quadratiques du triangle. Les autres sont obtenues par rotation……36
Figure 3.8 : Fonction d'interpolation *N*1 du quadrangle……37
Figure 4.1 : Page d'accueil du logiciel.....44
Figure 4.2 : création de la polyligne……...45
Figure 4.3 : la forme du premier cas……..……...45
Figure.4.4 : Choix de l'épaisseur ……....46
Figure 4.5 : Méthode de calcul du logiciel……...46
Figure 4.6 :position du profil……..……..47
Figure 4.7 : L'ouverture de la fleur……...47
Figure 4.8 :la fleur……48
Figure 4.9 : Numérotation des passes……48
Figure 4.10 : Positionnement sur les axes……49
Figure 4.11 : Les axes principaux…….……50
Figure 4.12: L'icone AXES……..50
Figure 4.13 : Position des axes des galets…….……51
Figure 4.14 : La barre d'outils des galets…….……..51
Figure 4.15 : Création des galets de la première passe……..…….52
Figure 4.16 : Galets de la première passe……..…….52
Figure 4.17 :L'icone plan d'assemblage et cotation…….53
Figure 4.18 : Cotation des plans d'installation…….…….53
Figure 4.19 : Sélection des passes…….……54
Figure 4.20 : Assemblage des galets……..……54
Figure 4.21 : Création du profil…….……55
Figure 4.22 : La fleur……..…56
Figure 4.24 : Paramètres de simulation…….…56
Figure 4.23 : Assemblage des galets……..……57
Figure 4.25 : Correction de la longueur de déformation……..58
Figure 4.26 : Les contraintes avec le sens longitudinal…….…58
Figure 4.27 : Le profil du premier type en 3D…….…….59
Figure 4.28 : Les contraintes avec le sens longitudinal…….……60
Figure 4.29 : Le profil du premier type en 3D…….….61
Figure4.30 : Modèle simplifié ……...…..62

Figure 4.31 : choix de type de simulation……..…62
Figure4.32 : Type de contact…… 63
Figure4.33 : géométrie fixe……..…..63
Figure4.34 : Conditions initiales……...…64
Figure4.35 : Le maillage……64

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE……..1
1. GENERALITES
1.1 C'est quoi le parfilage……..3
1.2 Classification des profileuses……...4
1.2.1 Profileuse a galets de type cantilever (porte à faux)……..4
1.2.2 Profileuse à galets duplex……..…4
1.2.3 Profileuse a galet standard…….…5
1.2.4 Profileuse a galet duplex avec arbre traversant…….…6
1.2.5 Profileuse à galets double hauteur……...6
1.2.6 Profileuse à galets empilés……...…7
1.2.7 Profileuse cote à cote……...8
1.2.8 Profileuse du galet à faire passer……....9
1.2.9 Profileuse a galet de tube Spiral……..…..10
1.2.10 Profileuse sur camion……..…...…11
1.2.11 Profileuse à galets spéciaux……..…….12
1.3 Principe de fonctionnement……..12
2. DESCRIPTION DE LA MACHINE DE PROFILAGE
2.1 Les composants d'une machine de profilage ……13
2.1.1 Le support ……...……13
2.1.2 Le stand …….…..14
2.1.3. Les arbres ……..…..16
2.1.4. Motopropulseur ……..…18
2.1.4.1. Transmission par chaîne ……...…...18
2.1.4.2 Transmission par engrenages ……..19
2.1.4.3 Transmissions mixtes …….…..19
2.1.4.4 Les arbres non entraînés …….…..20
2.1.4.5. Les arbres entraînés avec des moteurs individuels……..…….20
2.1.5. Guides entre les passes ……..……....21
2.1.6. Le redresseur …….....22
2.1.7. Système de lubrification ……24

2.1.8 Installation d'autres unités dans la profileuse ……..24
3. FORMULATION MATHEMATIQUE
3.1 Les contraintes dans le profilage ……..…..26
3.2 La contrainte longitudinale du feuillard ……..…...27
3.3 Longueur de déformation ……..27
3.4 Les types de déformation …….....28
3.5 La contrainte longitudinale de la membrane …….....31
3.6 Démarcheélémentsfinis ……...32
3.6.1 Discrétisationgéométrique ……32
3.6.2 Approximation nodale ……33
3.6.2.1 Construction d'une approximation nodale linéaire…… .34
a) Bases polynomiales complètes …….....…...34
b) Bases polynomiales incomplètes……34
3.6.2.2 Construction des fonctions d'interpolation d'un élément triangulaire ….35
a)Approximation nodale des éléments triangulaire ……..…35
b)Approximation nodale des éléments rectangulaire ……..…36
3.6.3.Quantités élémentaires ……..…..37
3.6.3.1.Matrices, masse et raideur ……37
3.6.3.2 Efforts imposés ……39
3.6.3.3 Efforts inconnus ……40
3.6.4 Assemblage et conditions aux limites ……..……40
3.6.4.1 Matrices ……40
3.6.4.2 Efforts imposés ……41
3.6.4.3 Efforts inconnus ……41
4. CONCEPTION ET APPLICATIONS
4.1 Présentation du logiciel…… ……..43
4.2 Conception du profiles ……43
4.2.1 Conception du premier type ……....44
4.2.1.1 Création du dessin ……44
4.2.1.2 Création du profil ……..….46
4.2.1.3 Création de la fleur ……....47
4.2.1.4 Création des galets ……49
4.2.1.4.1 Positionnement du profil sur les axes principaux ……...…49
4.2.1.4.2 Création des axes des galets ……50

4.2.1.4.3 Création des galets ……..….51
4.2.2 Conception du deuxième type ……..55
4.2.2.1. Création du profil ……..55
4.2.2.2 Création de la fleur ……55
4.2.2.3 Création des galets ……56
4.6 Simulation statique……..…..57
4.7 Simulation Dynamique ……....62
Conclusion……..65
Annexe A ……67
Annexe B ……70

INTRODUCTION GENERALE

Avec le progrès industriel et l'augmentation de l'utilisation des machines pour remplacer les personnes, l'utilisation intégrée des techniques dans des lignes de production a stimulé les révolutions industrielles. Le profilage occupe une grande place dans ces lignes de productions. Le profilage à froid est une opération qui consiste à plier la tôle (feuillard) à froid par des passes successives, afin d'obtenir le produit final. La qualité (précision des côtes) obtenue est remarquable. Le produit utilisé peu être de l'acier, de l'inox, de l'aluminium, du zinc, du cuivre, du prélaqué, acier galvanisé, et maintenant des aciers à hautes résistances élastiques HLE utilisés principalement dans l'automobile.

Ce mémoire de Master s'intéresse à la conception d'une chaine de profilage. Le travail entre dans le cadre d'un projet PNR (13-U26-23) intitulé : Etude et conception d'une machine de profilage rattaché au laboratoire de Mécanique Physique et Modélisation Mathématique de l'université de Médéa.

Dans ce but, on a utilisé un logiciel pour obtenir les différentes étapes de formation du profile désiré. A partir de ces profiles, on cherche la forme optimale des différents galets. Ensuite, on va faire une série de simulation pour obtenir la formé de la déformé en 3D, ainsi que l'état de contrainte résultante. D'autre part, on essayera de simuler la déformation de la tôle entre deux galets pendant le procédé de profilage en utilisant le code CosmosWorks.

Dans le premier chapitre, on a commencé par donner des généralités sur le procédé profilage. Dans le deuxième chapitre, nous avons exposé les différents composants d'une machine de profilage, en l'occurrence, le support, les galets, les arbres, moteurs…. La formulation mathématique du problème est donnée dans le troisième chapitre. Ensuite, dans le dernier chapitre, on termine le travail par la conception et application du logiciel sur des cas choisis. Finalement, on expose les différentes conclusions déduites de ce travail.

CHAPITRE

01

1. GENERALITES

Dans ce chapitre, nous allons présenter le procédé de déformation des tôles métalliques en utilisant les machines de profilage. On commence par la définition du profilage. Ensuite, on présente les différents types des machines de profilage. Finalement, on termine par leur principe de fonctionnement.

1.1 C'est quoi le parfilage :

Le profilage est un processus de mise en forme en continu qui permet, à partir de tôles planes en feuilles ou en bobine, d'obtenir des produits de section constante, appelés profilés.

Ces profilés peuvent être divisés en trois grandes familles:

a) **Les profilés larges**: il s'agit de produits de grande largeur (600 à 1500 mm environ) comportant plusieurs ondes de forme équivalente ou similaire. On rencontre notamment dans cette catégorie les profilés de couverture et de bardage;

b) **Les tubes**: il s'agit de produits à section fermé réalisés par profilage avec une soudure en continu ;

c) **Les profilés étroits**: il s'agit de produits de section ouverte ou fermée sans soudure ne comportant pas de répétition d'une forme d'onde. Cette catégorie comprend, entre autres, les profilés de structure, les chemins de câbles, les glissières de sécurité.

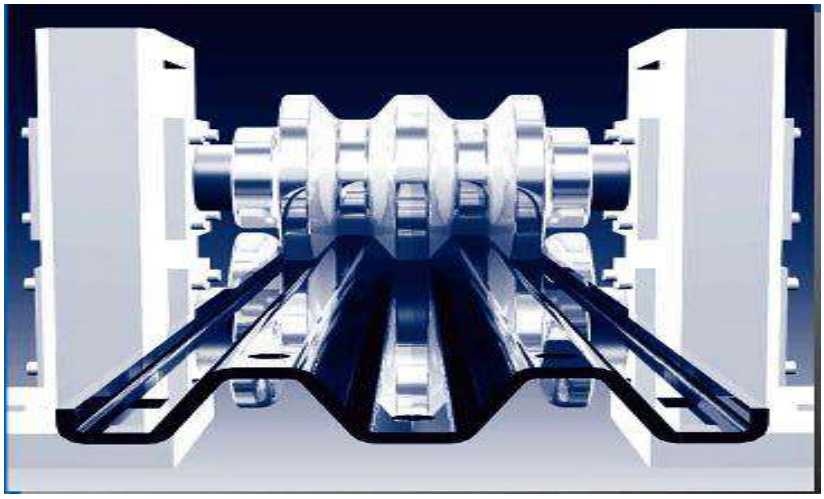


Figure 1.1: Dispositif du profilage

1.2 Classification des profileuses :

On peut classer les profileuses selon le type du galet qui représente l'unité principale de la profileuse ou la ligne de profilage **[1]** :

1.2.1 Profileuse a galets de type cantilever (porte à faux) :

Les arbres des galets en porte à faux sont pris en charge par une seule extrémité, d'où ils sont parfois appelés «Surplomb».

Ce type des galets est utilisé pour former les sections simples, leur avantage :

- Un coût relativement faible.
- Capacité à former le bord de feuilles de largeur quelconque.

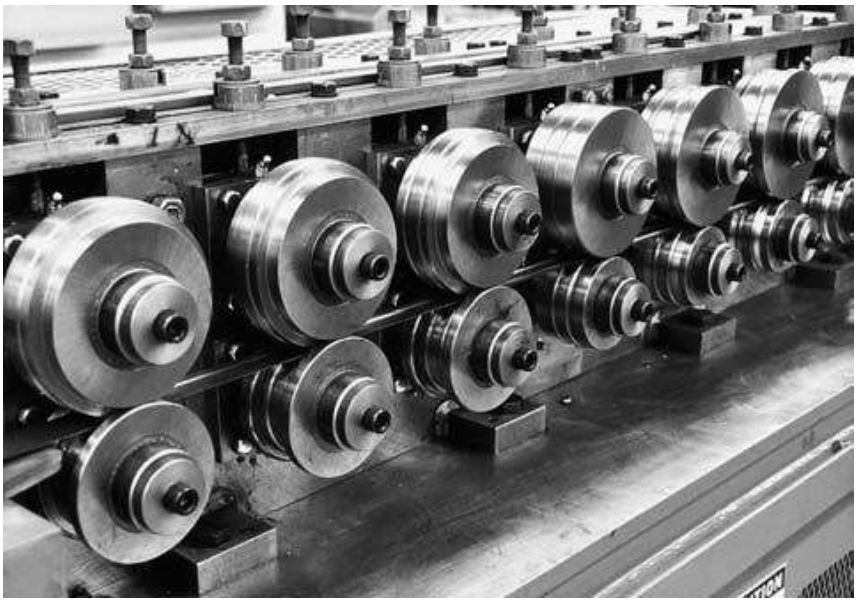


Figure 1.2 : Galets de type cantilever

1.2.2 Profileuse à galets duplex :

Deux galets porte à faux l'un face de l'autre sont appelés un galet duplex, ils ont un entrainement communs. Ce type des machines permet de jouer avec la largeur du profile facilement. La largeur de la forme produite peut être modifiée rapidement en ajustant l'un ou les deux côtés du galet duplex vers l'intérieur ou l'extérieur voir (figure 1.3).

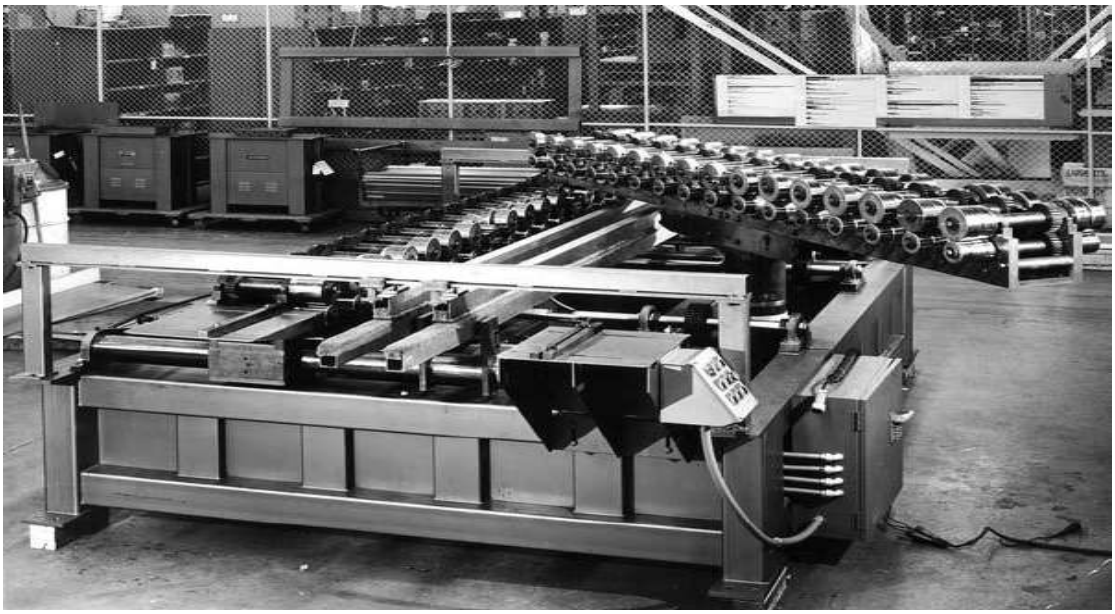


Figure 1.3 : un changement rapide de type des galets

1.2.3 Profileuse a galet standard :

Les arbres des galets standards (classiques) sont pris en charge aux deux extrémités. Cette conception permet la construction et l'utilisation des galets pour les matériaux de grande largeur et épaisseur. Par conséquent, les profileuses à galets standards sont les machines les plus populaires utilisées pour le profilage des métaux.

Dans la plupart des cas, le côté entraînement (intérieur) se tient les arbres en position et accueille de l'opérateur, voir (figure 1.4).

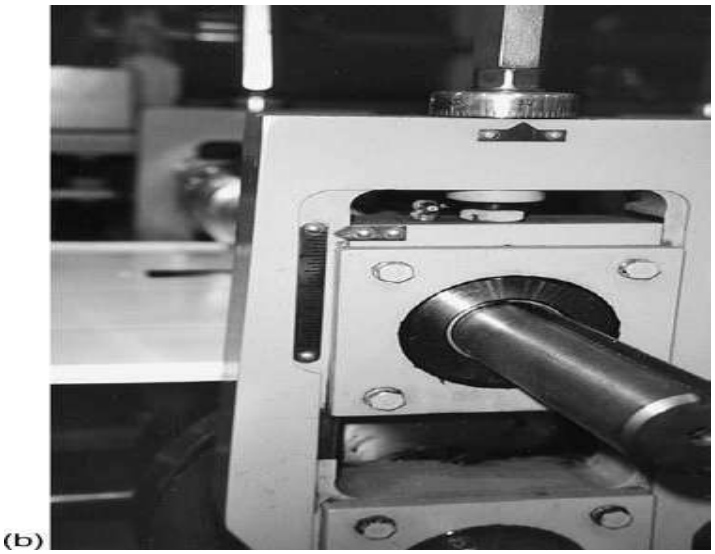


Figure 1.4 : Galet standard avec un espace d'arbre réglable

1.2.4 Profileuse a galet duplex avec arbre traversant :

Le galet duplex avec arbre traversant est une combinaison du galet duplex et galet conventionnel (standard). Les principales caractéristiques des galets de duplex avec arbre traversant sont :

- Les arbres traversant fléchissent moins que les arbres en porte à faux.
- Les galets sont montés sur les arbres traversant.
- les arbres traversant sont fixés au support dans les deux côté.
- les arbres traversant avec les galets montés sont prévus de coulisser.
- L'arbre traversant peut porter des galets centraux entre les deux galets principaux.

Les avantages du galet à duplex avec arbre traversant sont:

- La flexion de l'arbre réduite permet la mise en forme d'un matériau de résistance plus épaisse / supérieur à celui des galets duplex avec les mêmes diamètres d'arbre.
- Les galets porteurs peuvent supporter à la fois le haut et le bas de la partie centrale du produit.
- Il est relativement simple à intégrer et former la partie centrale du produit.

Les inconvénients du galet à duplex avec arbre traversant sont:

- Plus cher que le galet duplex.
- La relocalisation des galets centraux peut être encombrante.

1.2.5 Profileuse à galets double hauteur :

Pour satisfaire la demande de profilage de deux profiles dans une zone limitée avec un changement de profil rapide, les machines a galets "double hauteur" ont été développés pour répondre aux ces exigences.

Les galets pour un profil sont installés dans le niveau inférieur de la machine et les galets pour un autre profil sont montés dans le niveau supérieur voir (figure 1.5). Ce type des machines économise l'espace, et le temps de passage entre les deux produits est relativement court.

Toutefois, en raison de l'état encombré, il est difficile d'installer des supports au côté des galets, pour effectuer le réglage, ou pour vérifier les conditions de formation.



Figure 1.5: Les galets à double hauteur

1.2.6 Profileuse à galets empilés :

Le changement des galets dans une ligne de profilage prend généralement plus de 8 heures, ou 3 à 4 heures pour une ligne plus petite, pour cela les constructeurs introduisent les profileuses à galets empilés. Les galets sont installés dans une plaque amovible. Le nombre des galets de chaque plaque dépend à la capacité de levage du pont roulant voir (figure 1.6).

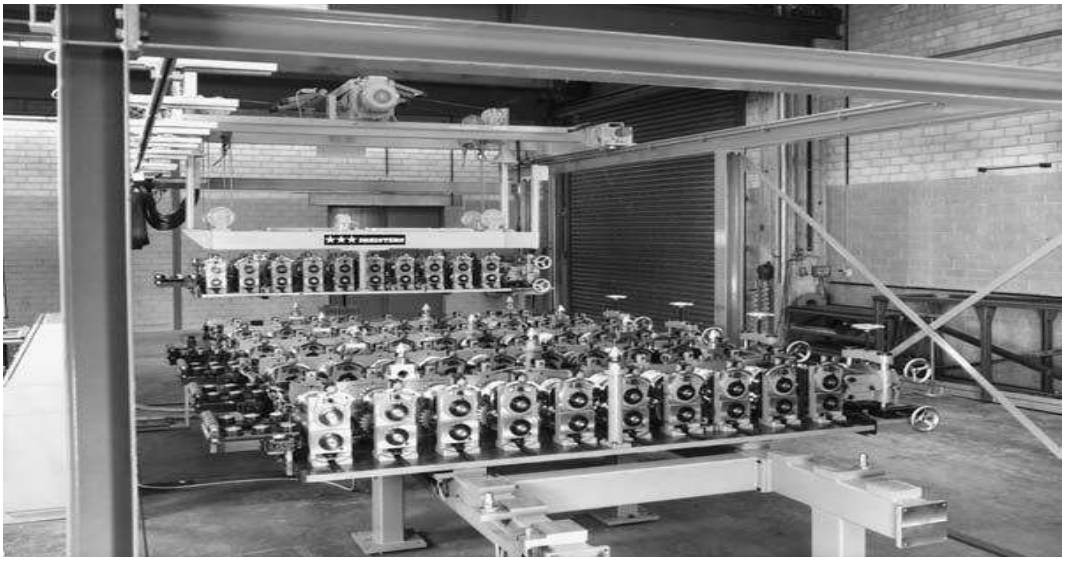


Figure 1.6 : Les galets empilés

Pour réduire le temps de commutation, seuls les axes inférieurs sont entraînés par le train d'entraînement, et les arbres supérieurs sont entraînés par des engrenages situés à l'extrémité du côté d'entraînement.

Les quatre anneaux de levage fixés aux plaques devraient fournir un bon équilibre, et les dispositifs de levage (barres ou chaînes) ne doivent pas frotter contre les organes de la machines voir (figure 1.7).

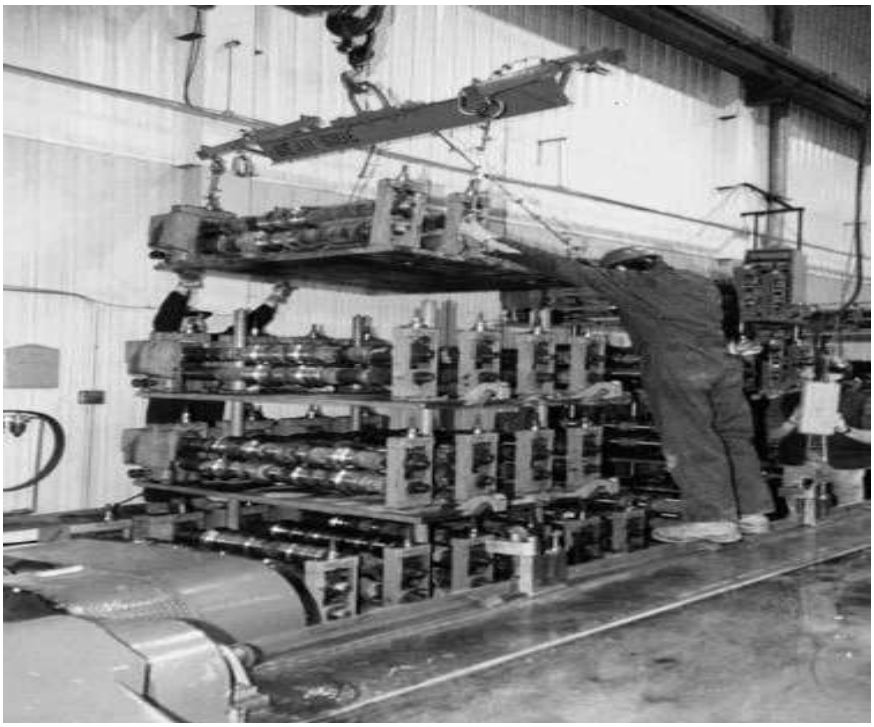


Figure 1.7 : Le levage des plaques amovibles

1.2.7 Profileuse cote à cote :

La disposition la plus simple pour les sections étroites est d'installer deux jeux de galets sur des arbres communs. Les galets côte à côte sont utilisés dans les lignes qui forment deux produits en même temps (voir figure 1.8).

Les arbres sont entraînés par un moteur électrique ou par tout autre moyen (Par exemple, les vérins hydrauliques).Il convient également de noter que les deux séries de galets doivent avoir le même diamètre primitif.

Lors de l'installation, les galets près des épaules de l'arbre (Côté d'entraînement) doivent être réglés et testés en premier, puis on installe l'ensemble de galets du côté de l'opérateur.



Figure 1.8 : Galets côte à côte dans une seule machine.

1.2.8 Profileuse du galet à faire passer :

Les profileuses peuvent avoir des galets non entraînées, dans ce cas, la tôle est tirée par d'autres moyens. Lors de la formation de matériaux minces (par exemple, de 0,075 à 0,5 mm) dans les petits galets, la tôle peut être tiré par une "chenille", tambour enrouleur, ou par d'autres moyens.

Les matériaux plus épais (1,5 à 2,5 mm), nécessitent plus de force de traction, pour cela on met quelques paires des galets de conduite situés entre chaque passe peuvent produire des structure en "U", "C", "Z", et d'autres sections voir (figure 1.9).



Figure 1.9 : Galets à faire passer.

1.2.9 Profileuse a galet de tube Spiral :

Tubes spiralés, soudés, ou d'autres articulations sont utilisés pour les tuyaux flexible des eaux / électriques, et autres applications. La partie ondulée est formée dans une profileuse (Figure 1.10) et courbé avec une tête spéciale (Figure 1.11).

Le diamètre des tubes est changé en modifiant "l'angle d'hélice" (l'angle entre le profilé entrant et sortant du produit tubulaire), sans modifier la largeur du galet.

Habituellement, la tête incurvée et la table de sortie reste dans une position fixe, et l'angle d'hélice est modifiée par le déplacement du lit de galet autour d'un point de pivotement, qui est situé dans la tête courbant.

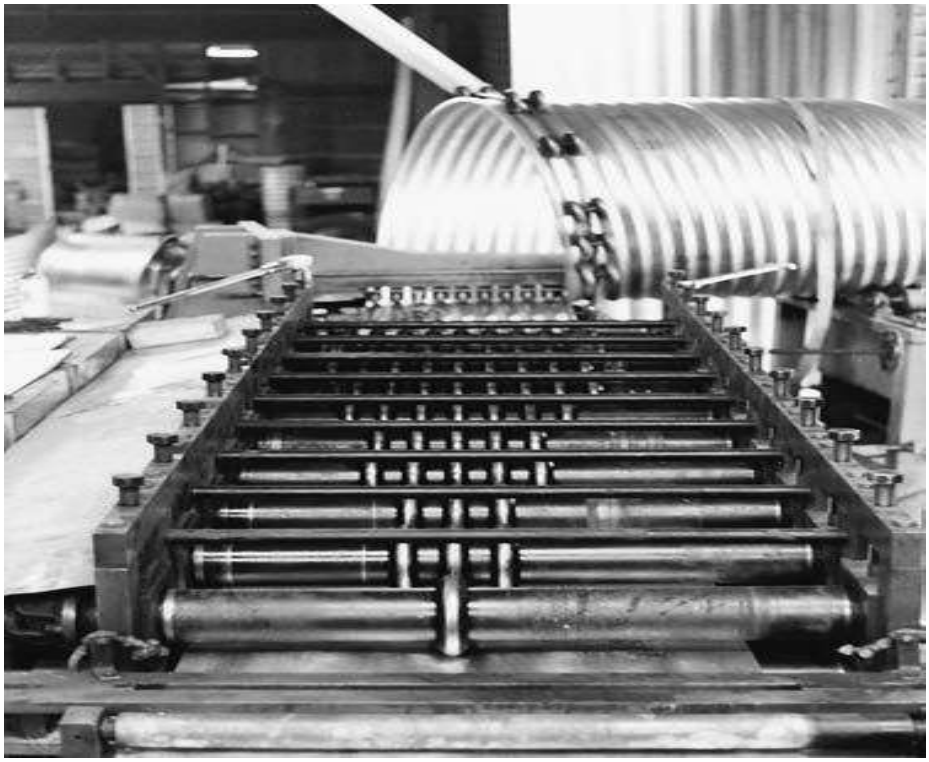


Figure 1.10 : Galet de tube spiral.

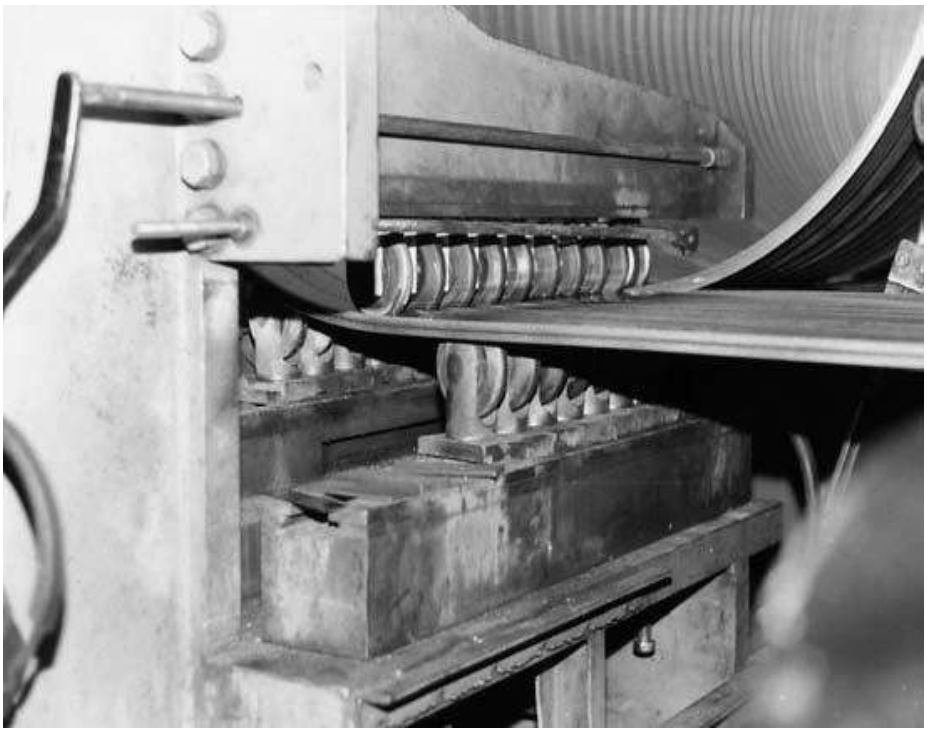


Figure 1.11 : Une tête spéciale fait courber le tube

1.2.10 Profileuse sur camion :

Les installateurs de produits de construction trouvent parfois nécessaire et souvent plus économique pour former le produits sur le site de travail. Par exemple, pour un profile d'un bâtiment existant, l'architecte peut spécifier plus de 33 m de la longueur des feuilles, le transport et la manipulation de ces feuilles au lieu de travail n'est pas pratique, il est plus facile de déplacer la ligne complète pour le chantier, les lignes sur remorque plus spéciaux ont leur propre générateur diesel, hydraulique ou autre moteur voir (figure 1.12).

Ces unités autonomes sont également utilisées dans les pays moins développés ou à tout endroit où, en raison de manque d'infrastructures adéquates, il est plus facile de transporter le matériel dans un camion. Plusieurs types d'unités montées sur camion sont utilisés par des entrepreneurs pour le travail de fabrication du site de gouttières, bardages, soffites, et des produits similaires.



Figure 1.12 : Profileuse sur camion

1.2.11 Profileuse à galets spéciaux :

Une variété d'applications spéciales sont utilisés par l'industrie, beaucoup d'entre eux ne correspondent pas dans les groupes mentionnés précédemment, mais ils fonctionnent de manière satisfaisante, plusieurs de ces unités artisanales sont finalement remplacé par une meilleure qualité ou la production plus élevée, des lignes, des standards disponibles dans le commerce. Cependant, le manque d'expérience élimine beaucoup d'idées préconçues et de la maison de lignes de profilage souvent intégrer des méthodes ingénieuses de galet de formage.

1.3 Principe de fonctionnement :

La feuille est posée entre deux galets supérieur et inférieur qui sont actionnés par un motoréducteur, ce dernier donne un mouvement de rotation pour la mise en marche du mécanisme, l'action des galets fait déplacer la feuille vers l'intérieur qui prend la forme des galets.

CHAPITRE

02

2. DESCRIPTION DE LA MACHINE DE PROFILAGE

Dans ce chapitre, on va exposer les différentes parties fonctionnelles (composants) de la machine de profilage, notamment les assemblages et leurs montages.

2.1 Les composants d'une machine de profilage [2] :

2.1.1Le support :

C'est le châssis, parfois appelée «lit» ou bien base, soutient des stands, des arbres, train roulant et les composants nécessaire pour former les sections. Les exigences les plus importantes pour le support sont les suivants:

- Rigidité pendant le fonctionnement, le transport et l'installation
- Surface supérieure lisse pour l'installation des composants
- Une rainure ou les autres composants à être utilisés pour aligner les stands
- Drainage pour le lubrifiant de profilage

Les grands supports de la profileuse peuvent être divisés en deux sections ou plus pour accueillir l'usinage, le traitement (Levage) et le transport. Les supports doit être capable d'accueillir lubrifiant recyclé utilisé pendant la formation, dans le cas d'un support fendu, une attention doit être accordée à la recirculation de chaque section du support et de faire un joint d'étanchéité entre elles.

Dans la plupart des cas, le support prend également en charge le train d'entraînement. Les boîtes de vitesses qui animent les stands sont très rarement montés sur un support séparé.

Il n'existe pas d'une conception des supports d'une machine de profilage, mais la plupart des supports sont construit soit à partir de plaques ou à partir de tronçons tubulaire. Un lit typique fabriqué par des plaques est illustré à la (figure 2.1), la surface supérieure de la plaque supérieure est usinée où les stands et les boîtes de vitesses sont montées, une clavette d'alignement est usiné dans toute la longueur de la plaque supérieure.

Des trous sont percés et taraudés pour le montage des stands et autres composants, les bords supérieurs des côtés de base sont soudés à la plaque supérieure et les bords de la partie inférieure sont attachés à une structure de trame. Des plaques de mise à niveau et de fondation sont fixées au cadre.

Les exigences de base pour la construction de structure du châssis tubulaire sont les mêmes que pour les plaques. Si le lit n'a pas de plaque supérieure continue, un collecteur de lubrifiant est utilisé.



Figure 2.1 : Le support de la profileuse

Dans la plupart des cas, le choix de la hauteur de la base du profilage doit être confondu à la ligne de passage pour le produit. Habituellement, la hauteur de la ligne de passage est fixée à (900 à 1025 mm) au-dessus du sol.

Toutefois, la taille des stands, le type de presses, d'autres opérations secondaires de la ligne, et le type de manutention du matériau peuvent déterminer la hauteur de la ligne de passage réelle, si la hauteur est trop élevée, une plate-forme doit être prévue le long du côté de l'opérateur de l'usine. Par conséquent, de temps en temps, la presse de coupure ou autre équipement est installé dans une fosse pour créer une confortable hauteur pour les opérateurs.

2.1.2 Le stand :

Dans la plupart des cas, les stands sont exposés à des forces importantes et des moments de flexion. Les stands du côté opérateur (hors-bord) sont exposés à des forces inférieures. Ils soutient généralement les arbres grâce à des roulements à aiguilles et de longues douilles de palier. En conséquence, il n'y a pas de forces agissant sur le stand dans la direction axiale de l'arbre, les supports latéraux sont fixés à une ou deux vis à la base du dispositif de profilage.

Pour résister aux contraintes résultantes, les stands latérales doivent être solides et bien ancrés à la base de la profileuse, les deux tribunes latérales doivent être suffisamment solides pour résister aux forces qui séparent les arbres, ces forces sont parfois multipliées par configuration incorrecte (trop de pression appliquée par l'opérateur) ou des accidents tels comme matières de double ou triple épaisseur de la tôle.

Il faut utiliser le calibrage a vis de force pour fixer les barres transversales aux stands, ces vis agissent comme des «goupilles» (figure 2.2).

Les paliers doivent se déplacer librement vers le haut et vers le bas, mais l'écart doit être suffisamment faible, en particulier au niveau du côté d'entraînement, que, lorsque les supports du côté de l'opérateur sont enlevés, l'extrémité des arbres ne peut pas être déplacée vers le haut ou vers le bas à la main (figure 2.3).

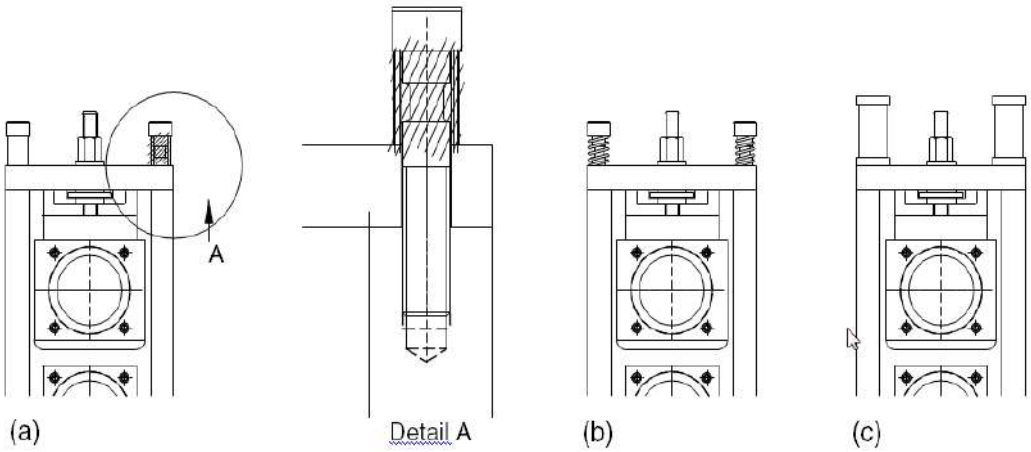


Figure 2.2 : Fixation des barres transversales parle calibrage à vis

Il est essentiel que tous les arbres doivent être réglés exactement à 90^0 à la direction du déplacement de la bande au cours de l'installation du côté de l'entraînement.

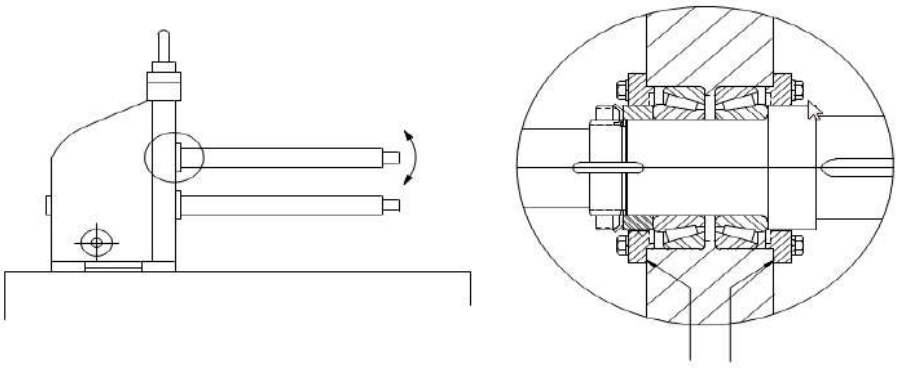


Figure 2.3 : L'écart doit être suffisamment faible pour conserver la position des arbres.

2.1.3 Les arbres :

La construction des arbres en porte à faux et les arbres portés sur deux cotés sont similaires. Cependant, pour économiser de l'espace, les galets sur les arbres en porte à faux sont souvent tenus par des vis à tête fraisée, vissée dans le centre des arbres (figure 2.4).

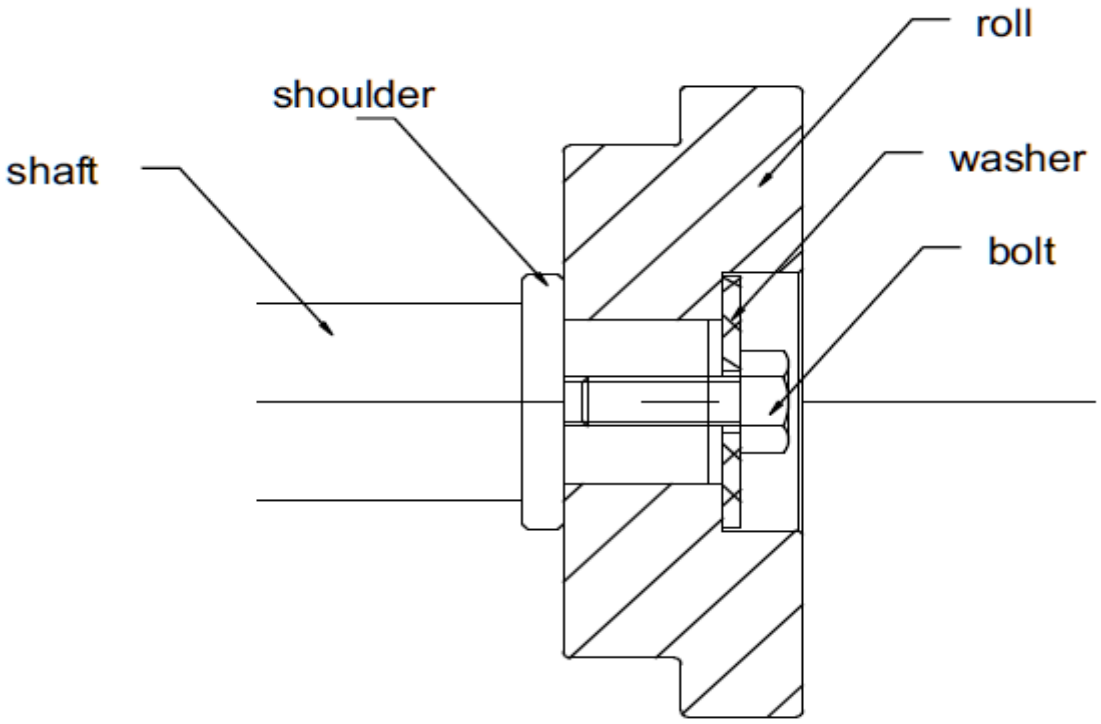


Figure 2.4 : Vis à tête fraisée, vissée dans le centre de l'arbre.

La direction du filetage est toujours opposée à la direction de rotation de l'arbre **(**Figure 2.5**)**, qui tourne dans le sens antihoraire. Puis les noix sont tenues (dans le sens des aiguilles d'une montre), si l'arbre tourne dans le sens horaire, puis les écrous doivent être serrés à gauche (filetage à gauche), cette exigence rend le galet unidirectionnel.

Les arbres peuvent avoir de l'espace pour un galet fixe ou variable, le côté de l'arbre du galet fixe comporte une partie de plus petit diamètre qui s'ajuste dans le palier, sur les arbres de galet variable, des roulements à aiguilles sont montés à n'importe quelle position, cela permet de déplacer le support à différentes emplacement le long des arbres.

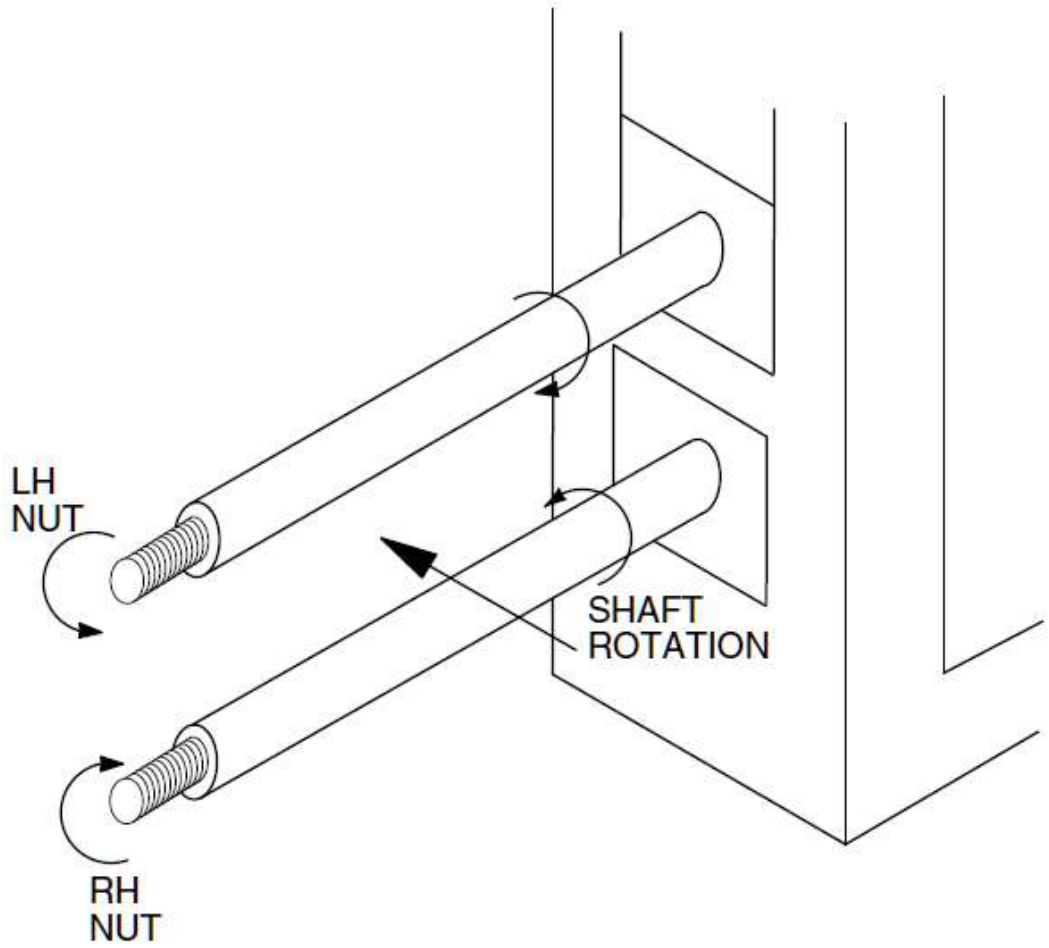


Figure 2.5 : La direction du filetage est toujours opposée à la direction de rotation de l'arbre

Les efforts engendrés par les forces axiales et par le couple sur les arbres sont généralement négligeable, dans des arbres très courts, les forces nécessaires pour former le matériau, qui séparent les arbres, peuvent créer substantielle contraintes de cisaillement, mais dans la plupart des cas, ces contraintes sont secondaires par rapport aux contraintes créées par la flexion déviée au niveau des arbres.

Les diamètres de l'arbre, sélectionnés pour les applications spécifiées, sont en fonction de l'épaisseur et les propriétés mécaniques du matériau à former, l'espace de cylindre (longueur de l'arbre entre les supports), et parle type et le nombre de virages pris à chaque passage.

2.1.4 Motopropulseur :

Les lignes de profilage sont généralement alimentées par des moteurs électriques. Dans des rares cas, les machines sont entraînées par moteurs hydrauliques, la plupart des moteurs hydrauliques sont alimentés par des pompes hydrauliques entraînées par des moteurs électriques. Parfois, la pompe est entraînée par un moteur diesel, comme dans le cas de lignes montées sur camion travaillant dans des chantiers isolés.

La plupart de l'ancien type de profileuses ont été équipés avec une seule vitesse motrice à courant alternatif, la puissance du train se composait généralement d'une courroie en « V » et réducteurs individuels pour chaque support.
Dans les modèles à faible coût, des chaînes ont été utilisés pour la réduction de vitesse et le transfert de puissance, parfois, une boîte de vitesses à réducteur de vitesse unique a été installée entre le moteur électrique et l'arbre d'entrainement.

Finalement, différentes méthodes ont été introduites pour modifier la vitesse de rotation de l'arbre d'entraînement du galet afin de répondre à la demande de déploiement optimal de vitesse de formation tels que la haute vitesse de formation des sections longues et à faible vitesse de formation de courtes sections, en plus de l'un ou de moteurs à courant alternatif à deux vitesses, deux, boîtes de vitesses à trois ou quatre vitesses ont été installés dans les lignes, toutes ces méthodes fourni un nombre déterminé de tours de l'arbre fixe.

Pour optimiser la vitesse de profilage, les variateurs de vitesse ont été utilisés dans les trains d'entraînement, ces réducteurs de vitesse sont soit mécanique ou occasionnellement de type hydraulique avec des moyens manuels ou électriques.

2.1.4.1 Transmission par chaîne :

Conduire chaque sommet individuel des arbres supérieur et inferieur avec une chaîne continue fournit habituellement très faible ajustement et la vitesse peut être limité. Les chaînes sont considérées comme une solution à faible coût et en général, ils ne sont pas utilisés dans de meilleures usines de qualité.

2.1.4.2 Transmission par engrenages :

Une possibilité d'entrainer les arbres avec un train d'engrenage (Figure 2.6). Le problème avec ce type d'arrangement est le réglage des premiers arbres le déplacement des arbres avec une petite valeur provoque la pointe de l'engrenage à les toucher, cette action ne prévoit pas une conduite souple et peut facilement ébrécher ou casser les dents des engrenages.

Le déplacement de l'arbre supérieur vers le haut dégage les axes principaux, si les arbres doivent être rapprochés, il est alors possible que le train va restreindre le mouvement à la baisse.

Dans certains cas, forçant les derniers rapports du train dans l'engrenage de l'arbre de fond vont créer un «bavardage», continue ce qui peut laisser des marques sur la bande.

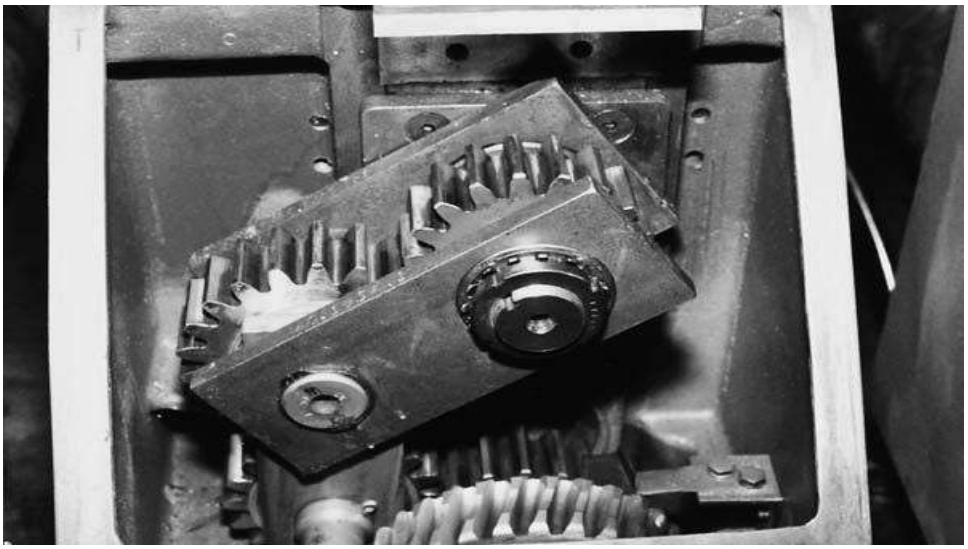


Figure 2.6 : Engrenages

2.1.4.3 Transmissions mixtes :

Pour réduire le coût de fabrication, certaines entreprises combinent parfois les transmissions par chaîne avec un train, mais d'une manière générale se type ne produit pas des profilés fines.

2.1.4.4 Les arbres non entraînés :

Au début, tous les arbres du haut et du bas ont été entrainés. Mais au plus tard, les fabricants des machines de profilage découvert qu'ils pouvaient déployer avec succès la forme sans entrainé les arbres supérieurs.

La grande différence de vitesse circonférentielle peut créer des problèmes si le haut et le bas des arbres sont entraînés. Certaines profileuses ont été construites sans entraînement supérieur.

Toutefois, la conduite en bas des arbres ne génère que la moitié de la friction entre les galets et la bande, en conséquence, les premiers passages souvent:

1. Ne tire pas la bande dans le broyeur.
2. Générer une grande fluctuation de la vitesse de l'appareil au cours de la formation.
3. Ne permet pas de pousser le produit à travers les redresseurs, les unités incurvées, ou tout autre équipement.

Généralement la fonction du galet parfois corrigé par le technicien d'installation, pour indiquer les passes intermédiaires qui exigeront les arbres supérieur.

2.1.4.5 Les arbres entraînés avec des moteurs individuels:

Ce type des galets été construit avec un moteur à courant continu attaché à chaque arbre. Cette méthode fournit le maximum de flexibilité à tous machines à galets.

Cependant, en raison du coût relativement élevé, cette méthode est rarement appliquée, les variateurs à vitesse unique sont peu coûteux, la constante de l'opération« marche-arrêt » au cours de la commande de déplacement (alimentation de l'extrémité avant de la bobine dans chaque passe) a également une certaine usure et à la déchirure d'effet sur le train d'entraînement.

Il est possible de régler le taux d'accélération. Ce qui signifie que, pendant la commande de déplacement en fonctionnement, la machine de démarrage lent et de plus souvent ne pas dépasser une vitesse confortable.

2.1.5 Guides entre les passes :

Les contraintes internes générées dans la section par la formation peuvent conduire à la position de l'arc (à la baisse ou vers le haut) ou bien le carrossage (sur le côté), Ces distorsions peuvent être observées dans l'extrémité avant de la sortie de la tôle.

Sous l'effet de ces déviations, le bord d'attaque de la tôle n'est pas toujours entré directement dans la prochaine station (figure 2.7).Fréquemment, l'opérateur doit pousser manuellement le leader bord dans la fente de la paire suivante de galets à chaque fois, il est accepté par l'industrie que les extrémités sont manipulées par l'opérateur à une vitesse lente, en général cette méthode prend du temps et réduit l'efficacité de la ligne.

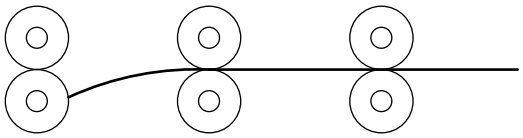


Figure 2.7 : Déviation de la ligne

Il est également dangereux parce que la plupart des opérateurs tentent de guider le bord d'attaque à la main juste a l'entrée des galets rotatifs, une bonne conception du galet avec un nombre suffisant des passes, et si nécessaire, des guides entre passes permet d'enfilage de la bande à pleine vitesse.

Pour parvenir à pleine vitesse et en toute sécurité d'enfilage du bord d'attaque de la bobine, de gros « Fish Mouthe » ou bien bouche de poisson ouvertures sont nécessaires à chaque zone d'accès restreint tel comme redresseurs et des matrices de coupure (figure2.8).

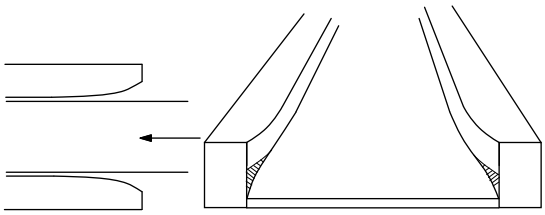


Figure 2.8 : Gros bouche de poissons

Les guides appropriés entre les passages non seulement orientent la tôle, mais aussi d'éviter le flambage entre les passages, qu'il peut arriver de temps en temps lorsque les premières passes poussent le matériel, tandis que quelque part autour de la dernière passe, la vitesse est réduite ou le passage est limité dans le redresseur ou à d'autres obstacles.

Pour éviter le flambage des sections moins rigide devant le redresseur et la presse de coupure, la pièce est guidée à ces emplacements, les guides peuvent être faites à partir d'une variété de matériaux tels que l'acier laminé à froid, l'acier traité thermiquement, le bronze, le plastique, ou une combinaison de ce qui précède des matériaux. Il est à noter que les guides ne doivent pas être utilisés pour former le matériau, ils sont en contact avec la tôle pendant la nourriture, mais pas pendant la formation (Figure 2.9)

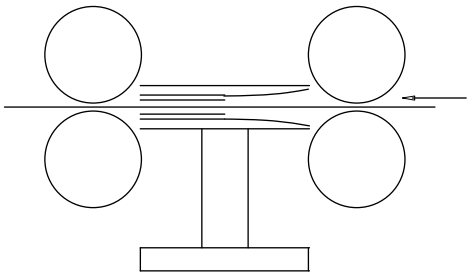


Figure 2.9 : Les guides

2.1.6 Le redresseur :

Les contraintes internes qui sont créés par le processus de déformation produisent des écarts dans la forme finale du profile. On peut corriger ces écarts par une unité de redresseur installée après la dernière passe, les panneaux de construction, avec de nombreuses lignes tordues droites, conserve généralement leurs formes après le profilage, mais les produits les plus étroits et plus particulièrement asymétrique formé besoin d'un redresseur.

Un redresseur se compose d'une structure de support et un outil de redressement (figure 2.10).L'outil est soit un "bloc" d'un passage pour la section ou consister en galets. Dans les deux cas, il est important que l'outil atteigne dans la section et applique une pression sur les lignes de pliage.

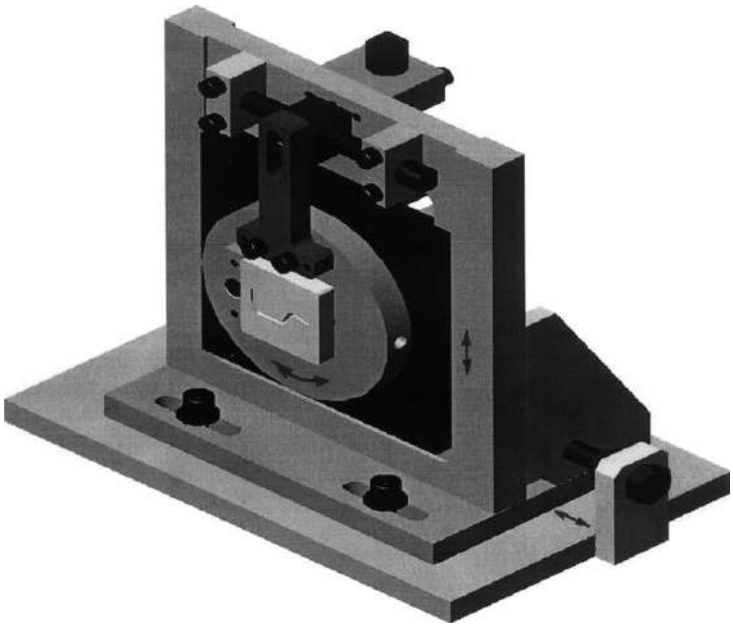
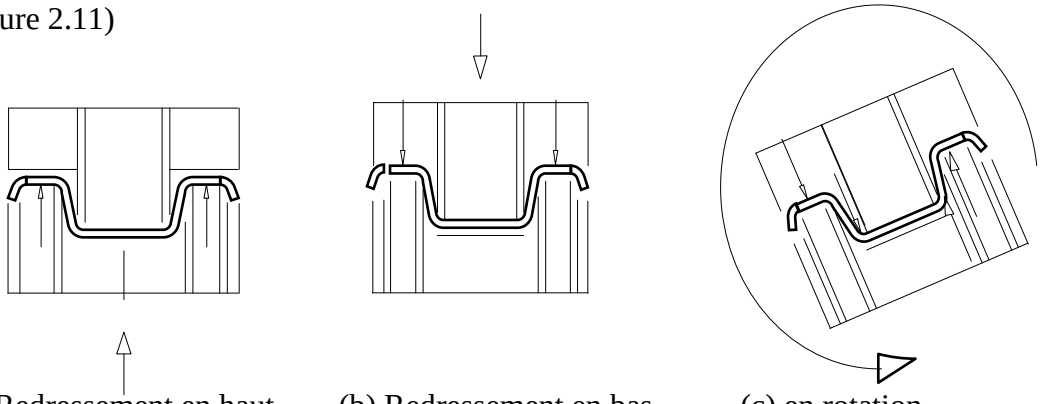


Figure 2.10 : Le redresseur

Pour corriger la déviation de la rectitude d'une ligne de pliage, la pression est toujours appliquée à une seule direction à un seul temps. C'est pourquoi, en général, un petit espace peut être laissé entre les surfaces de l'outil extérieur et l'intérieur (Figure 2.11)



(a) Redressement en haut (b) Redressement en bas (c) en rotation

Figure 2.11 : Force unidirectionnelle du redresseur

Le redresseur est généralement situé entre la dernière passe et la matrice de coupure, au plus près du dernier passage aussi possible. Chaque fois le redresseur se doit déplacer les blocs dans un balancement du mouvement au lieu de se déplacer parallèlement en haut et en bas, ou sur le côté.

Il faut se rappeler que les redresseurs sont ne faisant pas d'outils, lors de l'installation de l'outillage, les galets de formage doivent être ajustés pour rouler les sections aussi droites que possible sans redresseur une fois cet objectif atteint, le redresseur peuvent être installés afin de corriger le reste écart de rectitude.

2.1.7 Système de lubrification :

Les lubrifiants sont utilisés pour réduire la friction entre les pièces produites et les galets, afin d'éliminer la piqure de zinc, d'aluminium ou d'autres métaux par les galets, et pour éviter de rayer ou abîmer la surface du produit.

Les lubrifiants sont également utilisés pour laver les particules de surface en vrac. Quand les matières épaisses sont formées, les lubrifiants sont également utilisés comme agent de refroidissement pour dissiper la chaleur créée par la mise en forme.

2.1.8 Installation d'autres unités dans la profileuse :

La base de profilage est souvent l'endroit le plus favorable pour installer d'autres unités ou des équipements pour les opérations secondaires, ces unités peuvent être positionnées avant, entre ou après le galet. Les équipements à des opérations comme perforation rotative, gaufrage rotatif, soudure, cintrage (balayage).

Les presses hydrauliques, qui ne génèrent pas de chocs, peuvent également être montées sur le lit de la profileuse, cependant le montage des presses mécaniques ou pneumatiques sur le lit n'est pas recommandé. Si l'opération secondaire nécessite un liquide de refroidissement ou un autre liquide que celle utilisée pour le galet de formage, un drainage séparé et un système de lubrification doit être installé, un bon alignement de tous les autres matériaux et outillage est aussi cruciale que l'alignement des galets de formage.

CHAPITRE 03

3. FORMULATION MATHEMATIQUE

Dans ce chapitre, on va présenter les différentes formulations mathématiques du problème. On commence par la théorie du profilage et les différents phénomènes en relation. Par la suite on expose la méthode des éléments finis.

L'histoire de la contrainte, lors de la formation d'un profilé en U, dans un galet de profilage a été mesurée dans plusieurs expériences, ces dernières montrent que la contrainte longitudinale commence entre les passes de profilage et augmente rapidement à une valeur maximale juste avant le centre de la station.

3.1 Les contraintes dans le profilage :

Certaines contraintes résiduelles donnant défauts sur le profilé fini. Chiang [**7**] a également mesuré la contrainte longitudinale à travers la membrane de la feuille lors de la formation d'un profilé en U et un canal V, Les résultats obtenus par Chiang ont montré que la contrainte est plus grande aux extrémités des galets.

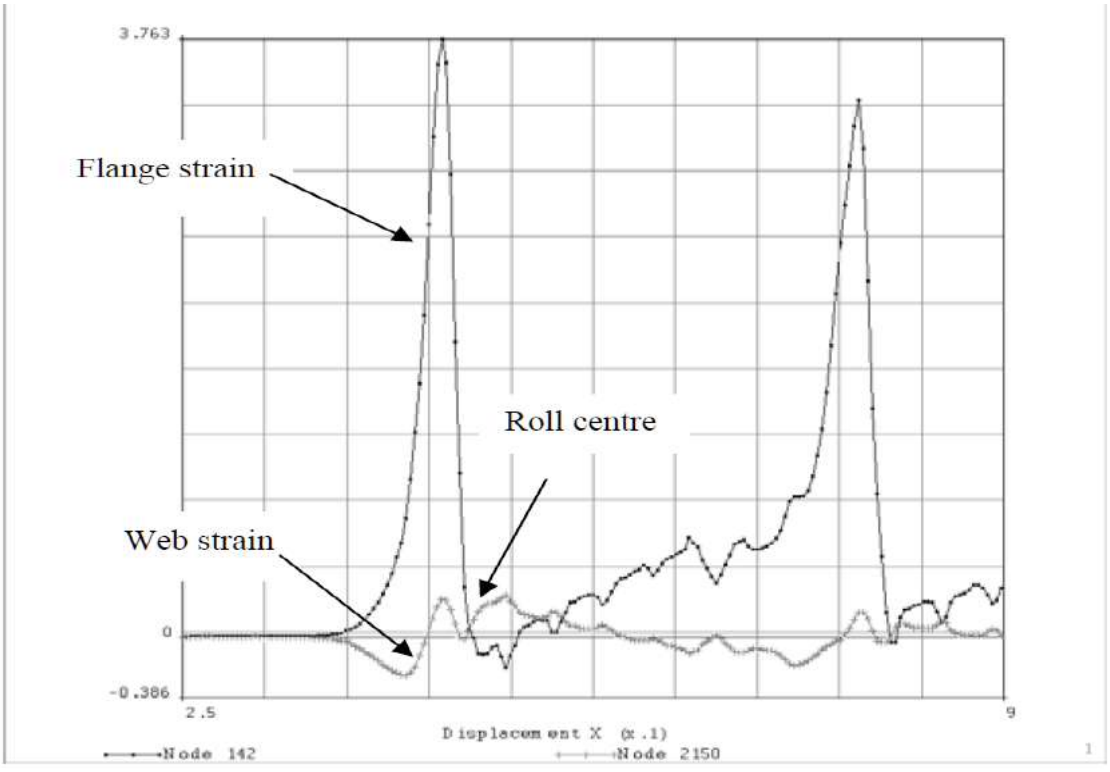


Figure 3.1 : La variation des contraintes entre deux stations [7].

3.2 La contrainte longitudinale du feuillard :

Bhattacharyya et Smith [5] ont étudié la déformation longitudinale dans le cas d'une seule station et plusieurs stations de galets ont été utilisées. Ils ont également étudié la variation de la contrainte avec différent angle de pliage (figure 3.1).

Les conclusions étaient les suivantes:

- Dans le cas d'une station de galets unique (0^0 - $\theta_1{}^0$), la contraint augmente et varie presque linéairement avec l'angle de pliage$\theta_1{}^0$.
- Lorsque plusieurs stations de galets ont été utilisés (0^0 - $\theta_1{}^0$ - 0^0), où les premières et dernières étapes de formation étaient des galets plats, la déformation longitudinale est réduite de 10% - 15% par rapport au cas d'une mono-station.
- Avec plusieurs stations de galets (0^0 - $\theta_1{}^0$ - $\theta^0{}_2$)le niveau de la contrainte est le même que pour le cas (0^0 - $\theta_1{}^0$ - 0^0).
- La valeur de la contrainte maximale est dépendant de l'angle de l'écart ($\Delta\theta=\theta_2-\theta_1$)mais pas de l'angle d'inclinaison utilisée dans la station des galets.

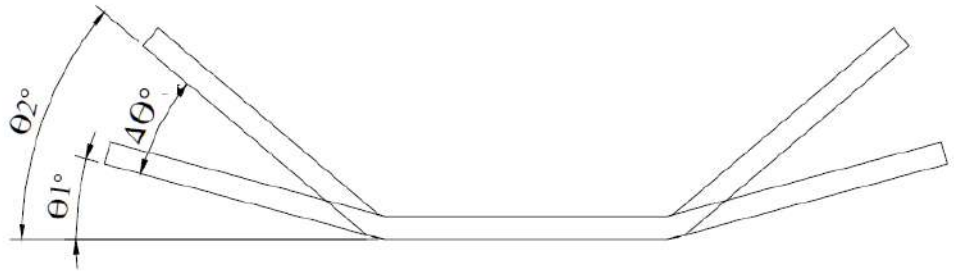


Figure 3.2 : La définition des paramètres de l'angle de pliage et l'angle de courbure minimum

3. 3 Longueur de déformation :

Bhattacharyya a utilisé un profile en U, et mesuré la longueur de la déformation (figure 3.2), de l'acier doux et l'aluminium. Ila également comparé le résultat avec un modèle existant, l'équation (3.1), a été trouvée.

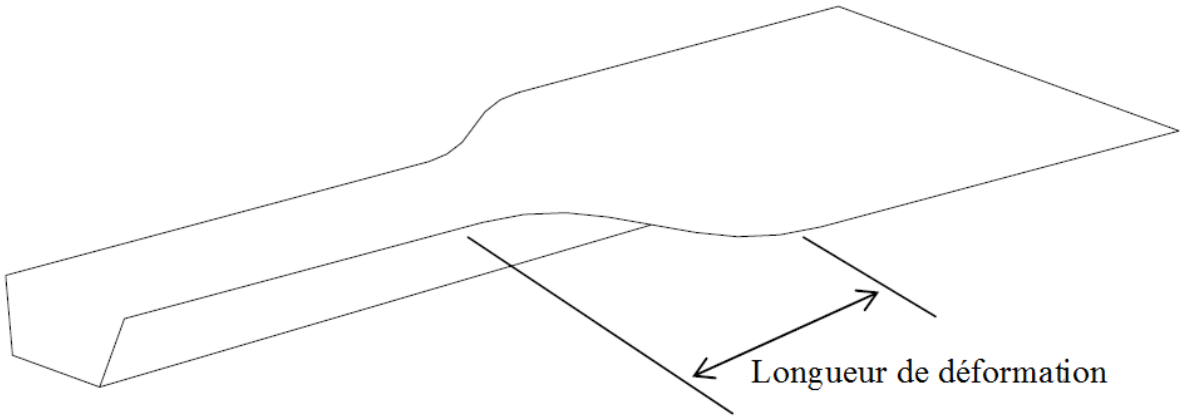


Figure 3.3 : Longueur de déformation

$$L = \sqrt{\frac{8a^3 \Delta\theta}{3t}} \quad (3.1)$$

On peut remarquer que :

- Elle est en bon accord entre l'expérience et l'équation (1). L'erreur était dans la plu part des cas environ 6%.
- Il a conclu que la longueur de déformation (L) dépend des trois variables, la longueur de la bride (a), se plient avec une incrémentation d'angle (Δθ) et d'épaisseur (t), elle ne dépend pas des propriétés du matériau.

3.4 Les types de déformation :

Dans une opération de pliage, la plus grande partie de la déformation situe dans la direction transversale. On peut trouver d'autres déformations. Pâton et al. [6] proposent quatre types de déformations, d'étirage longitudinal, la flexion transversale de flexion et de cisaillement. Les hypothèses suivantes ont été faites pour établir les types de déformation :

- L'épaisseur de la bande est faible par rapport aux d'autres dimensions géométriques.
- Le pliage ne prend place dans la ligne de pliure du coude active.
- La déformation sur le côté intérieur est négligée.
- La région extérieure reste constante dans la section transversale et le fait pivoter autour de la plie active.

- Les sections transversales de la bande restent planes. Le profil est courbé sous forme de faisceau. Ce dernier signifie que les sections transversales restent orthogonales à l'axe le long du profil.

L'étirage longitudinal :

$$\varepsilon_{Ls} = \frac{1}{2} r^2 \left(\frac{d\theta}{dz} \right)^2 \qquad (3.2)$$

Ou « r » est la distance par rapport à la courbure.

La flexion longitudinale est donnée par :

$$\varepsilon_{Lb} = h\left(s\left(\frac{d^2\theta}{dz^2} \right) - p\left(\frac{d\theta}{dz} \right)^2 \right) \qquad (3.3)$$

Où (h) est la distance à partir de la couche neutre du côté intérieur de la courbure, (s) est le moment du bras de levier parallèle, (p) est le moment du bras de levier perpendiculaire.

La flexion transversale est donnée par :

$$\varepsilon_t = \frac{h}{r_0} \qquad (3.4)$$

où (r_0) est le rayon de la couche neutre.

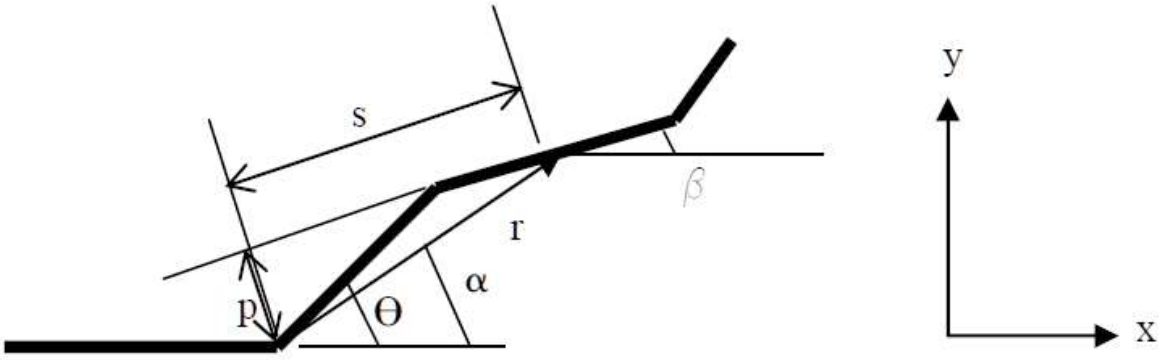


Figure. 3.4 : Un élément au cours d'une passe

On peut conclure que la contrainte de cisaillement est supérieure à la contrainte longitudinale dans les sections qui ont des coudes inactifs. Elle doit de ce fait être considérée comme un facteur de profilage. La contrainte de cisaillement est petite pour une section simple, comme un canal en U, sans coudes inactifs.

L'expression de la longueur de déformation (L) est obtenue par la minimisation du travail total de la matière plastique (Wt) pour la flexion dans le sens transversal et longitudinal [7].

Hypothèses :

- Le matériau est rigide et parfaitement plastique.
- Seulement le coude qui prend la place au long de la ligne de pliage.
- Hors du plan de flexion de la bride et la flexion longitudinale de la bande sont négligés.
- La bride adopte une forme qui minimise le travail plastique.

Le travail plastique due à la flexion transversale :

$$W_b = \frac{1}{4} Yt^2\theta \qquad (3.5)$$

Où (Y) est la limite d'élasticité.

Le travail plastique due à la flexion longitudinale par unité de volume est donné par:

$$W_s = \frac{1}{2} Yx^2 \left(\frac{d\theta}{dz}\right)^2 \qquad (3.6)$$

Où (x) est une coordonnée dans le sens transversal.

Le travail plastique par unité de longueur est donné par:

$$W_s = \int_0^a \frac{1}{2} Yx^2 \left(\frac{d\theta}{dz}\right)^2 (tdx) = \frac{1}{6} Ya^3 t \left(\frac{d\theta}{dz}\right)^2 \qquad (3.7)$$

Le travail total pour un coude est donné par :

$$W_t = \int_0^L \left[\frac{1}{4} Yt^2\theta + \frac{1}{6} Ya^3 t \left(\frac{d\theta}{dz}\right)^2\right] dz \qquad (3.8)$$

La fonction θ(z) qui minimise l'équation (3.8) satisfait à l'équation d'Euler :

$$\frac{dF}{d\theta} - \frac{d}{dz}\left(\frac{\partial F}{\partial \theta'}\right) \equiv \frac{d^2\theta}{dz^2} - \frac{3t}{4a^3} = 0 \qquad (3.9)$$

Ou

$$F = F(z, \theta, \theta') = \frac{t\theta}{4} + \frac{a^3}{6}\left(\frac{d\theta}{dz}\right)^2$$

Les conditions aux limites donnent les constantes d'intégration (A) et (B),

$\theta(0)=0$, $\theta(L)=\Delta\theta$, $\theta'(0)= 0$ et $\theta'(L)= 0$.

3.5 La contrainte longitudinale de la membrane :

Chiang [**7**] a développé deux modèles, (A) et (B) pour la déformation de la membrane longitudinale, le modèle (A) est sur la base de l'article de Bhattacharyya [**5**] et le model (B) est basée par des considérations géométrique de Chiang.

Pour le model (A) :

$$e = \frac{9}{32}\left(\frac{t^2}{a^6}\right) r^2 z^2 \Big|_{\substack{0\le r\le a \\ 0\le z\le L}} \qquad (3.10)$$

Les contraintes maximales et transversales sont obtenues à partir de l'équation (3.10) dans le modèle (A). La contrainte maximale pour le bord de la bride, (r = a, z = L), s'écrit:

$$e_p = \frac{3}{4}\left(\frac{t}{a}\right)\Delta\theta \qquad (3.11)$$

La contrainte longitudinale à n'importe quelle position z est s'écrite:

$$e_t = k_1 r^2 \quad (3.12)$$

Ou

$$k_1 = \frac{9}{32}\left(\frac{t^2}{a^6}\right) z^2$$

Chiang a conclu d'après le modèle (A), que la contrainte soit trois fois aussi plus grande au voisinage de la station des galets.

Le modèle (B) est basé au bord de bride de la géométrie, la contrainte s'écrit sous la forme:

$$e = \sqrt{1 + \frac{3t}{4a\Delta\theta}\left(1-\cos\Delta\theta\right)} - 1 \qquad (3.13)$$

Le modèle prévoit que la contrainte est uniforme dans la zone de déformation et ne donne aucune information sur la déformation transversale.

3.6 Démarche éléments finis [4]:

Les principales étapes de construction d'un modèle éléments finis, qui sont détaillées par la suite, sont les suivantes :

−Discrétisation du milieu continu en sous domaines (éléments) ;

− Construction de l'approximation nodale par sous domaine ;

− Calcul des matrices élémentaires correspondant à la forme intégrale du problème

−Assemblage des matrices élémentaires ;

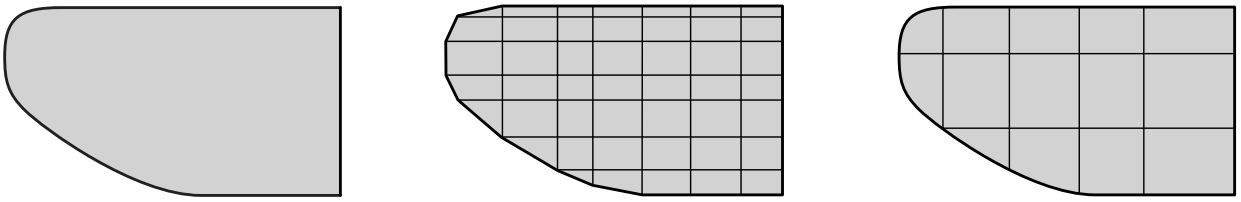
− Prise en compte des conditions aux limites ;

− Résolution du système d'équations.

3.6.1 Discrétisation géométrique :

Cette opération consiste à procéder à un découpage du domaine continu en sous domaines, il faut donc pouvoir représenter au mieux la géométrie souvent complexe du domaine étudié par des éléments de forme géométrique simple, il ne doit y avoir ni recouvrement ni trou entre deux éléments ayant une frontière commune.

Lorsque la frontière du domaine est complexe, une erreur de discrétisation géométrique est inévitable, cette erreur doit être estimée, et éventuellement réduite en modifiant la forme ou en diminuant la taille des éléments concernés comme proposé sur la (figure3.5), sur chaque élément nous allons chercher à définir une approximation de la fonction solution.



(a) Domaine à étudier (b) Modifier la taille des Congés de raccordement (c) utiliser des éléments et raffiner des courbures

Figure 3.5 : Erreur de discrétisation géométrique

3.6.2 Approximation nodale :

La méthode des éléments finis est basée sur la construction systématique d'une approximation (u^*) du champ des variables (u) par sous domaine, cette approximation est construite sur les valeurs approchées du champ aux nœuds de l'élément considéré, on parle de représentation nodale de l'approximation ou plus simplement d'approximation nodale.

L'approximation par éléments finis est une approximation nodale par sous domaines ne faisant intervenir que les variables nodales du domaine élémentaire De :

$$\forall M \in De,\ u^*(M) = N(M)u_n \qquad (3.14)$$

Où $u^*(M)$ représente la valeur de la fonction approchée en tout point *M* de l'élément,

N la matrice ligne des fonctions d'interpolation de l'élément et u_n variables nodales relatives aux nœuds d'interpolation de l'élément.

Dans le cas général le champ à approcher est un champ vectoriel, nous utilisons alors la notation matricielle suivante $u^*(M) = \mathbf{N}(M)\mathbf{u}n$, les nœuds *Mi* sont des points de l'élément pour lesquels on choisit d'identifier l'approximation u^* à la valeur du champ de variables *u*, nousen déduisons que :

$$\forall Mi,\ u^*(Mi) = u_i \qquad (3.15)$$

Soit pour l'approximation nodale :

$$\forall Mi,\ Nj(Mi) = \delta ij \qquad (3.16)$$

3.6.2.1 Construction d'une approximation nodale linéaire :

L'interpolation nodale est construite à partir d'une approximation générale :

$$\forall M,\ u^*(M) = \phi(M)a \qquad (3.17)$$

ϕ est une base de fonctions connues indépendantes, en général une base polynomiale et **a** le vecteur des paramètres de l'approximation aussi dits paramètres généralisés, qui n'ont pas de signification physique.

a) Bases polynomiales complètes :

• une dimension

− Linéaire (1, x) : deux variables

− Quadratique (1, x, x^2) : trois variables

• deux dimensions :

− Linéaire (1, x, y) : trois variables

− Quadratique (1, x, y, x^2, xy, y^2) : six variables

• trois dimensions :

− Linéaire (1, x, y, z) : quatre variables

− Quadratique (1, x, y, z, x^2, xy, y^2, xz, z^2, yz) : dix variables

Pour utiliser une base polynomiale complète, le nombre de termes doit être égal au nombre de variables nodales à identifier, si l'on ne peut pas utiliser un polynôme complet, le meilleur choix consiste à respecter la symétrie des monômes conservés.

b) Bases polynomiales incomplètes

• deux dimensions : « bi - linéaire » (1, x, y, xy) : quatre variables

• trois dimensions : « tri - linéaire » (1, x, y, z, xy, xz, yz, xyz) : huit variables

En identifiant aux nœuds l'approximation u^* à la valeur du champ de variables u, nous pouvons exprimer les paramètres généralisés **a** en fonction des variables nodales $\mathbf{u}_n$:

$$un = u^*Mn) = *(Mn)a \qquad (3.18)$$

Soit, par inversion du système total :

$$a = Tu_n \qquad (3.19)$$

Pour éviter des erreurs de modèle trop importantes, la matrice à inverser doit être bien conditionnée.

Ce conditionnement est lié au choix de la base polynomiale et à la géométrie des éléments, en reportant ce résultat dans l'approximation nous obtenons la matrice des fonctions d'interpolation :

$$N(M) = \phi(M)T \qquad (3.20)$$

3.6.2.2 Construction des fonctions d'interpolation d'un élément triangulaire :

a)Approximation nodale des éléments triangulaire :

Un élément de référence est un élément de forme géométrique simple, à frontière rectiligne par exemple, pour lequel l'approximation nodale est construite en suivant la démarche analytique précédente, le passage de l'élément de référence à l'élément réel sera réalisé par une transformation géométrique.

Nous entendons par élément réel un élément quelconque du domaine discrétisé, deux grandes familles d'éléments sont souvent présentées :

− Les éléments de type Lagrange ;

− Les éléments de type Hermite.

Pour les éléments de type Lagrange, on augmente le nombre de nœuds en conservant un seul variable nodale, pour les éléments de type Hermite on augmente le nombre de variables nodales, en retenant par exemple les valeurs des dérivées du champ aux nœuds.

Pour le type d'élément triangulaire, l'approximation utilise la base polynomiale linéaire (1, *s*, *t*), l'élément de référence, aussi dit parent, est un triangle à trois nœuds de type « *T*3 ».

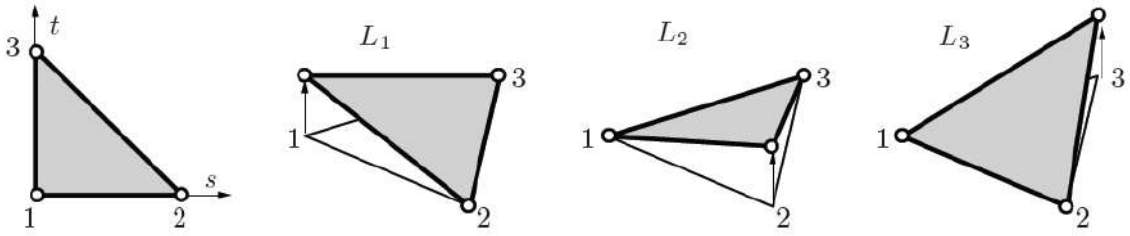


Figure 3.6 : Fonctions d'interpolation linéaires du triangle

L'approximation quadratique quant à elle utilise la base (1, *s*, *t*, s^2, *st*, t^2), l'élément de référence est un triangle à six nœuds de type « T6 ».

Posons $L1 = 1 - s - t$, $L2 = s$ et $L3 = t$. Pour :

– les trois nœuds sommet $i = 1, 2, 3$, les fonctions de forme s'écrivent :

$$Ni = Li(2Li - 1) \tag{3.21}$$

– les trois nœuds d'interface $i = 1, 2, 3$:

$$N_{i+3} = 4L_jL_k \text{ pour } j \neq i, k \neq i, j \tag{3.22}$$

La figure (3.7) donne une représentation de deux des fonctions d'interpolation, les autres s'obtiennent par permutation des indices.

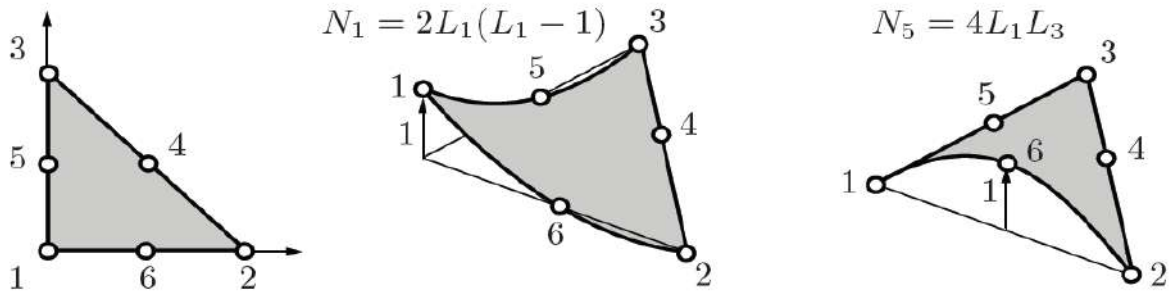


Figure. 3.7 : Fonctions d'interpolation quadratiques du triangle. Les autres sont obtenues par rotation.

b)Approximation nodale des éléments rectangulaire :

L'approximation bilinéaire est déduite de la base polynomiale (1, *s*, *t*, *st*) sur (*s*, *t*) ϵ[−1, 1], l'élément de référence est un carré à quatre nœuds de type « Q4 ».

Les fonctions d'interpolation sont :

$$N_1 = 1/4(1 - s)(1 - t) \quad N_2 = 1/4(1 + s)(1 - t)$$

$$N_3 = 1/4(1 + s)(1 + t) \quad N_4 = 1/4(1 - s)(1 + t) \tag{3.23}$$

Sur la figure (3.8), seule la fonction N_1 est représentée, les autres s'obtenant par permutation.

De la même façon, on peut construire, à partir d'une base polynomiale complète, les fonctions d'interpolation des éléments rectangulaires à neuf nœuds.

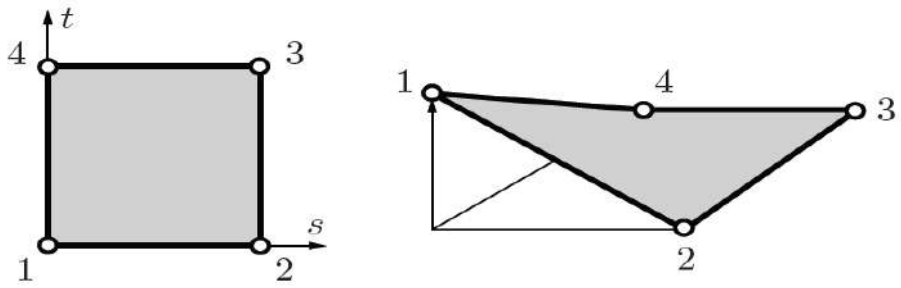


Figure 3.8 : Fonction d'interpolation *N*1 du quadrangle.

Pour une approximation quadratique, et à seize nœuds pour une approximation polynomiale cubique, ces éléments ont respectivement un et quatre nœuds internes.

Du point de vue pratique, on construit des éléments ayant un minimum de nœuds internes, car ces nœuds ne sont pas connectés aux nœuds des autres éléments, on utilise donc des bases polynomiales incomplètes mais symétriques, le Q8 est construit à partir de la base (1, *s*, *t*, s^2,*st*, t^2, s^2t, st^2) et le Q_{12} est construit à partir de la base (1, *s*, *t*, s^2, *st*, t^2, s^3, s^2t, t^2s, t^3, s^3t,st^3)**[4]**.

3.6.3 Quantités élémentaires :

Afin de présenter la démarche générale utilisée pour construire les formes matricielles et vectorielles sur chaque élément, nous utiliserons comme point de départ la forme intégrale du **P**rincipe des **T**ravaux **V**irtuels associée à un problème de mécanique des structures, cette forme intégrale est de même type que celles pouvant être déduites des méthodes vibrationnelles et la généralisation à des problèmes de physique est donc simple.

3.6.3.1 Matrices, masse et raideur :

Soit la forme intégrale du PTV :

$$\forall \delta\vec{u},\ \int_D \rho\ddot{\vec{u}}\cdot\delta\vec{u}\,\mathrm{d}V = -\int_D \overline{\overline{\sigma}} : \overline{\overline{\varepsilon}}\,\mathrm{d}V + \int_D \vec{f}\cdot\delta\vec{u}\,\mathrm{d}V + \int_{\partial D}\vec{T}\cdot\delta\vec{u}\,\mathrm{d}S \qquad (3.24)$$

Sur chaque élément nous utilisons l'approximation nodale pour exprimer le champ des déplacements et le champ des déplacements virtuels $\delta\vec{u}$.

Ainsi le produit scalaire s'écrit maintenant :

$$\ddot{\vec{u}}(M)\cdot\delta\vec{u}(M)=\boldsymbol{\delta}\mathbf{u}_n^{\mathrm{T}}\mathbf{N}(M)^{\mathrm{T}}\mathbf{N}(M)\ddot{\mathbf{u}}_n \qquad (3.25)$$

D'où le premier terme :

$$\int_{D_e}\rho\ddot{\vec{u}}\cdot\delta\vec{u}\,\mathrm{d}V=\boldsymbol{\delta}\mathbf{u}_n^{\mathrm{T}}\mathbf{M}_e\ddot{\mathbf{u}}_n \qquad (3.26)$$

Avec

$$\mathbf{M}_e=\int_{D_e}\mathbf{N}(M)^{\mathrm{T}}\rho\mathbf{N}(M)\,\mathrm{d}V$$

La matrice masse élémentaire. Pour exprimer le second terme les deux tenseurs sont représentés par des vecteurs nous permettant de remplacer le produit doublement contracté par un simple produit scalaire.

Ces notations ont été introduites pour un milieu 3D :

$$\begin{aligned}\overline{\overline{\varepsilon}}\rightarrow\boldsymbol{\varepsilon}&=\begin{bmatrix}\varepsilon_{xx} & \varepsilon_{yy} & \varepsilon_{zz} & 2\varepsilon_{xy} & 2\varepsilon_{xz} & 2\varepsilon_{yz}\end{bmatrix}^{\mathrm{T}}\\ \overline{\overline{\sigma}}\rightarrow\boldsymbol{\sigma}&=\begin{bmatrix}\sigma_{xx} & \sigma_{yy} & \sigma_{zz} & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} & \sigma_{yz}\end{bmatrix}^{\mathrm{T}}\end{aligned} \qquad (3.27)$$

De plus le vecteur des déformations s'exprime en fonction du champ des déplacements, ces relations géométriques font apparaître des opérateurs différentiels appliqués à $\vec{u}$ que nous notons sous forme matricielle :

$$\varepsilon(M)=\mathbf{L}\mathbf{N}(M)\mathbf{u}_n=\mathbf{B}(M)\mathbf{u}_n \qquad (3.28)$$

Où **B** est la matrice d'opérateurs différentiels appliqués aux fonctions d'interpolation, les lois de comportement permettent d'exprimer le vecteur des contraintes en fonction du vecteur des déformations, soit :

$$\boldsymbol{\sigma}(M) = \mathbf{D}(M)\boldsymbol{\varepsilon}(M) = \mathbf{D}(M)\mathbf{B}(M)\mathbf{u}_n \qquad (3.29)$$

D'où le second terme, écrit dans la base de discrétisation:

$$\int_{D_e} \overline{\overline{\sigma}} : \overline{\overline{\delta\varepsilon}}\, \mathrm{d}V = \boldsymbol{\delta}\mathbf{u}_n^T \mathbf{K}_e \mathbf{u}_n \qquad (3.30)$$

Avec $\mathbf{K}_e = \int_{D_e} \mathbf{B}(M)^{\mathrm{T}}\mathbf{D}(M)\mathbf{B}(M)\,\mathrm{d}V$ matrice de raideur élémentaire, il nous reste à exprimer le travail virtuel des efforts.

En pratique, on considère d'une part les efforts donnés et d'autre part les efforts inconnus qui sont les efforts nécessaires pour assurer les liaisons cinématiques, sur chaque élément, nous utilisons l'approximation du champ de déplacement pour exprimer le travail virtuel de ces efforts.

3.6.3.2 Efforts imposés :

Leur travail virtuel élémentaire est de la forme :

$$\delta T_{d_e} = \int_{D_e} \vec{f}_d \cdot \delta\vec{u}\,\mathrm{d}V + \int_{\partial D_e} \vec{T}_d \cdot \delta\vec{u}\,\mathrm{d}S \qquad (3.31)$$

D'où le travail virtuel discrétisé :

$$\delta T_{d_e} = \boldsymbol{\delta}\mathbf{u}_n^{\mathrm{T}}\mathbf{F}_{d_e} \qquad (3.32)$$

Avec $\mathbf{F}_{d_e} = \int_{D_e} \mathbf{N}(M)^{\mathrm{T}}\mathbf{f}_d\,\mathrm{d}V + \int_{\partial D_e} \mathbf{N}(M)^{\mathrm{T}}\mathbf{T}_d\,\mathrm{d}S$, équation dans laquelle $\vec{f}_d$ et $\vec{T}_d$ sont écrits dans une base cohérente avec le choix de la discrétisation $\delta\vec{u}$ et deviennent alors respectivement fd et Td.

3.6.3.3 Efforts inconnus :

D'une manière similaire, leur travail virtuel élémentaire s'écrit :

$$\delta T_{i_e} = \int_{\partial D_e} \vec{T_i} \cdot \delta\vec{u} \, \mathrm{d}S \tag{3.33}$$

D'où le travail virtuel discrétisé :

$$\delta T_{i_e} = \boldsymbol{\delta}\mathbf{u}_n^{\mathrm{T}} \mathbf{F}_{i_e} \tag{3.34}$$

En pratique les efforts inconnus représentent les actions mécaniques extérieures à l'élément considéré, on y trouve les efforts de liaison entre les éléments, et éventuellement pour les éléments de frontière les efforts associés aux liaisons cinématiques de la structure.

Comme nous le verrons lors de l'assemblage des équations, les nœuds internes non chargés sont des systèmes mécaniques en équilibre, ce qui entraîne que le torseur des actions mécaniques de tous les efforts élémentaires des éléments connectés à un même nœud est nul, reportons dans la forme intégrale les résultats obtenus pour chaque élément, nous obtenons une équation matricielle de la forme :

$$\forall D_e, \ \mathbf{M}_e \ddot{\mathbf{u}}_n + \mathbf{K}_e \mathbf{u}_n = \mathbf{F}_{d_e} + \mathbf{F}_{i_e} \tag{3.35}$$

3.6.4 Assemblage et conditions aux limites :

Les règles d'assemblage sont définies par la relation :

$$D \simeq \sum_{e=1}^{n_e} D_e \tag{3.36}$$

3.6.4.1 Matrices :

L'assemblage des matrices élémentaires masse M_e et raideur K_e s'effectue selon les même s règles, ces règles sont définies par sommation des termes correspondant au travail virtuel calculé pour chaque élément :

$$\sum_{e=1}^{n_e} \boldsymbol{\delta}\mathbf{u}_n^{\mathrm{T}} \mathbf{M}_e \ddot{\mathbf{u}}_n = \boldsymbol{\delta}\mathbf{U}^{\mathrm{T}} \mathbf{M} \ddot{\mathbf{U}} \quad \text{et} \quad \sum_{e=1}^{n_e} \boldsymbol{\delta}\mathbf{u}_n^{\mathrm{T}} \mathbf{K}_e \mathbf{u}_n = \boldsymbol{\delta}\mathbf{U}^{\mathrm{T}} \mathbf{K} \mathbf{U} \tag{3.37}$$

Cette opération traduit simplement que la forme quadratique associée à l'ensemble du domaine est la somme des formes quadratiques des sous-domaines.

Elle consiste à ranger dans une matrice globale, les termes des matrices élémentaires, la forme de cette matrice dépend bien évidemment de l'ordre dans lequel sont définies les variables globales de **U**.

3.6.4.2 Efforts imposés :

L'assemblage ne pose pas de problème, il est défini par sommation des termes correspondant au travail virtuel calculé pour chaque élément :

$$\sum_{e=1}^{n_e} \delta \mathbf{u}_n^{\mathrm{T}} \mathbf{F}_{d_e} = \delta \mathbf{U}^{\mathrm{T}} \mathbf{F}_d \qquad (3.38)$$

3.6.4.3 Efforts inconnus :

L'assemblage peut être mené de façon identique. Cependant, si les liaisons entre les éléments sont parfaites la somme des efforts inconnus aux nœuds internes de la structure est nulle.

Nous pouvons en tenir compte pour simplifier l'expression du travail virtuel des efforts inconnus, en calculant que le travail virtuel des efforts correspondants aux liaisons cinématiques imposées à la structure, et à celui des liaisons non parfaites. Après assemblage, nous obtenons la forme matricielle du principe des travaux virtuels **[4]**:

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{U}} + \mathbf{K}\mathbf{U} = \mathbf{F}_d + \mathbf{F}_i \qquad (3.39)$$

Sous cette forme, nous avons *N* équations pour *N* + *P* inconnues, pour résoudre, il faut tenir compte des *P* conditions aux limites cinématiques associées aux *P* composantes inconnues du vecteur **F***i*.

CHAPITRE 04

4. CONCEPTION ET APPLICATIONS

Dans ce chapitre, on va présenter les étapes de la formation des profiles ainsi que la conception des différents galets. Pour cela, on a utilisé un logiciel, qui répond aux exigences de la conception du profilage.

Pour la partie de simulation numérique par Solidworks, les étapes de résolution sont présentées en annexe A.

4.1Présentation du logiciel :

Ce logiciel commercial analyse l'influence de l'outillage de rouleau de formage (position des galets et leur diamètre) sur les valeurs de contraintes théoriques de la matière.

La connaissance des déformations est très utile pour développer avec succès une nouvelle série de galets. Le logiciel n'est pas basé sur les éléments finis, mais sur la théorie des coques minces. Le temps de calcul rapide de ce logiciel d'analyse a permis pour la première fois de développer un galet optimisé mais en prenant en compte des paramètres comme la section de profil, la longueur (à ne pas confondre avec distance horizontale de passe..) et de la géométrie respectif, de l'épaisseur de la bande, le diamètre de l'outil et le matériau du galet.

Le logiciel montre également l'influence de l'épaisseur de la bobine, de la distribution de pression sur la surface supérieure ou inférieure (zone d'allongement ou de compression) et de la courbure de la tôle dans la zone de formage.

Le logiciel peut être utilisé facilement et fonctionne sur n'importe quel ordinateur personnel. Il ne nécessite aucun post-traitements ou de pré-traitement.

4.2 Conception du profiles :

Nous avons deux types de profiles a réaliser, le premier suivant la forme «  » et le deuxième prend cette forme «  ».

4.2.1 Conception du premier cas :

4.2.1.1 Création du dessin :

Pour commencer, exécutez le logiciel et dans la barre des fonctions cliquez sur créer la polyligne et dessiner la forme du premier type.

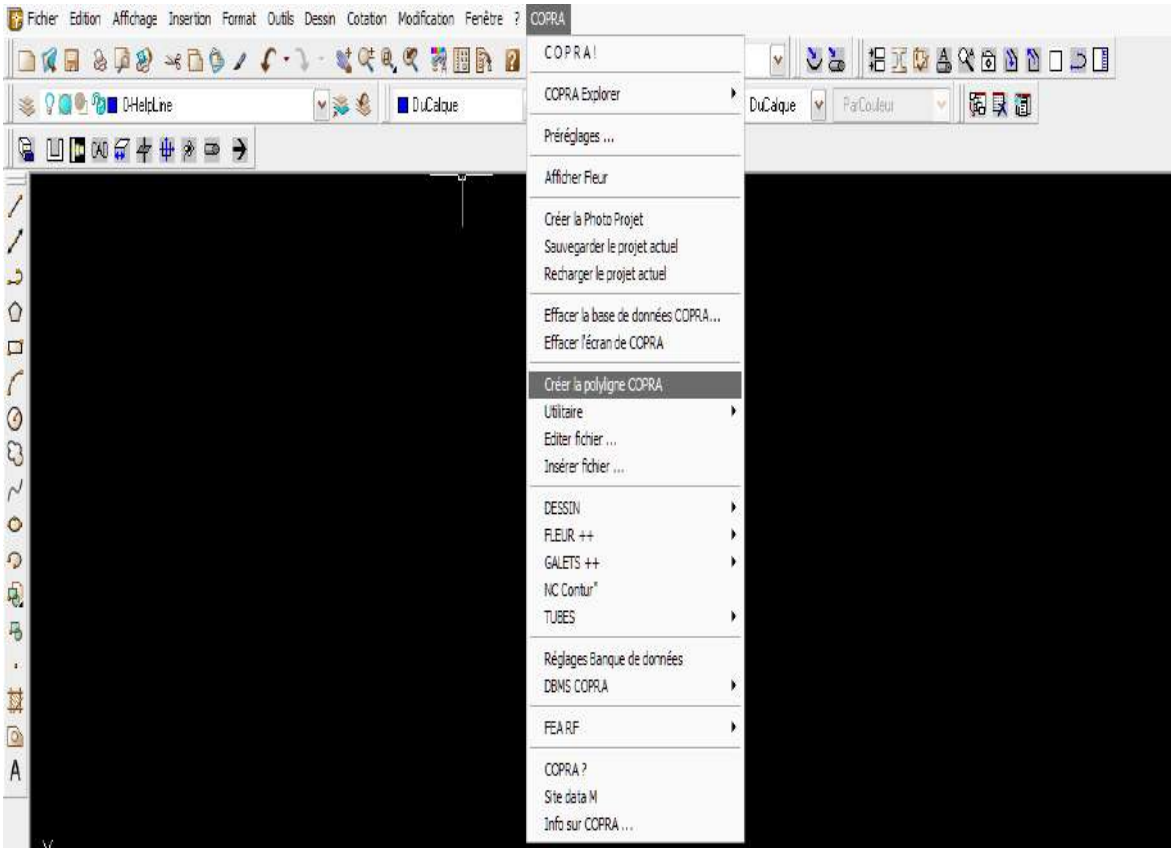


Figure 4.1 : Page d'accueil du logiciel

Le dessin est effectué dans l'interface de l'AutoCad. Nous avons quelques fonctions communes entre Autocad et le logiciel facilitent le passage de notre dessin « DWG » vers la forme « ARX ».



Figure 4.2 : Création de la polyligne.

La figure suivante montre le dessin de notre forme avec une d'inclinaison de 45^0sur les deux cotés.

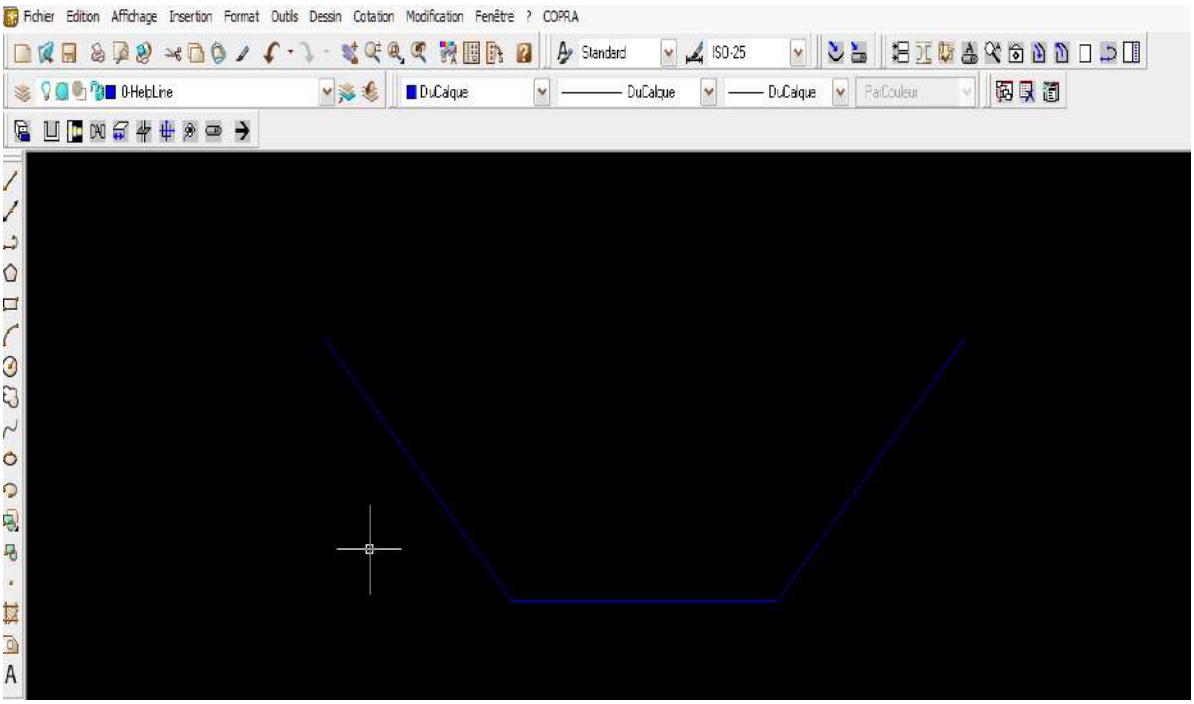


Figure 4.3 : la forme du premier cas.

Avec l'utilisation de l'icone « raccord » de l'Autocad on met les angles sous forme arrondie.

4.2.1.2 Création du profil :

Après avoir dessiner la forme de notre premier type, on va passer à la deuxième étape, qui est le passage entre l'Autocad vers le logiciel par l'icone « CAD ».Cet icone permet de choisir l'épaisseur de notre profil comme le montre la figure suivante.



Figure.4.4 : Choix de l'épaisseur.

Notre profil est prêt à être utilisé. On choisit la méthode de calcul du logiciel parmi la liste affiché sur l'écran. Pour ce cas la méthode standard correspond est adoptée.

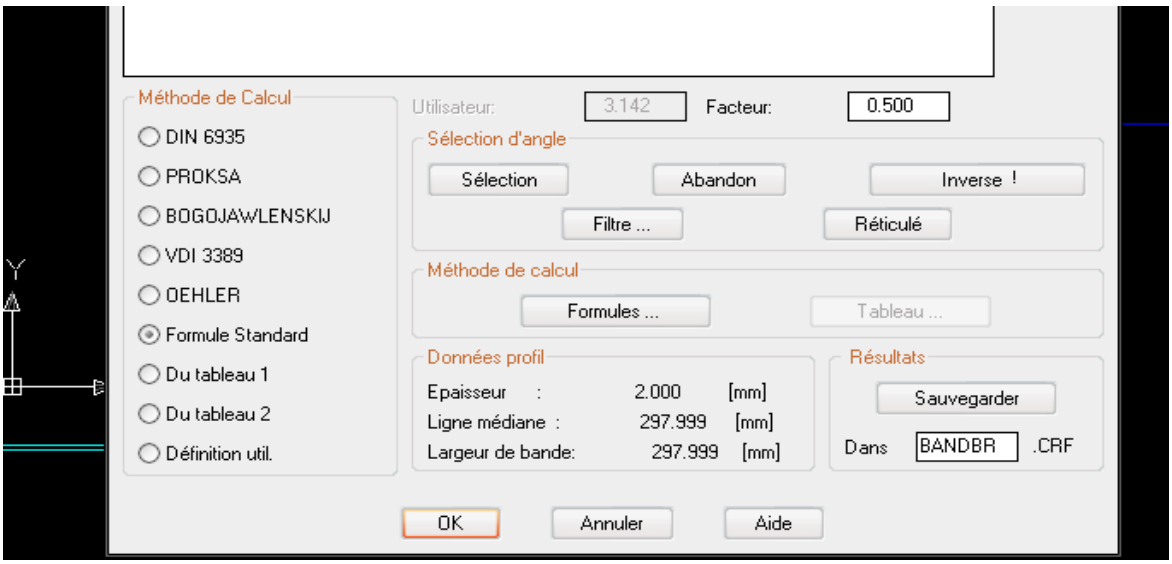


Figure 4.5 : Méthode de calcul du logiciel

Nous avons donc le profil et la méthode de calcul.

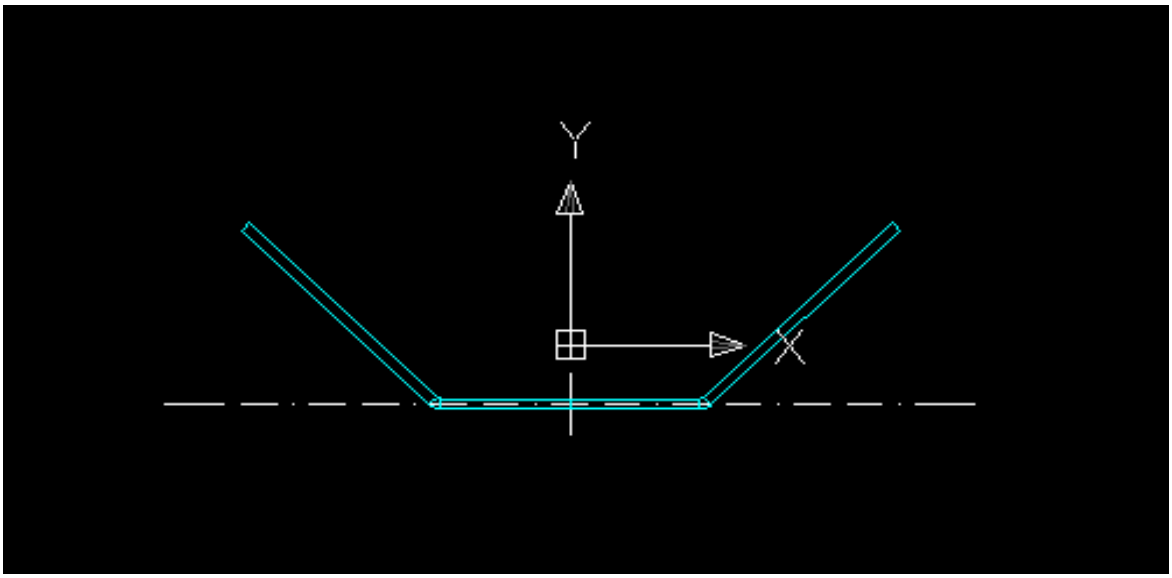


Figure 4.6 : Position du profil.

4.2.1.3 Création de la fleur :

La fleur du profilage schématise tous les étapes de notre cheminement pour créer notre profil. On utilise l'icône « ouvrir une fleur », et on pique sur les coins ou se fait le pliage, avec un angle de 15^0. On obtient la forme suivante (figure 4.7).

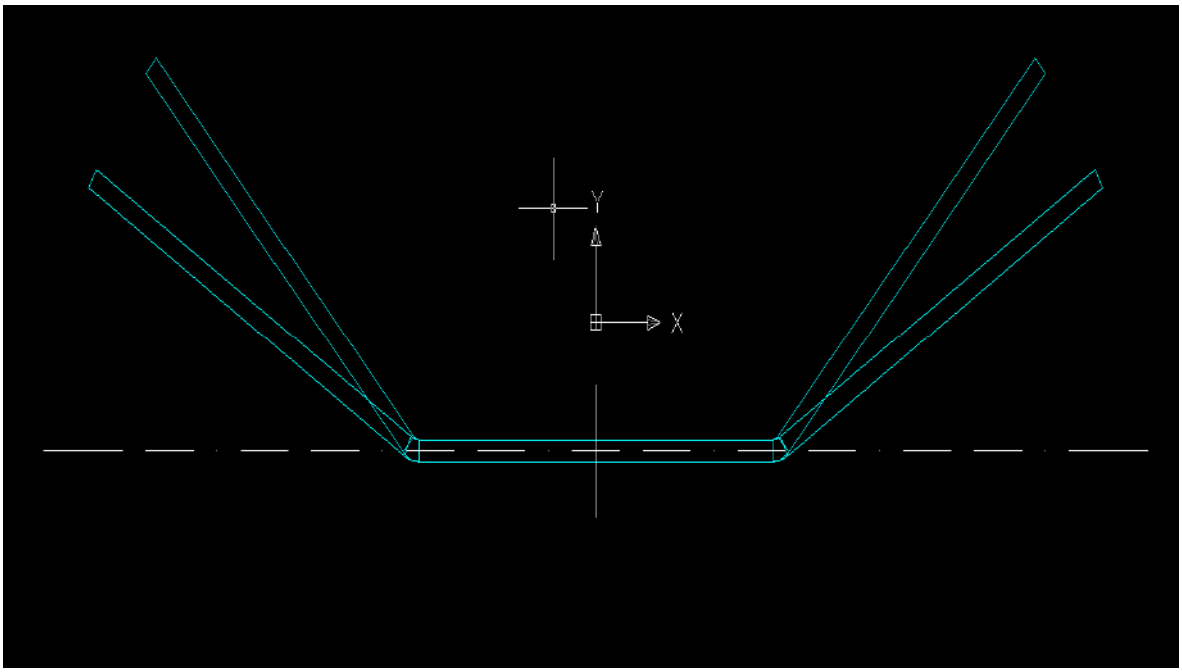


Figure 4.7 : L'ouverture de la fleur.

Il faut ouvrir la fleur jusqu'on obtient l'angle 0. On utilise l'icone « ouvrir la fleur automatiquement ».

La (figure 4.8) montre la forme finale de la fleur.

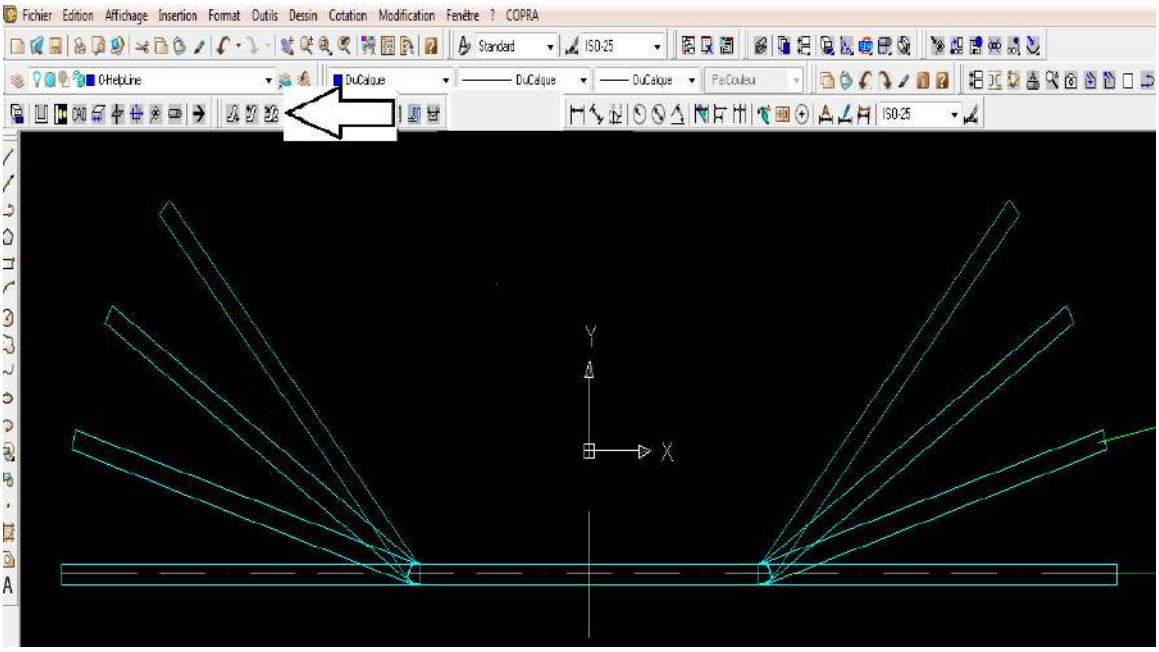


Figure 4.8 : La fleur

L'icone « point de référence » nous donne le nombre de chaque passe. Il considère le profil à l'angle (0^0) comme une passe initiale.

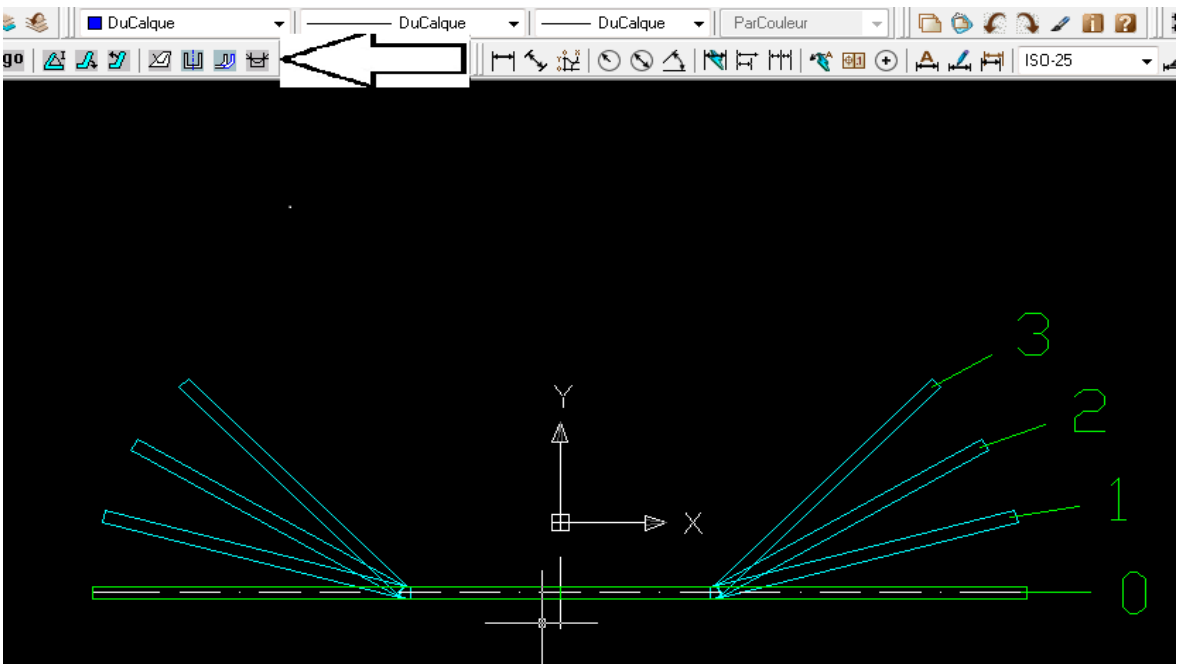


Figure 4.9 : Numérotation des passes de la fleur

4.2.1.4 Création des galets :

4.2.1.4.1 Positionnement du profil sur les axes principaux :

Avant de créer les galets il faut positionner notre profil sur les axes principaux. Ces derniers sont enregistrés dans la base des données du logiciel et nous avons la permission de les modifier suivant les dimensions de notre machine.

On utilise l'icone de résistance statique dans la barre d'outils du logiciel, comme le montre la figure suivante.

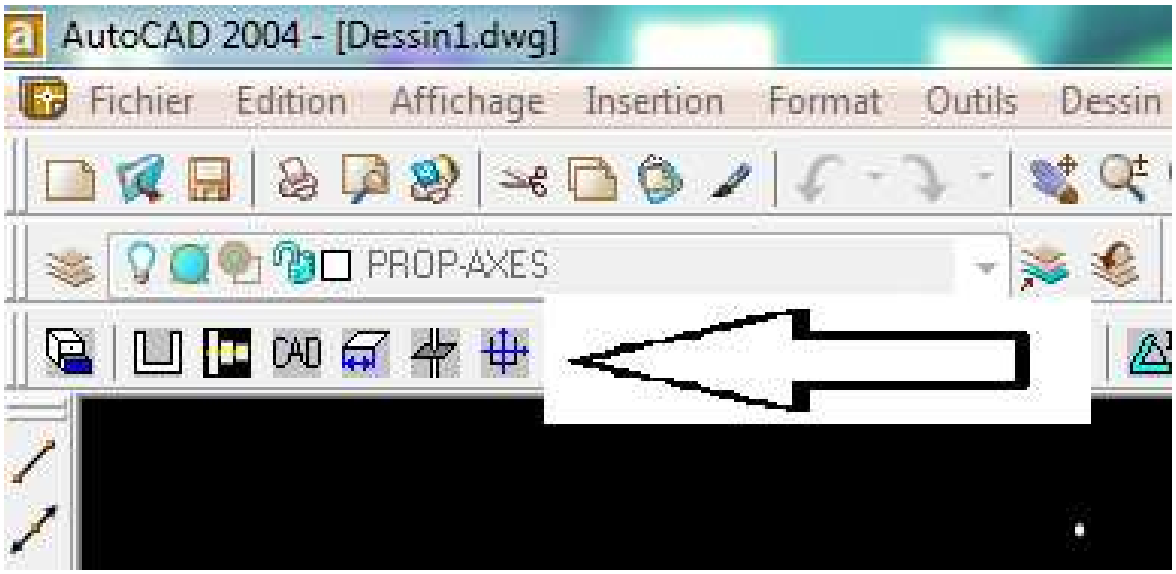


Figure 4.10 : Positionnement sur les axes

Nous avons alors notre profil positionné sur les axes principaux. La (figure 4.11) montre que le point (0.0) est le centre de gravité du profil.

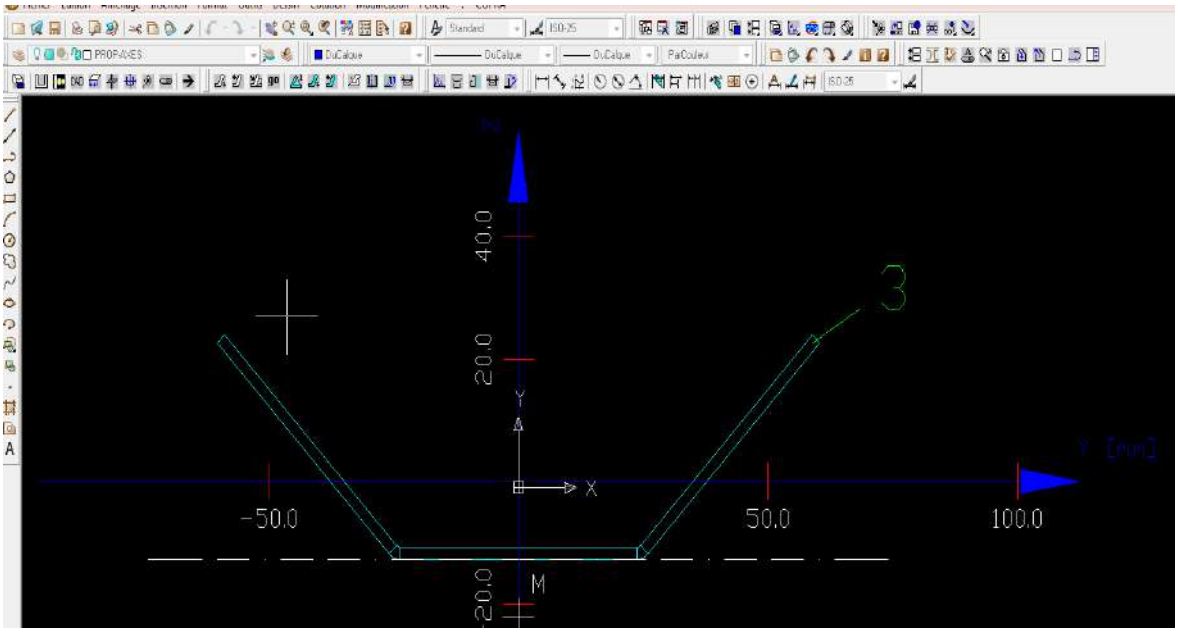


Figure 4.11 : Les axes principaux

4.2.1.4.2 Création des axes des galets :

Les axes des galets indiquent les positions des arbres, deux axes supérieurs et inferieur ainsi que deux autre axes a gauche et a droite. Pour les profiles de faible inclinaison et de forme simple, il suffit d'utiliser seulement les galets supérieurs et inferieurs.

On utilise l'icône « axes » pour créer les axes des galets :

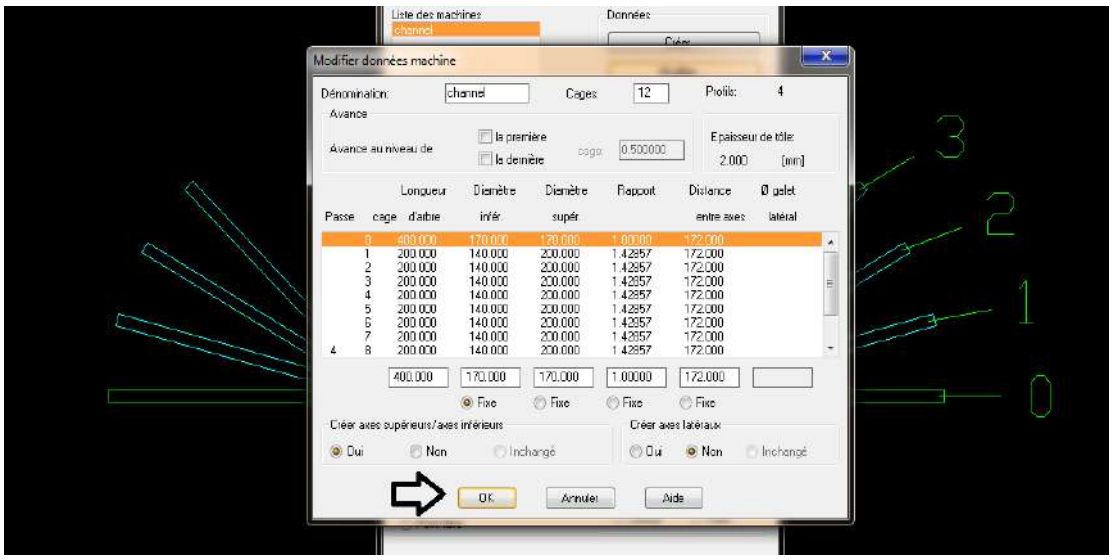


Figure 4.12: L'icône AXES

D'après la structure de notre profil, on choisit le même diamètre pour les galets supérieur et inferieur. Alors la position de notre profil est au milieu des axes.

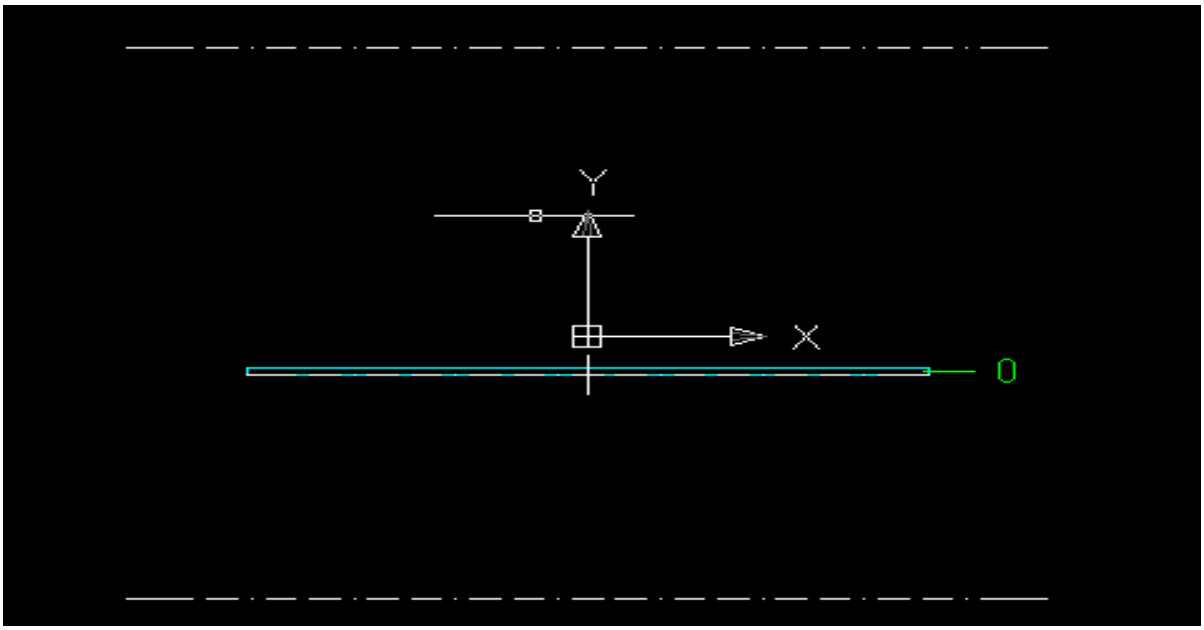


Figure 4.13 : Position des axes des galets

4.2.1.4.3 Création des galets :

Après la création du profil et le positionnement sur les axes, on passe aux galets. On utilise la barre d'outils des galets qui contient tous des icones pour faciliter la modification nécessaires.



Figure 4.14 : La barre d'outils des galets

Le profil correspond à l'angle (0^0), affiche sur l'écran pour obtenir la forme des galets de la première passe. On utilise l'icône de la passe actuelle sur la barre d'outils, et on sélectionne sur la boite de dialogue les deux galets supérieurs et inferieur.

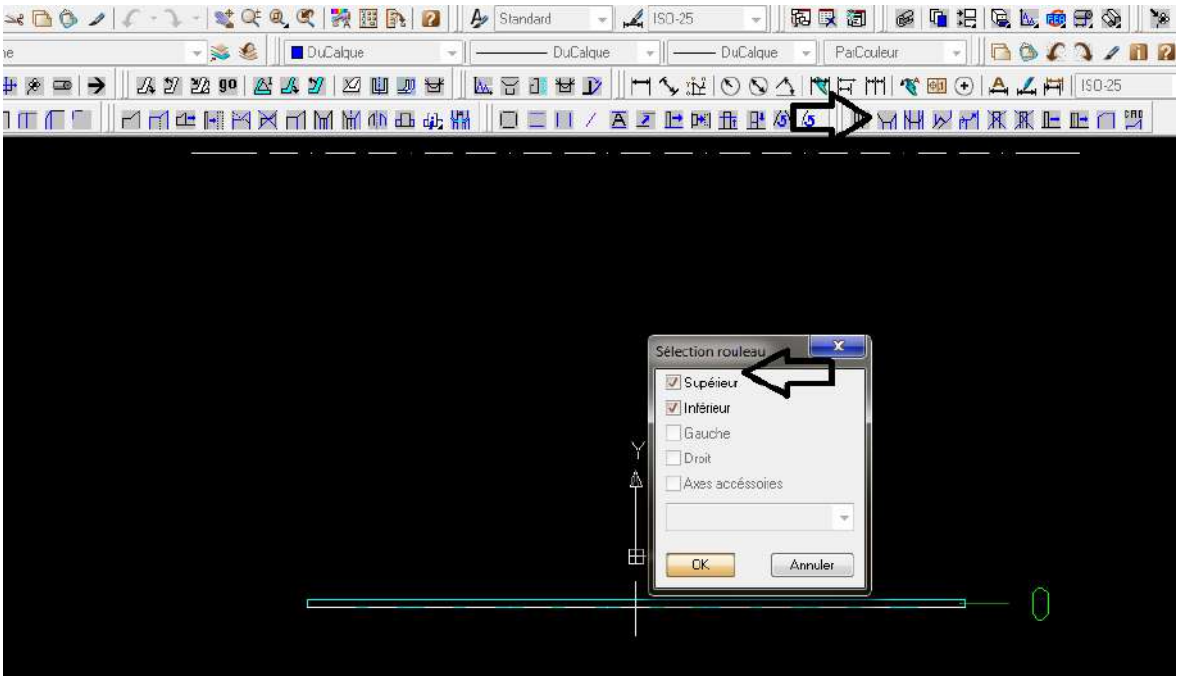


Figure 4.15 : Création des galets de la première passe.

Deux galets se forment automatiquement suivants notre profil et la position des axes. On utilise les icones de la barre d'outils des galets pour modifier légèrement la formes des galets.

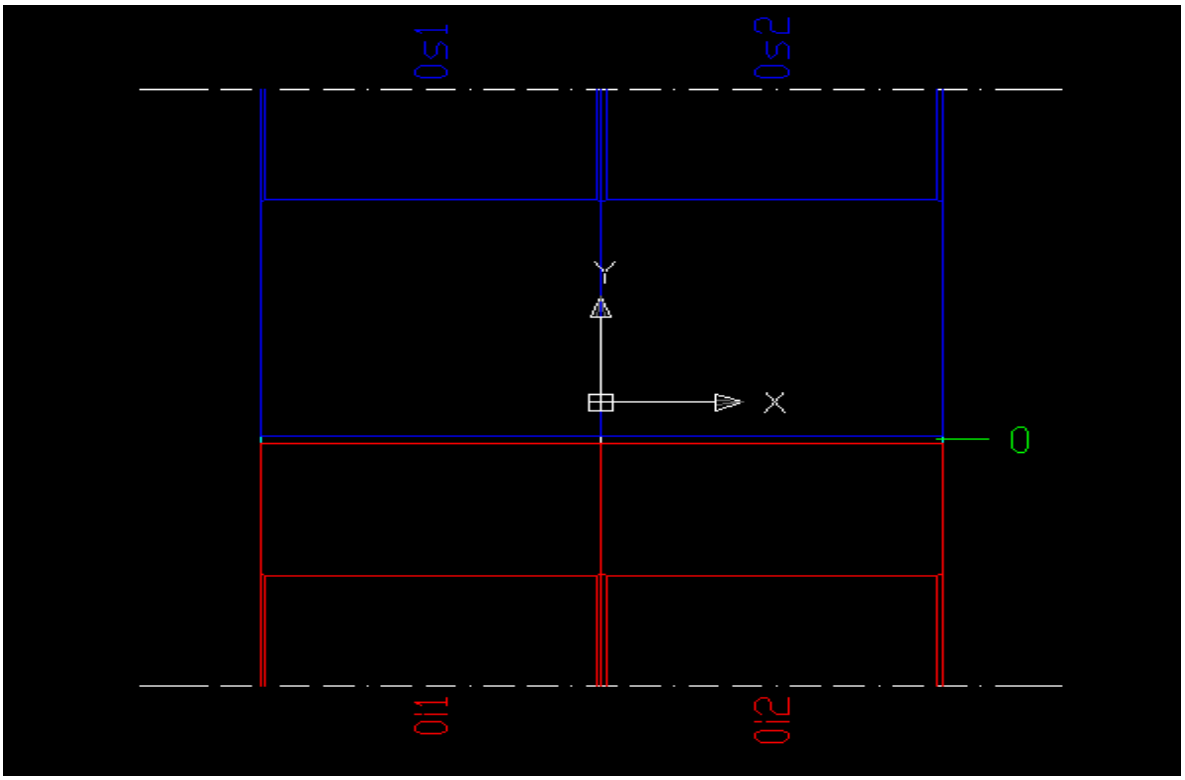


Figure 4.16 : Galets de la première passe**.**

Il nous reste l'assemblage des gales avec leurs arbres. Ceci est disponible par l'utilitaire des galets. On utilise l'icône « plans d'assemblage et cotation ».



Figure 4.17 :L'icône plan d'assemblage et cotation.

La boite de dialogue s'affiche sur l'écran, on choisit « sélection des passes ».

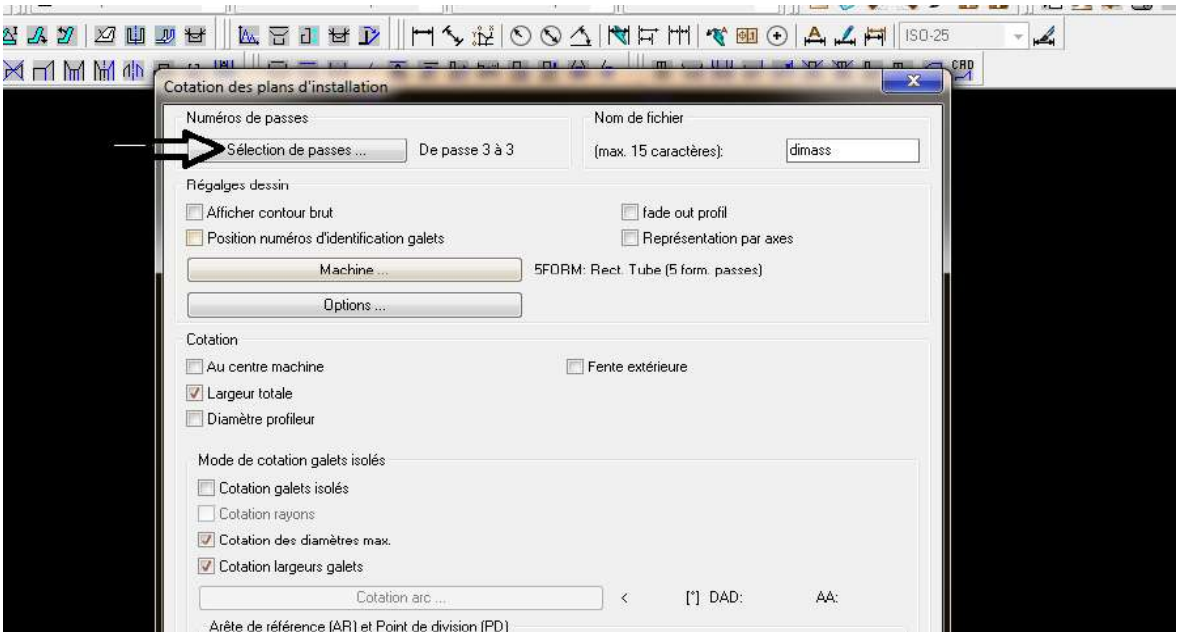


Figure 4.18 : Cotation des plans d'installation

On commence l'assemblage par la première passe qui correspond la numérotation « 0 » (figure 4.19).

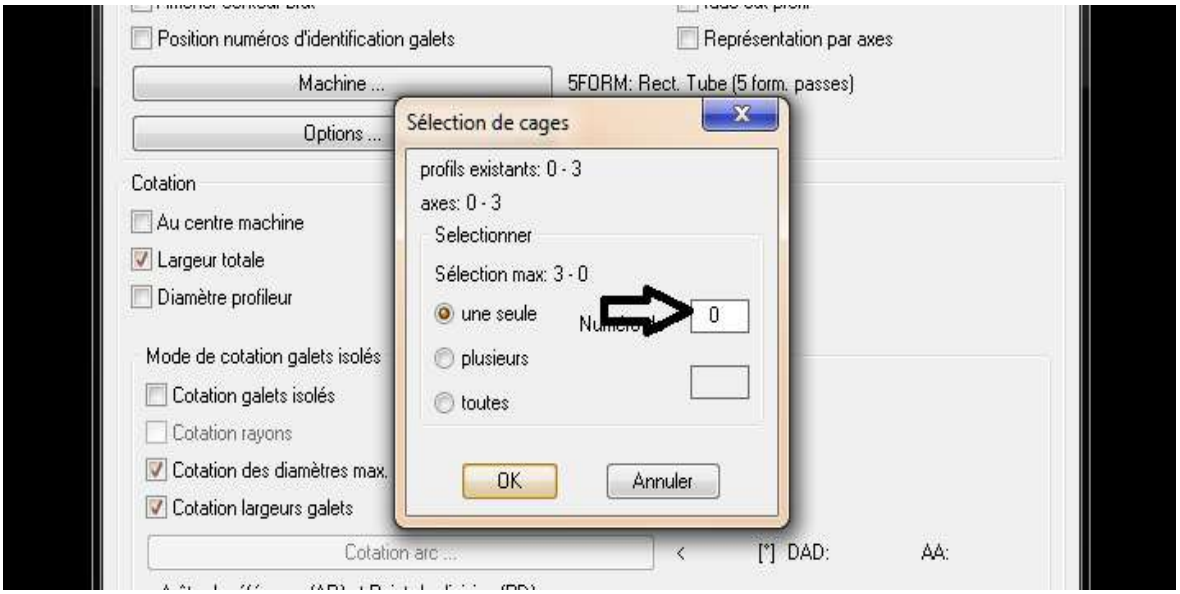


Figure 4.19 : Sélection des passes.

Nous avons les deux galets (supérieur et inferieur), avec cotation et nom de chaque partie des galets

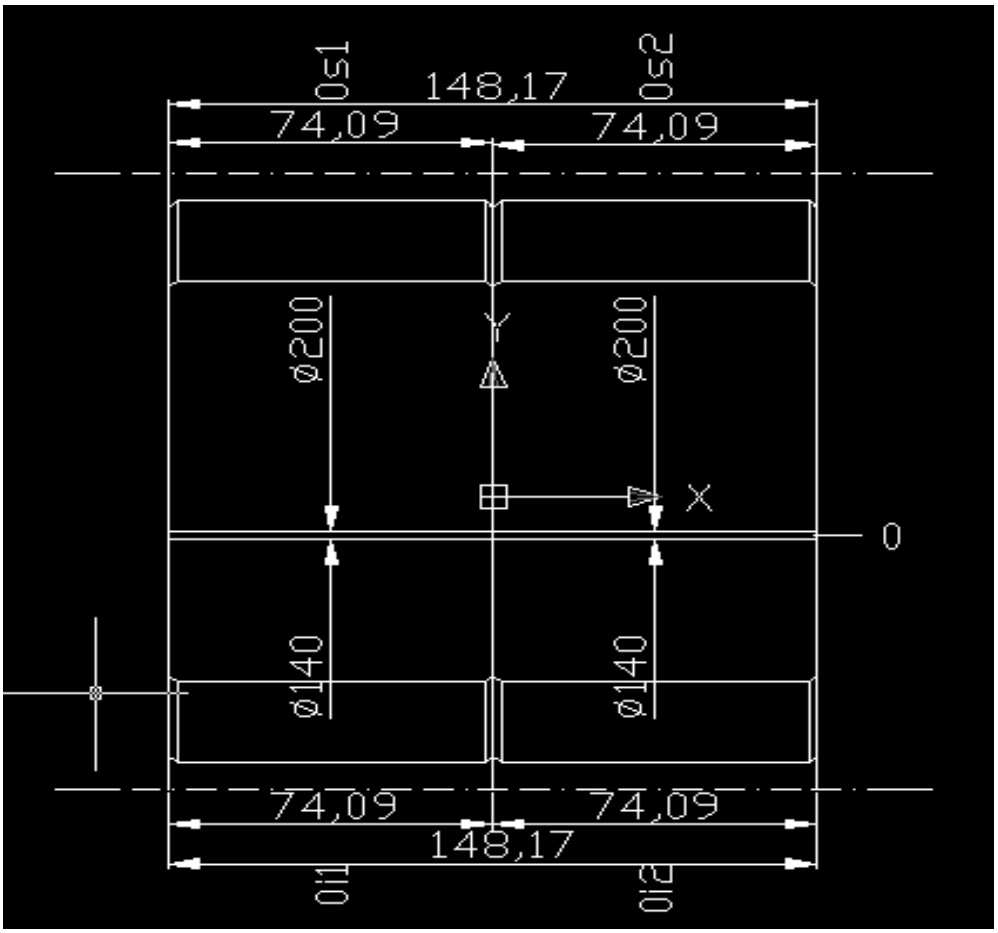


Figure 4.20 : Assemblage des galets.

On refaire les étapes précédentes pour les autres passes 1, 2, 3, tous les assemblages sont disponibles comme des dessins de définissions dans l'annexe B.

4.2.2 Conception du deuxième cas :

La forme du deuxième type contient des angles droits (4 angles).ce qui implique qu'il va prendre plus des étapes que le premier cas. On refait les étapes précédentes pour former la fleur et puis l'utilitaire des galets pour former les assemblages.

4.2.2.1 Création du profil :

Notre profil du deuxième cas est schématisé dans la (figure 4.21).

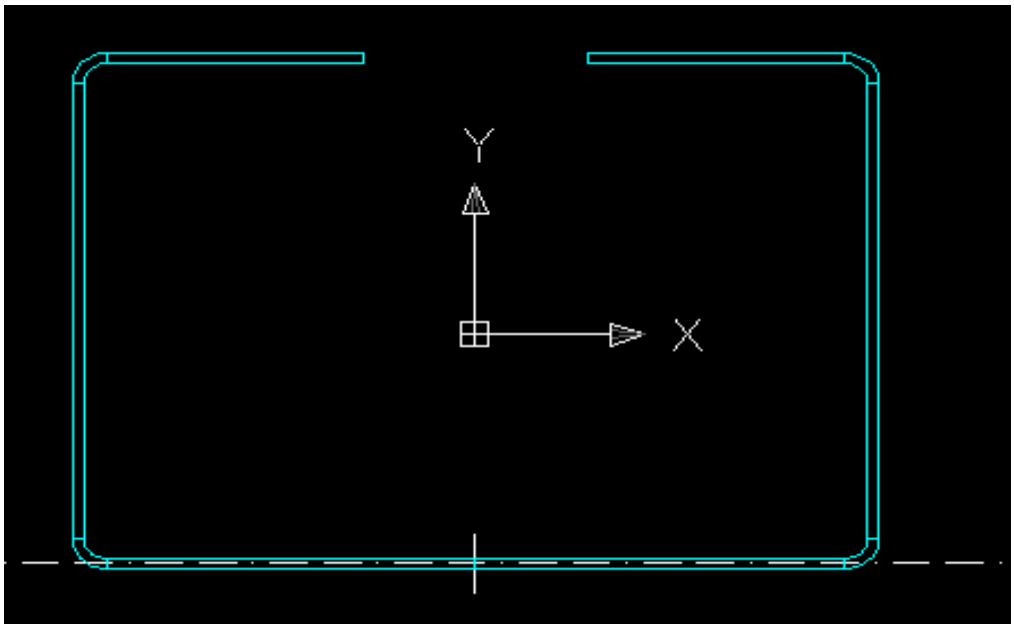


Figure 4.21 : Création du profil

4.2.2.2 Création de la fleur :

La fleur de ce deuxième type compte 11 stations. Ce nombre considérable des passes nécessite une série des galets.

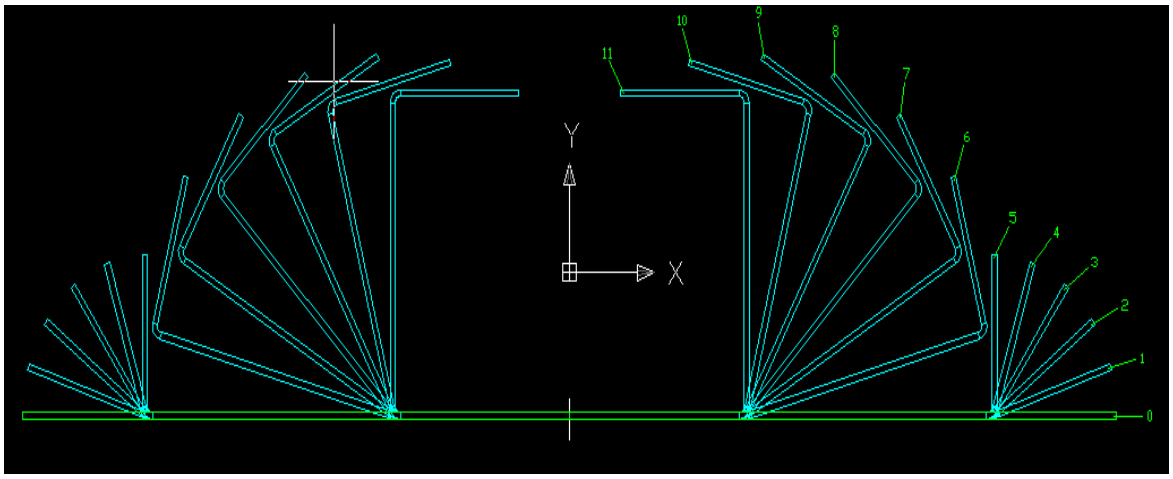


Figure 4.22 : La fleur du profil cas 2

4.2.2.3 Création des galets :

Nous allons choisir l'exemple de la 10ème station. Pour ce type de profil, nous avons créé quatre galets. On obtient deux galets supérieur et inferieur et deux galets a droite et à gauche.

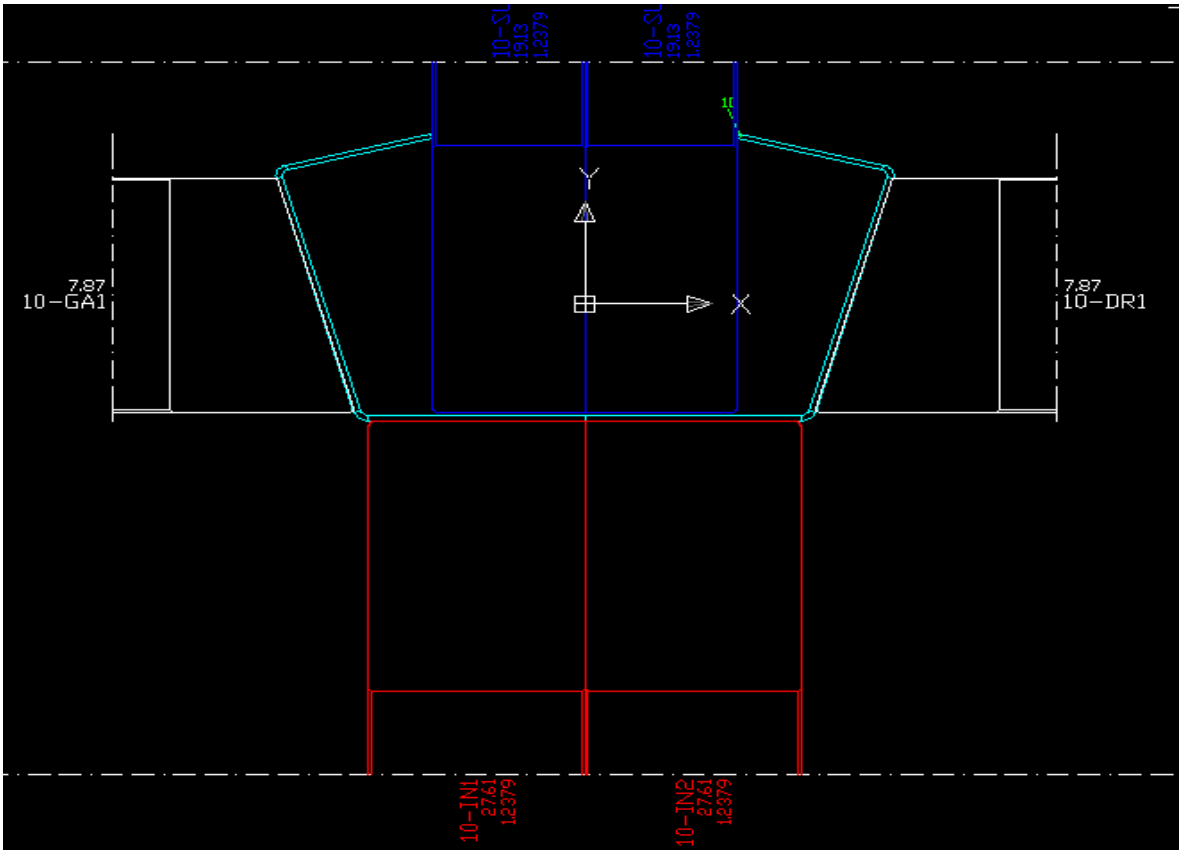


Figure 4.23 : Assemblage des galets**.**

4.6 Simulation statique:

Le procédé implique la déformation progressive de la tôle d'acier en la faisant passer à travers une série de galets à une vitesse constante.

Chacun de ces galets est orienté selon un angle légèrement différent pour augmenter progressivement la déformation de la feuille jusqu'à ce que la géométrie désirée soit obtenue.

Quand la feuille passe à travers plusieurs séries de galets en même temps, le procédé de déformation est très complexe et hautement non linéaire. L'icône « simulation de la fleur » montre des résultats pour l'optimisation des passes qui forment la fleur.

On va faire la simulation statique dans le cas du premier profil, voir (figure 4.24).

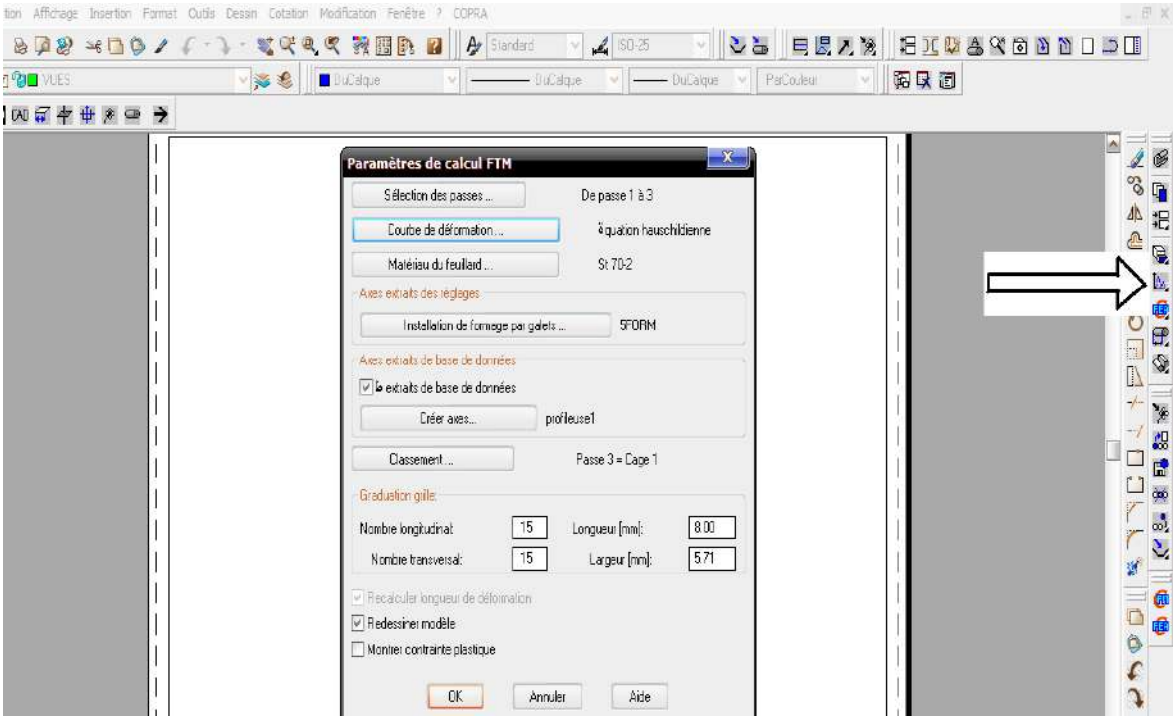


Figure 4.24 : Paramètres de simulation.

On doit spécifier le type du matériau du feuillard. Dans notre cas, on a choisit une tôle d'acier de type E24.

On note que le logiciel nous permet la correction de la longueur de déformation. On exécute la correction dans toutes les passes voir (figure 4.25).

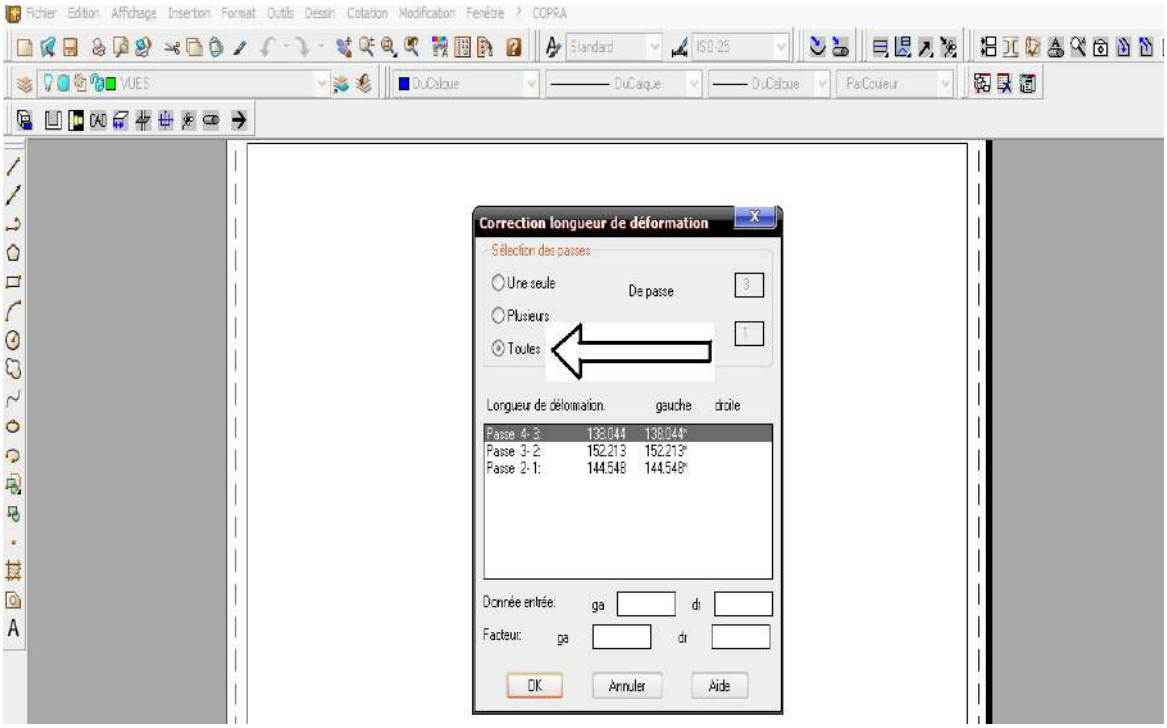


Figure 4.25 : Correction de la longueur de déformation

Après l'exécution de la simulation on obtient le schéma des déformations avec les contraintes dans le sens longitudinal (figure 4.26).

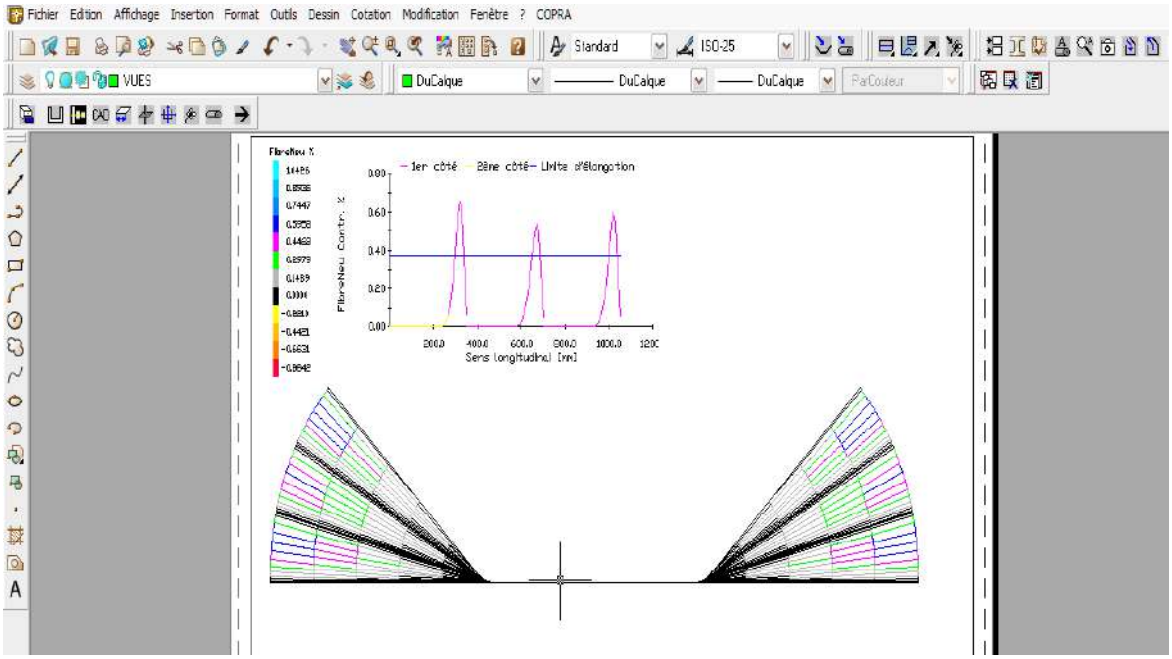


Figure 4.26 : Les contraintes avec le sens longitudinal

Les contraintes sont présentées avec des pourcentages en fonction de la longueur du feuillard dans le sens longitudinal. Au voisinage des stations, la contrainte atteint sa valeur maximale qui est dans l'ordre de 65% de la contrainte admissible.

Entre les passes la contrainte va diminuer vers la valeur nulle à cause de l'absence des galets. D'autre part, on remarque que la valeur de la contrainte dans notre cas ne dépasse pas 50 % la valeur de la limite d'élongation.

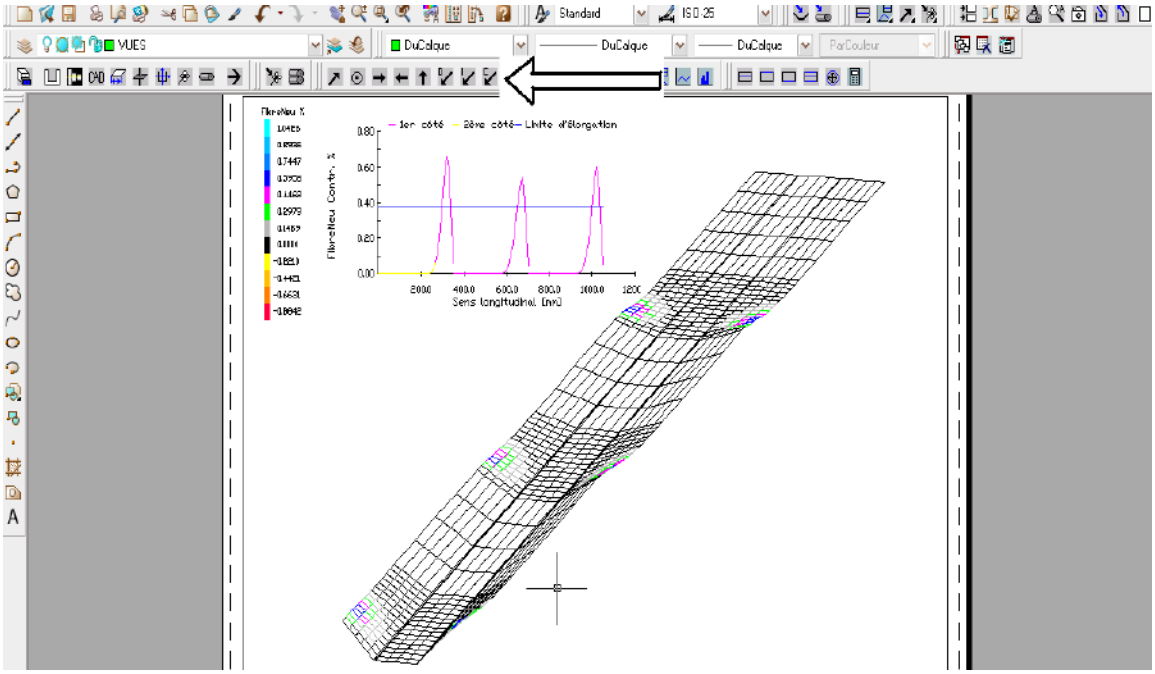


Figure 4.27 : Le profil du premier type en 3D

Avec l'icône« vue en 3D » on peut obtenir notre feuillard formé de l'état brut jusqu'à le profil final, on peut remarquer de la figure la déformation de la tôle en 3D après le passage dans les différentes stations.

Les mêmes étapes sont appliqués au deuxième type on trouve :

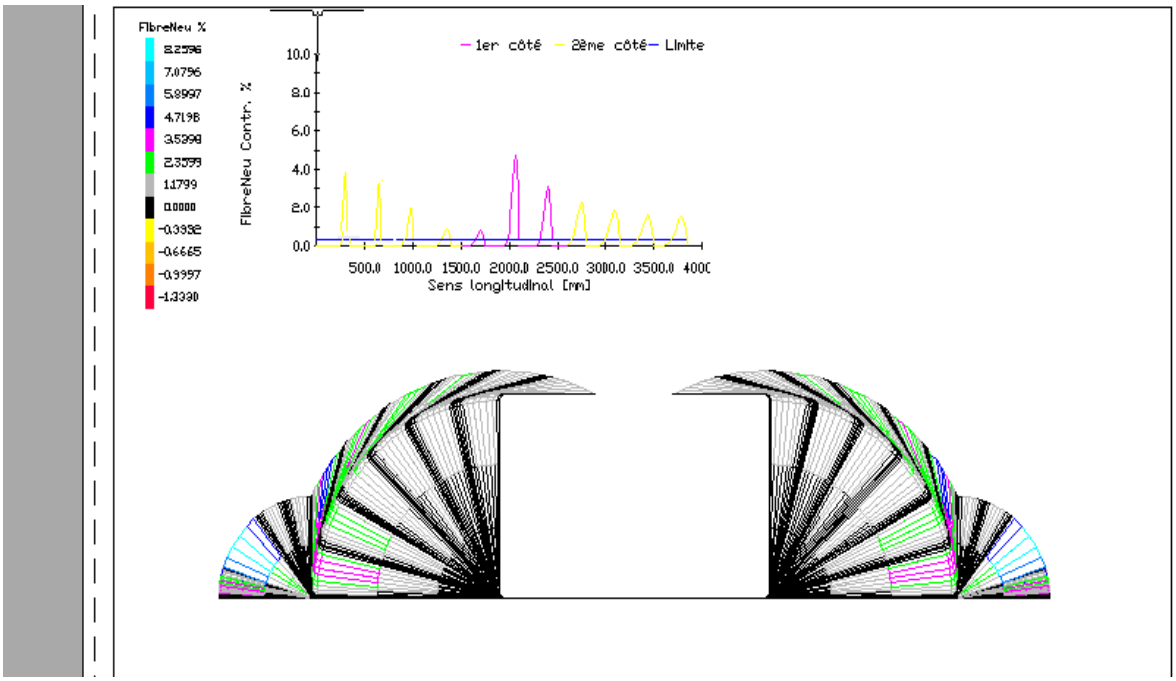


Figure 4.28 : Les contraintes avec le sens longitudinal

On observe que les contraintes maximales se trouvent au début de profilage, plus précisément dans la 1^{ere} station qui représente le premier angle avec une valeur de 15^{0}pour la première articulation, et la 6ème station pour la deuxième articulation.

On peut remarquer que :

- La résistance de la feuille est plus grande au début du profilage a cause de l'état brut dans cette position.
- La contrainte se démunie durant le profilage grâce au développent progressive des angles.
- Lorsque la ligne de profilage se développe vers le milieu dans le sens transversale la contrainte augmente et vice versa vers les cotés.

La (figure 4.29), montre les déformations de la tôle en 3 dimensions.

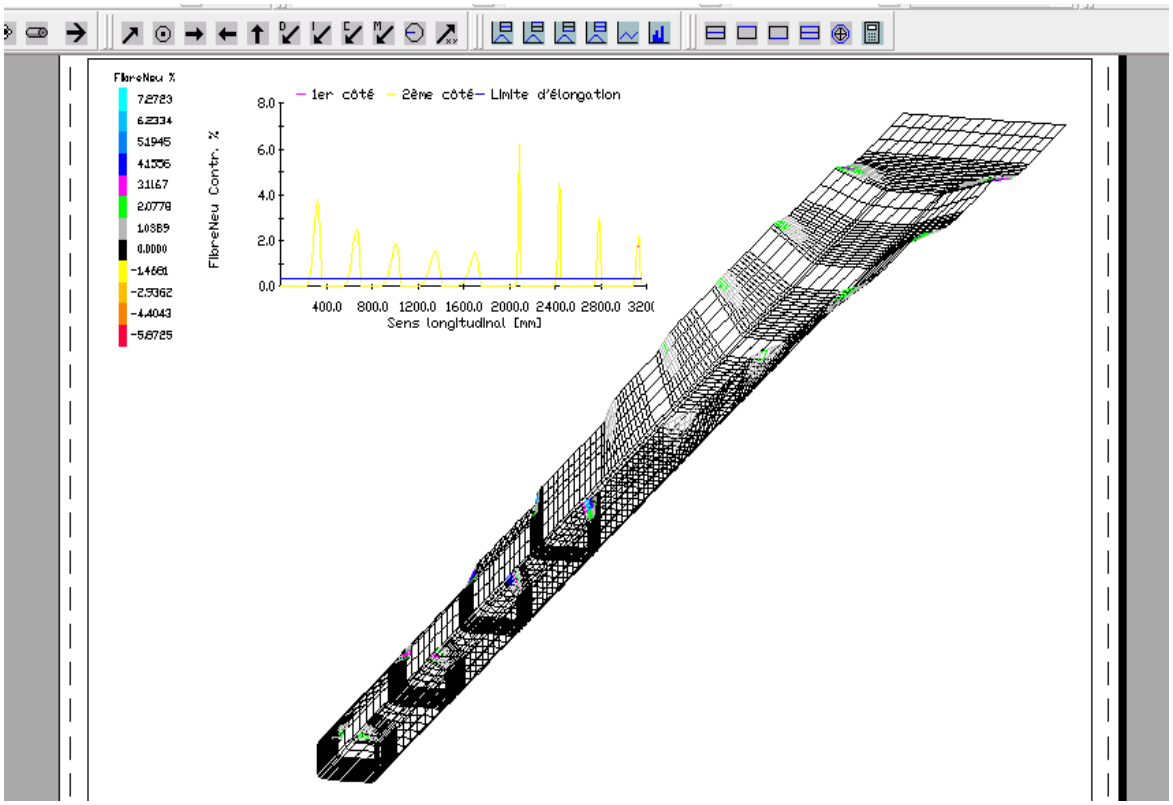


Figure 4.29 : Le profil du premier type en 3D.

Le développent du feuillard est fait progressivement avec un incrément de 15^0 dans la première articulation, et de 18^0 avec la deuxième articulation.

4.7 Simulation Dynamique :

La simulation complète du procédé de profilage par la méthode des éléments finis est très complexe. Nous avons simplifié une station de profilage contient deux galets portés par des arbres et des paliers.

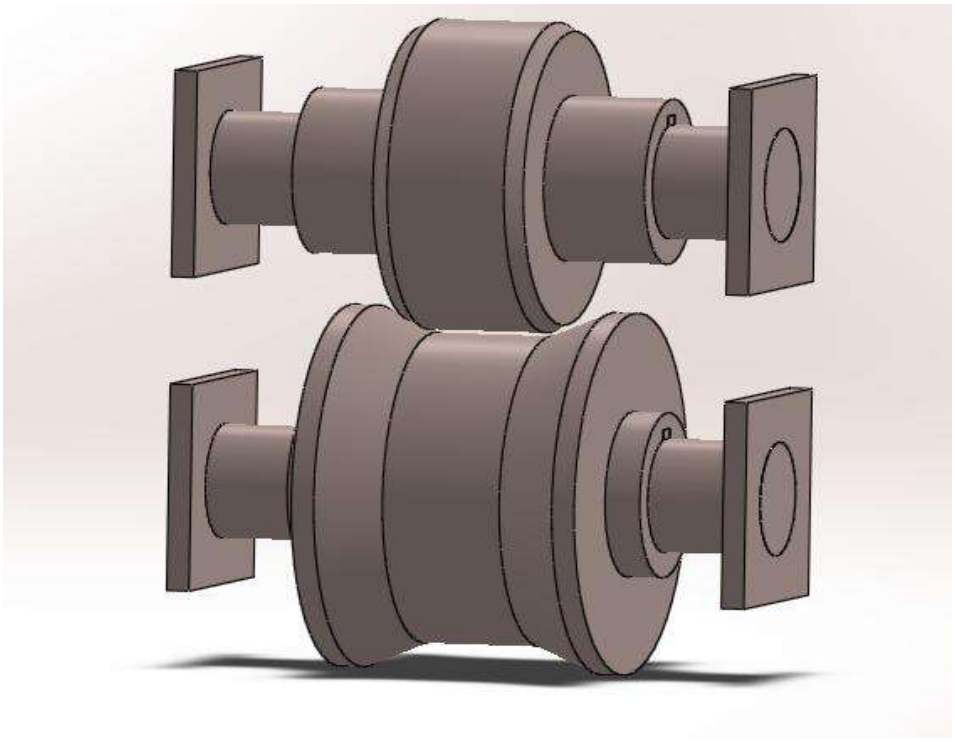


Figure. 4.30 : Modèle simplifié

Nous avons utilisé le module Cosmosworks du logiciel Solidworks, pour simuler le comportement dynamique de la déformation de la tôle.

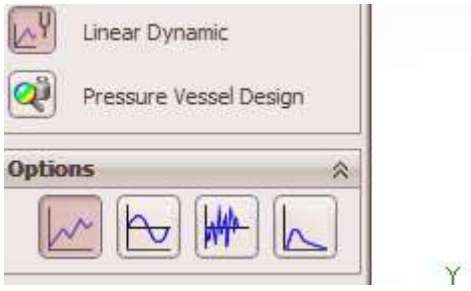


Figure. 4.31 : choix de type de simulation

Ensuite, on a choisi le type de contact dans notre model. Dans ce la feuille doit passer entre les deux galets. Alors on indique l'option « permettre la pénétration » dans la boite de dialogue.

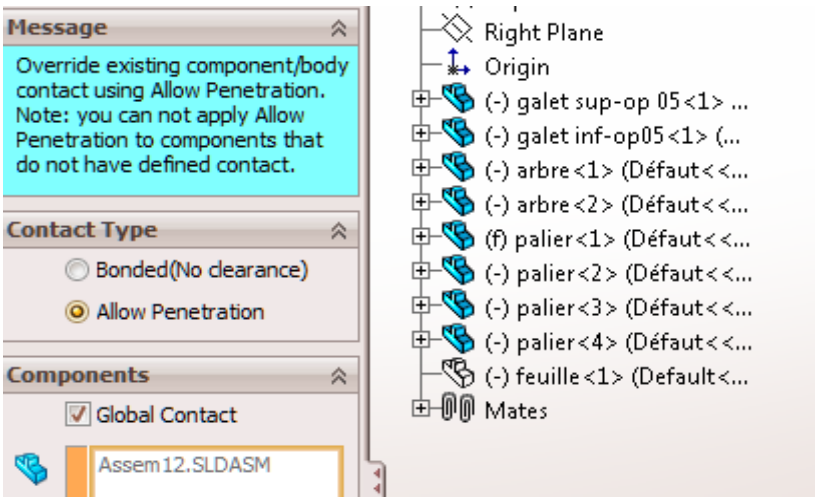


Figure. 4.32 : Type de contact

La simulation dynamique, exige le choix d'un repère fixe. Pour cela on a choisi les paliers.

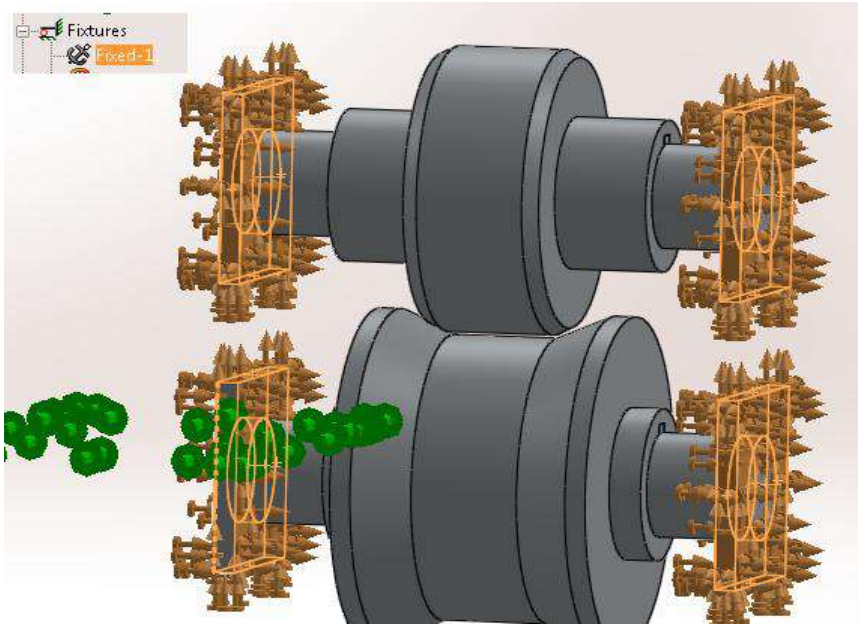


Figure. 4.33 : La géométrie fixe

Les conditions initiales sont nécessaires pour exécuter l'étude dynamique, la feuille passe entre les galets de la station avec une vitesse initiale d 1 $m.s^{-1}$.

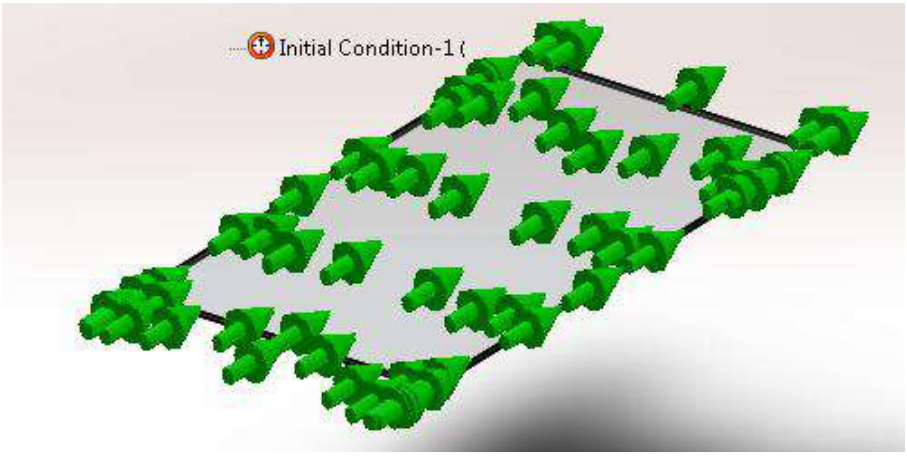


Figure. 4.34 : Conditions initiales**.**

Enfin, on a choisi le type de maillage basé sur des courbures.

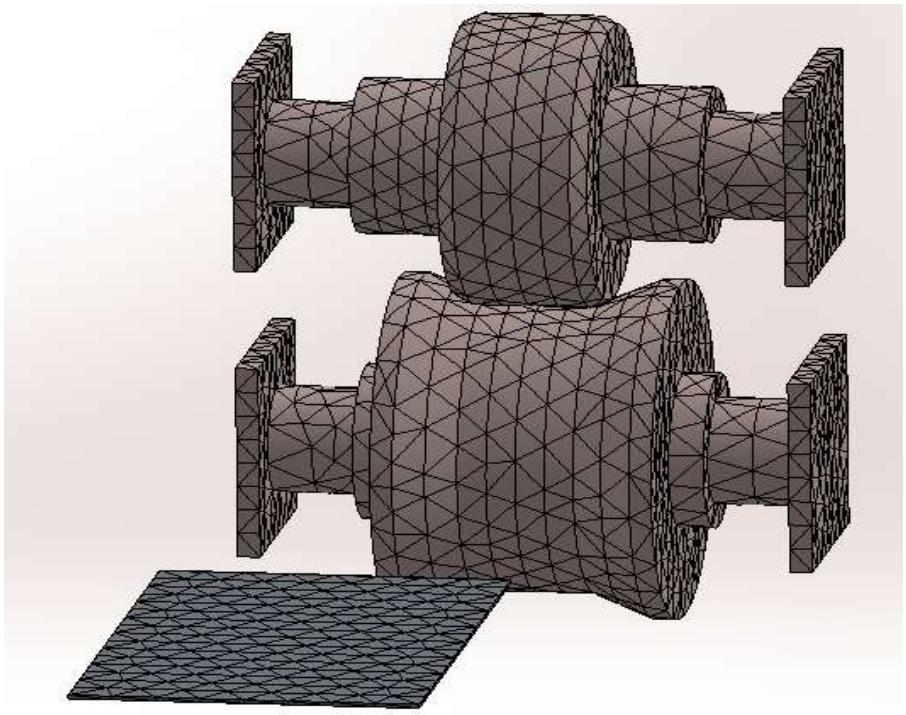


Figure4.35 : Le maillage.

CONCLUSION GENERALE

Le profilage est un procédé de formation des tôles qui possède une place très importante dans l'industrie. Ce travail de Master entre dans le cadre d'un projet PNR (13-U26-23) intitulé : Etude et conception d'une machine de profilage rattaché au laboratoire de Mécanique Physique et Modélisation Mathématique de l'université de Médéa.

Dans ce but, on a utilisé un logiciel pour obtenir les différentes étapes de formation du profile désiré. Les dimensions et la forme des gales sont ensuite obtenues. Finalement, on a fait une série de simulation pour obtenir la forme de la déformé en 3D, ainsi que l'état de contrainte résultante.

On a choisi deux types de profilé; profilé en V et profilé en U. Pour le premier cas, on obtenu trois station en plus de la station 0. Ces stations contiennent quatre paires de galets (supérieur et inférieur). D'autre part, le deuxième type comporte 12 stations qui contiennent 12 paires de galets (supérieur et inférieur) et 05 paires galets (latéraux). La simulation 3D montre l'état de déformation et de contrainte de la tôle après le profilage.

En perspective, le travail sera proposé comme des thèmes de PFE pour :

- continuer la partie de simulation par CosmosWorks.
- Faire la conception complète de la machine
- Etudier le profilage en forme fermée (tube)

RÉFÉRENCES

[1] George T.Halmes.Manufacturing engineering and materials processing, USA 2006.

[2]Thesis,Marcel Dekker, Handbook of metal forming process. New York 1995.

[3]Data M Copra workbook, copy right by Data M software GMBH 2005.

[4] G.Dhalt and G.Toozot.une présentation de la méthode des éléments finis. Les presses de l'université Laval, Québec 1981.

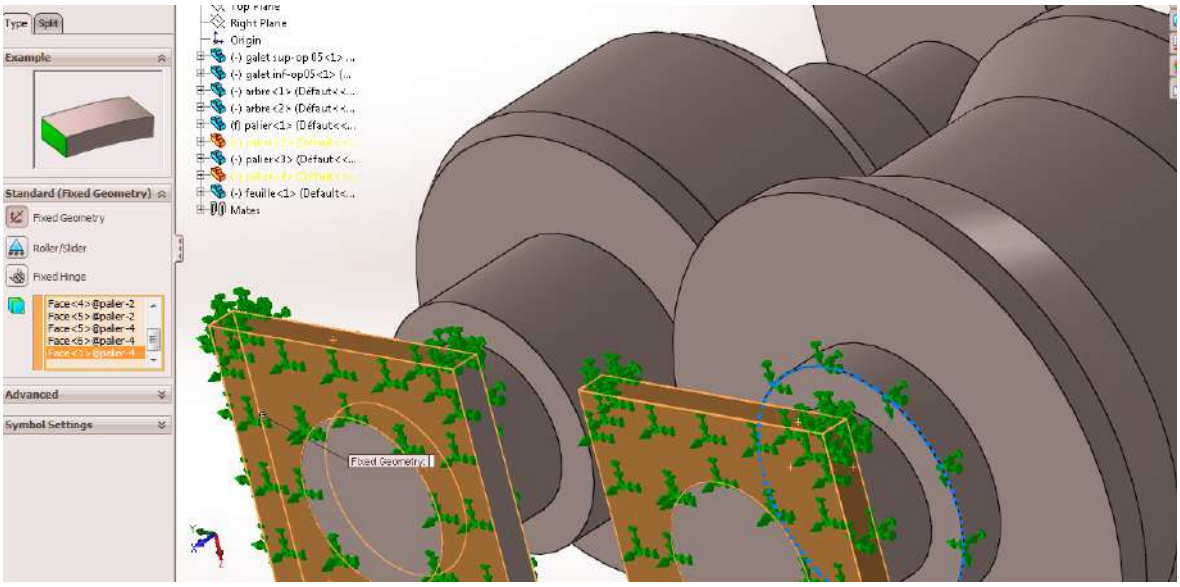
[5]D. Bhattacharyya, P.D. Smith, The Development of Longitudinal Strain in Cold Roll Forming and its influence of Product Straightness, Advanced Tech. of Plasticity, Vol. 1, 1984

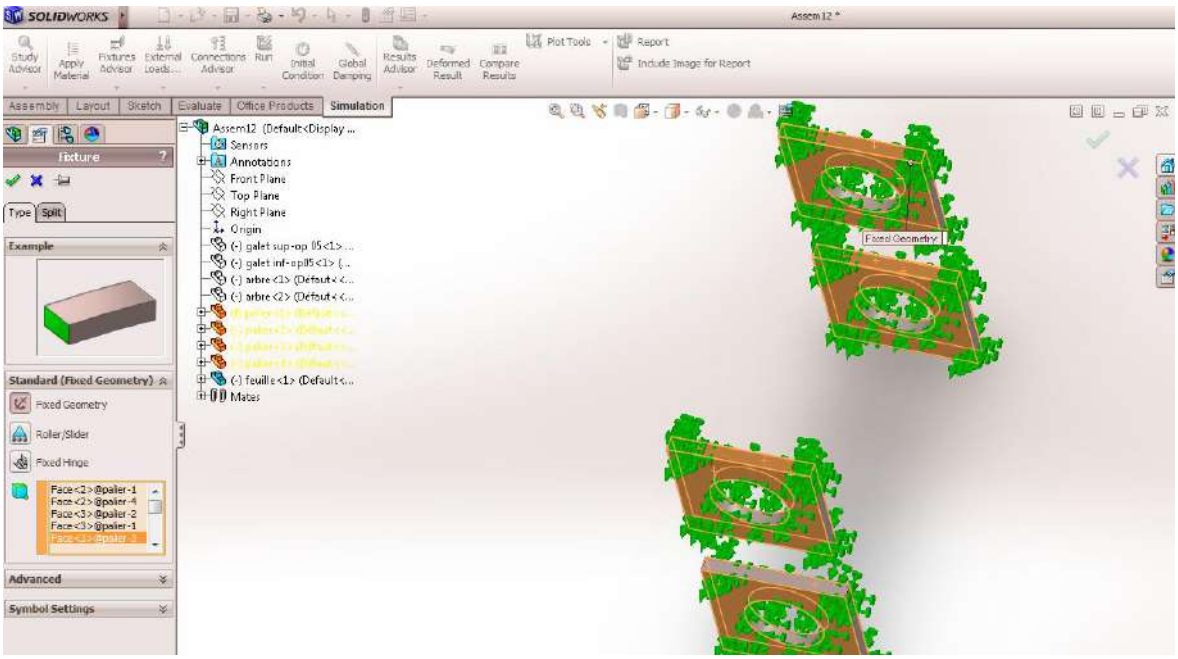
[6]S.M. Panton, S.D. Zhu, J.L. Duncan, Fundamental Deformation Types and Sectional Properties in Roll Forming, Int. J. Mech. Sci. Vol. 36 No. 8 pp. 725-735, 1994.

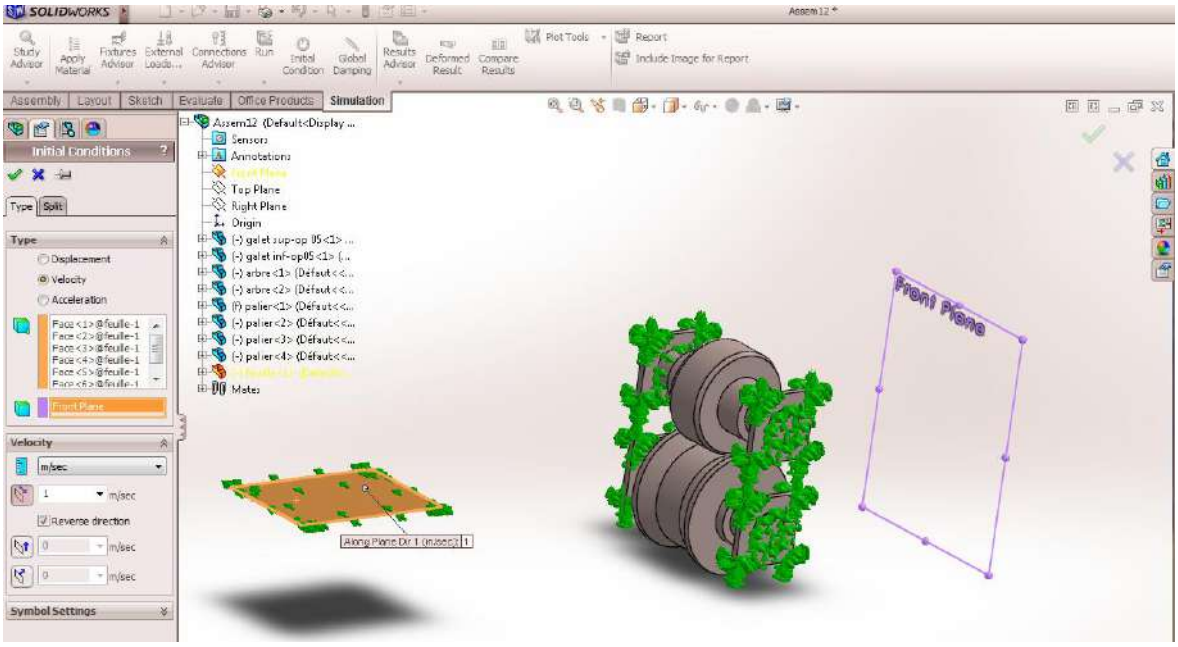
[7]K.F. Chiang, Cold roll forming, ME Thesis, University of Auckland, Aug. 1984

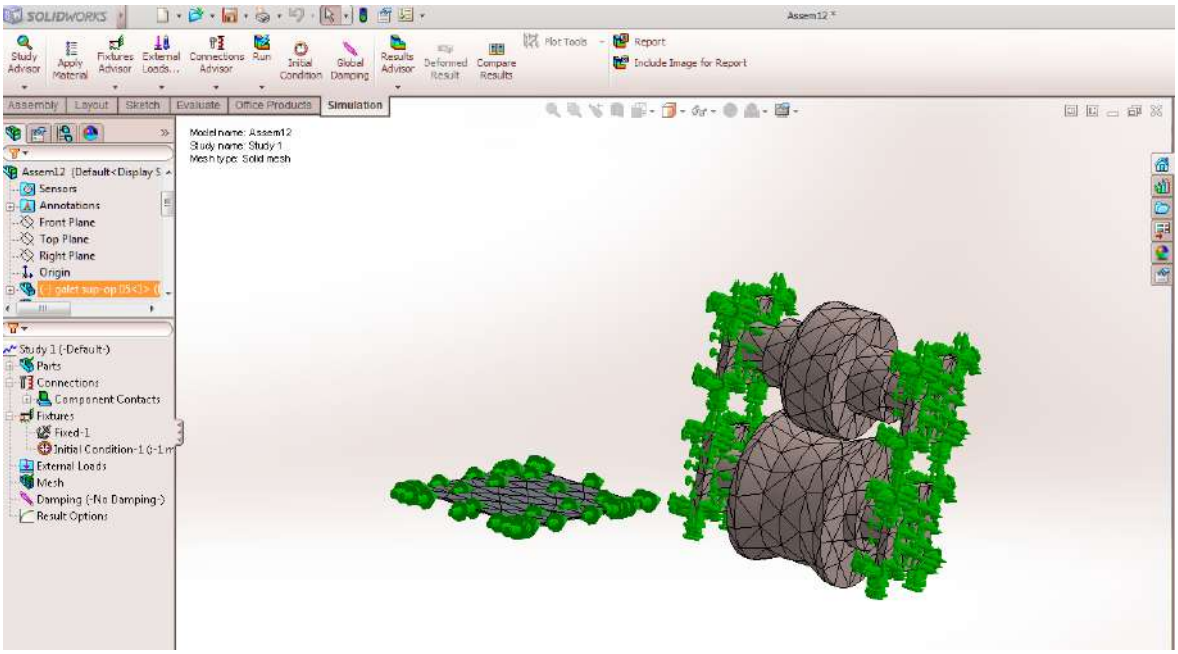
Annexe A

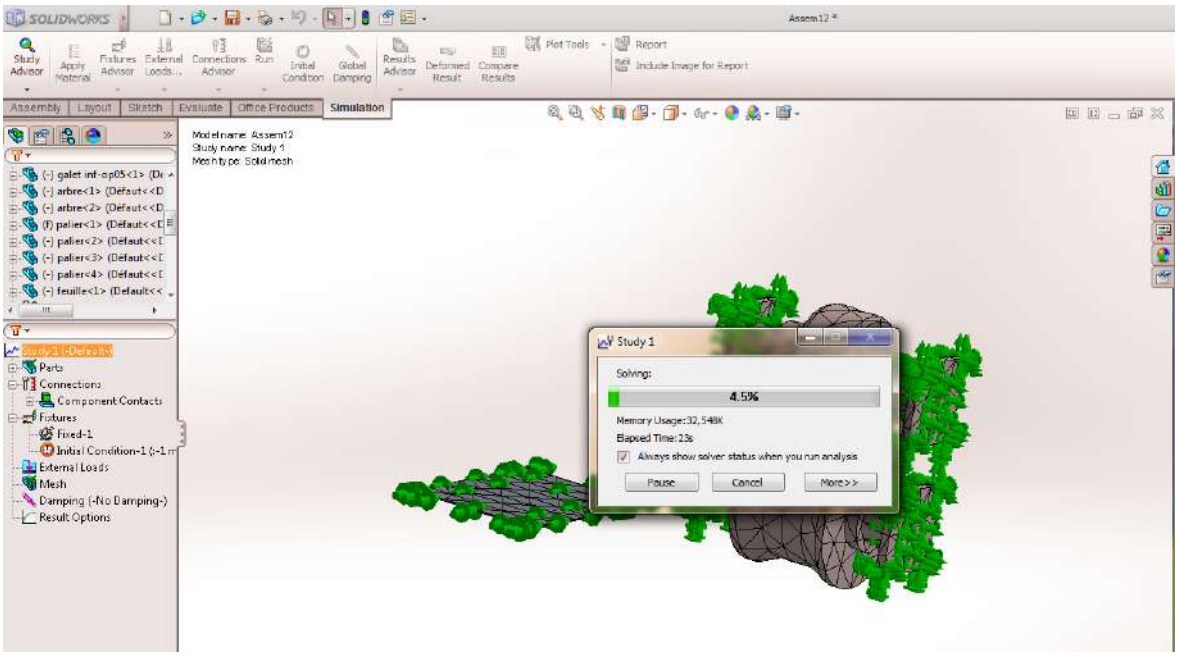
Les étapes de résolution par solidworks du problème de déformation dynamique de la tôle entre deux galets.






SOLIDWORKS
Initial Conditions
Front Plane
Top Plane
Right Plane
Origin

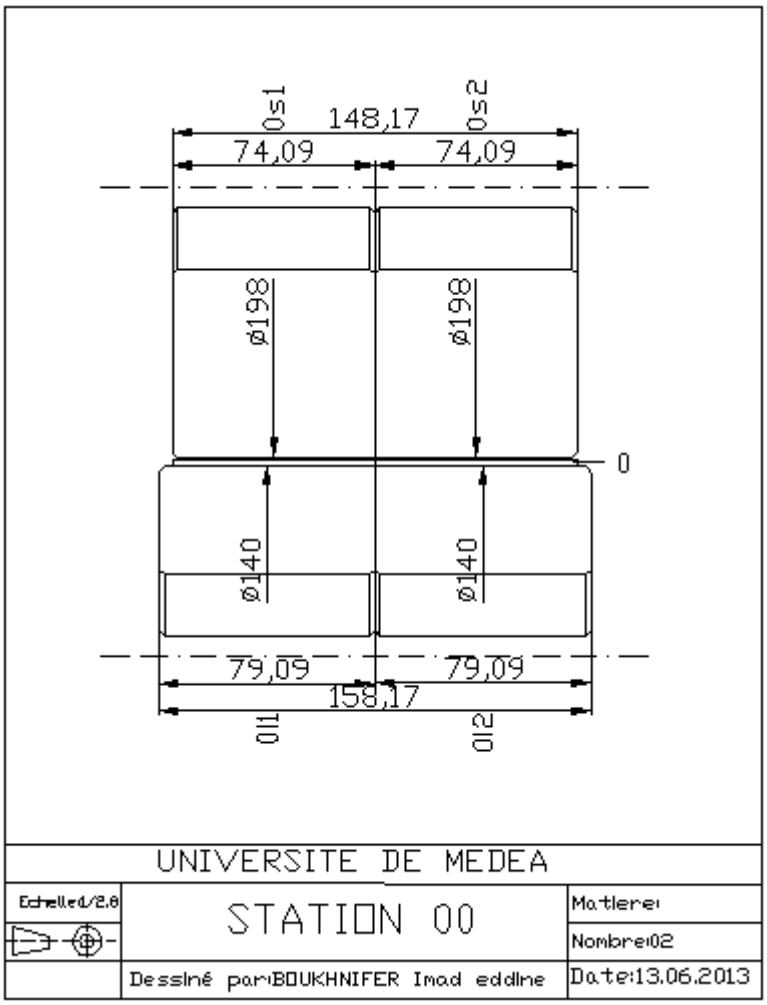

SOLIDWORKS
Model name: Assem12
Study name: Study 1
Mesh type: Solid mesh

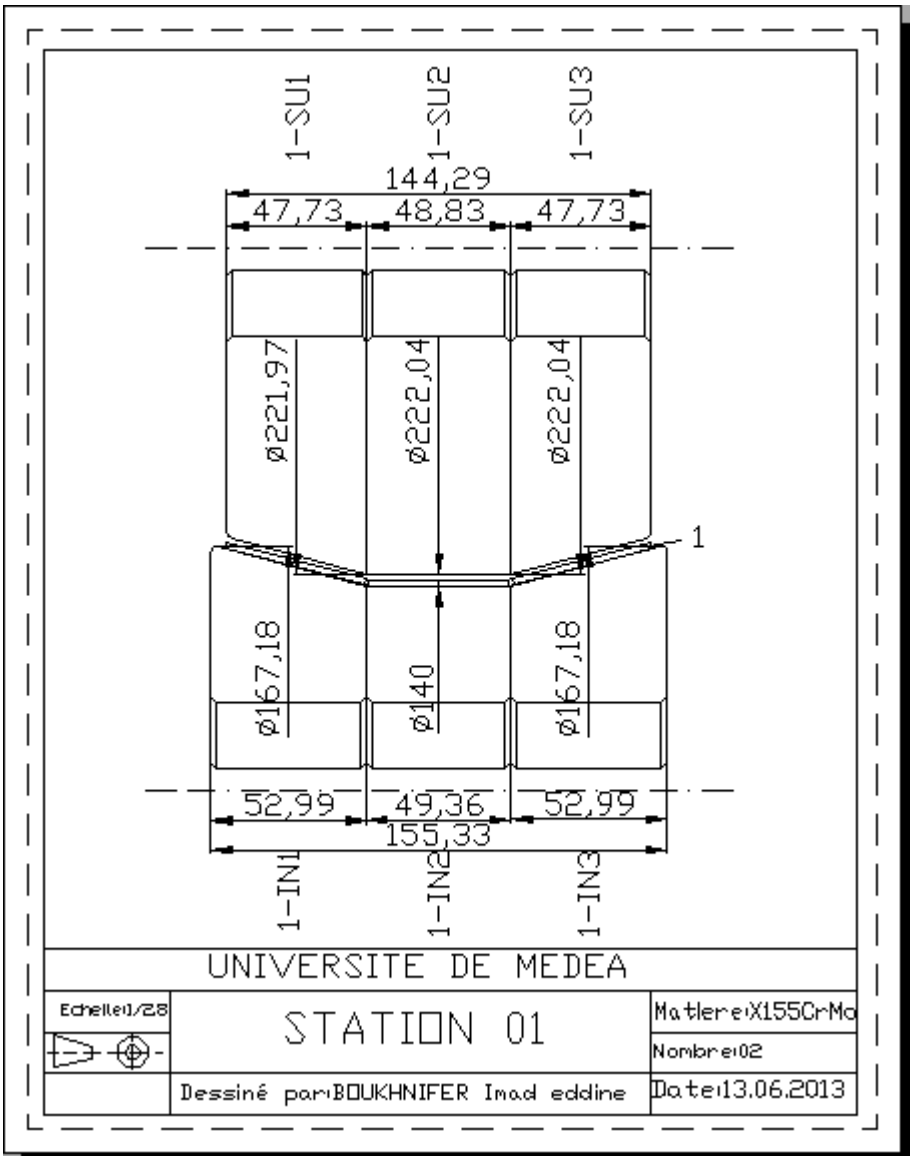

SOLIDWORKS
Assem12 *
Study Advisor
Apply Material
Fixtures Advisor
External Loads...
Connections Advisor
Run
Initial Condition
Global Damping
Results Advisor
Deformed Result
Compare Results
Plot Tools
Report
Include Image for Report
Assembly
Layout
Sketch
Evaluate
Office Products
Simulation
Model name: Assem12
Study name: Study 1
Mesh type: Solid mesh
Parts
Connections
Component Contacts
Fixtures
Fixed-1
External Loads
Mesh
Damping (-No Damping-)
Result Options
Study 1
Solving:
4.5%
Memory Usage: 32,548K
Elapsed Time: 23s
Always show solver status when you run analysis
Pause
Cancel
More>>

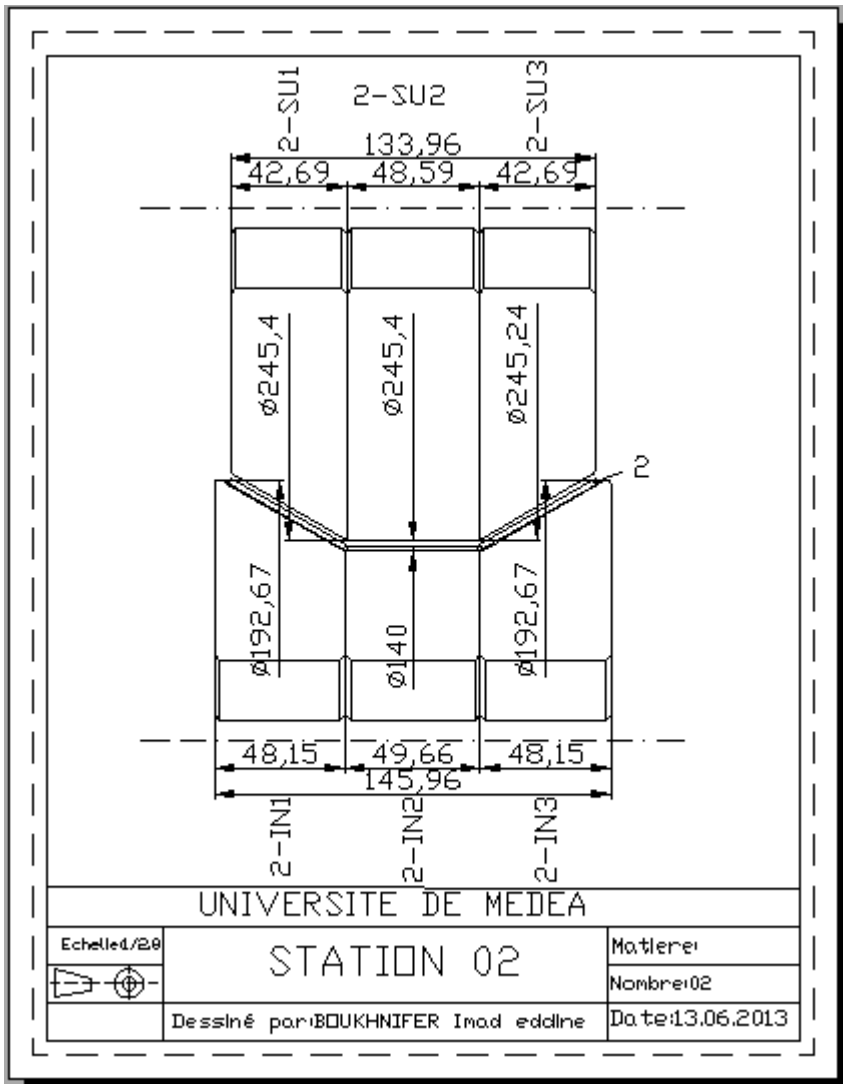
Annexe B

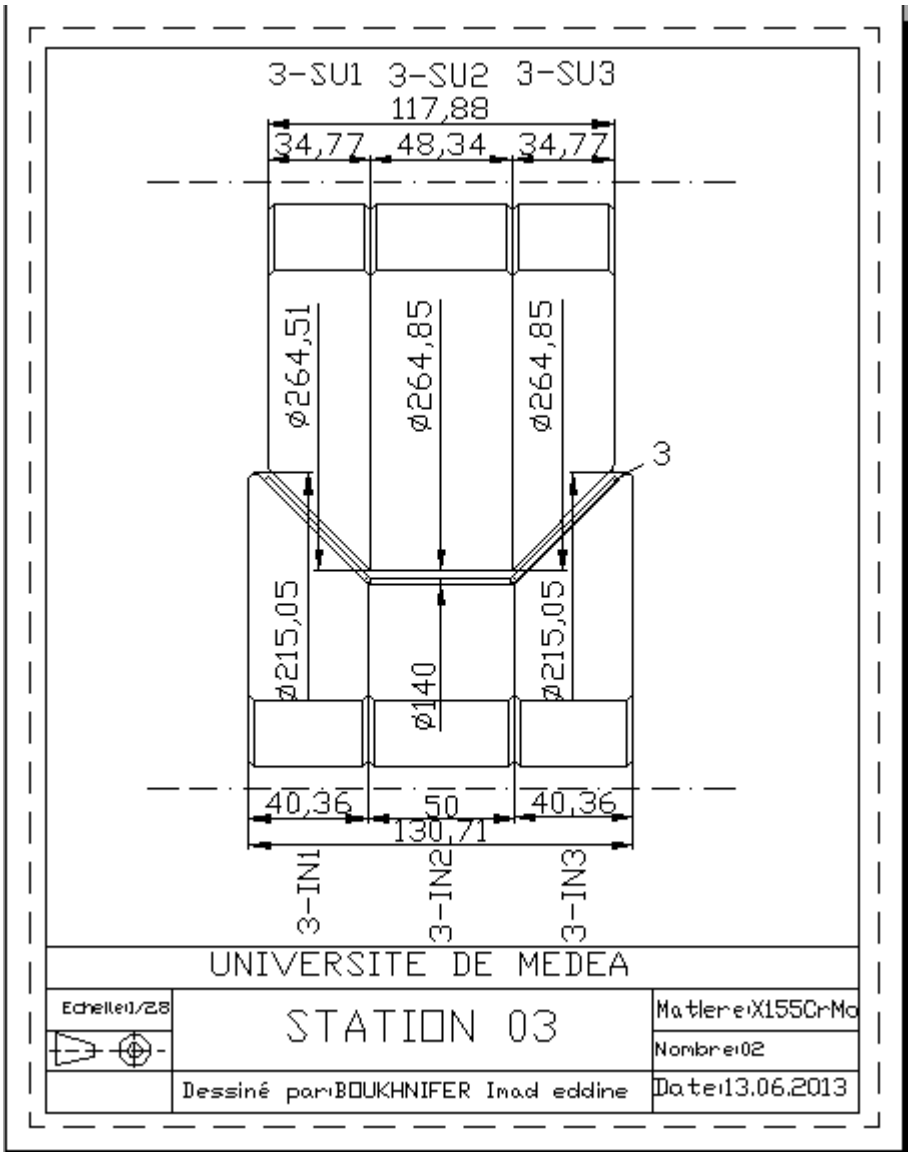
Les dessins de définissions des différents stations.

Cas 01 : profile en U.

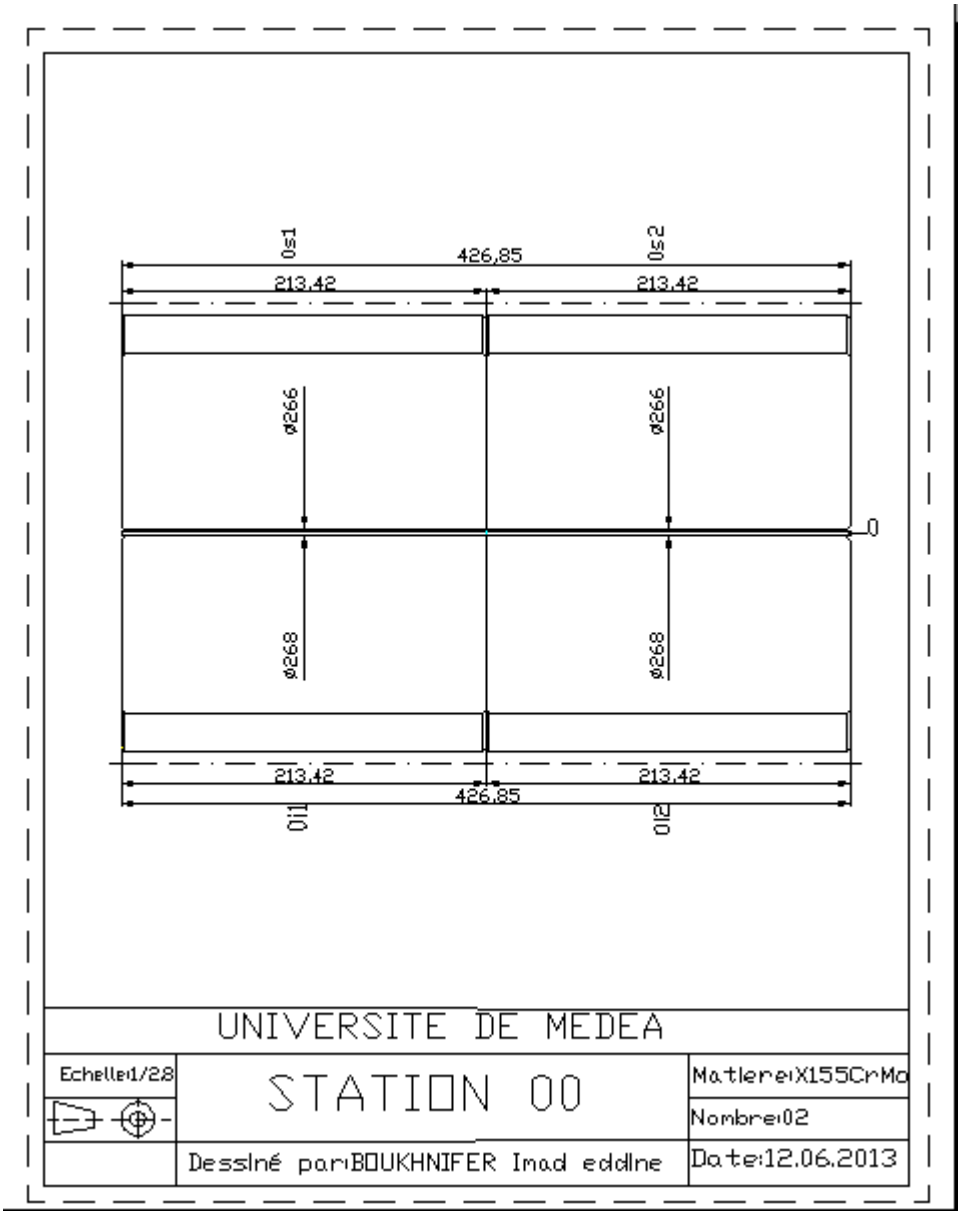


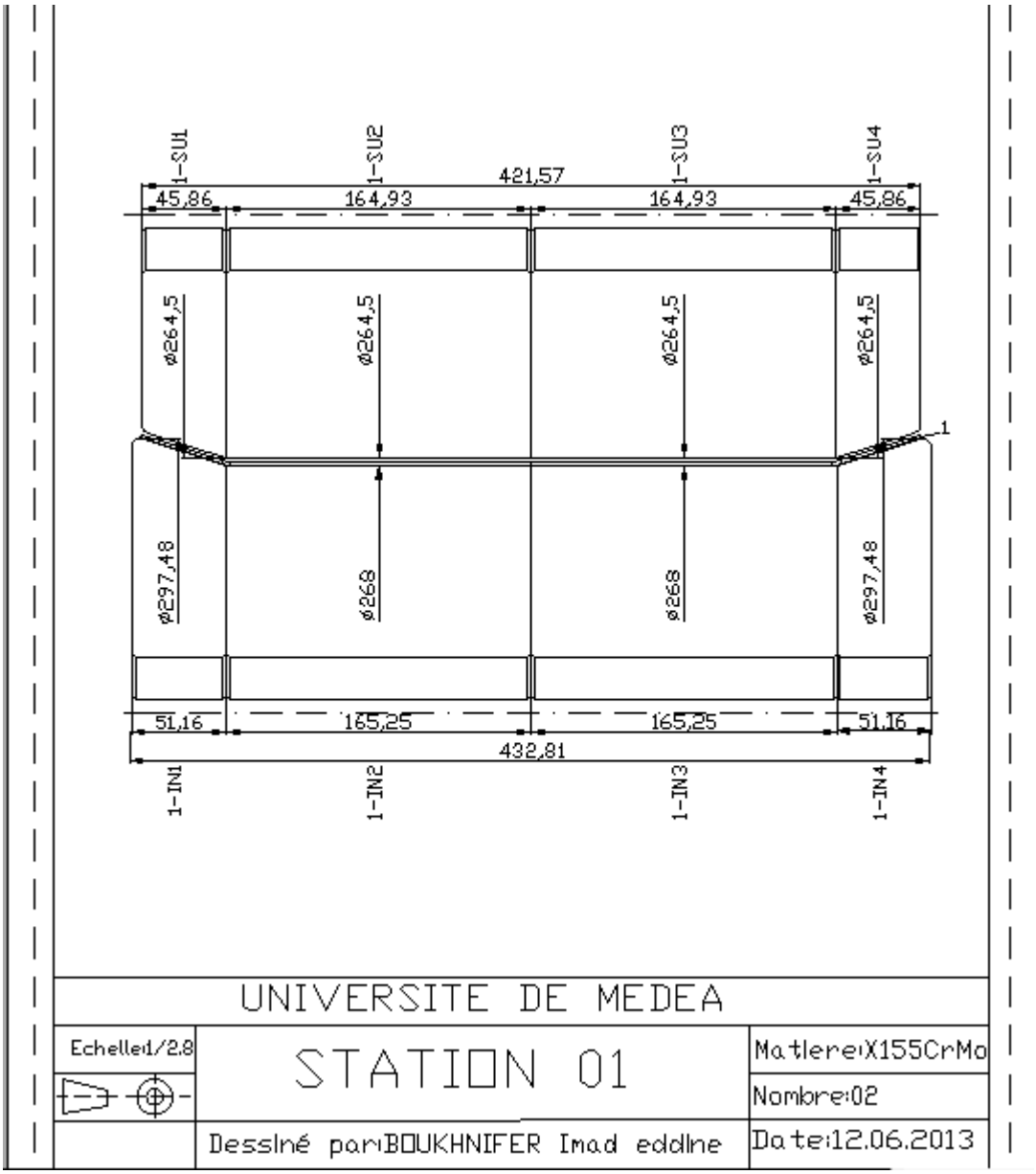

1-SU1
1-SU2
1-SU3
144,29
47,73
48,83
47,73
ø221,97
ø222,04
ø222,04
1
ø167,18
ø140
ø167,18
52,99
49,36
52,99
155,33
1-IN1
1-IN2
1-IN3
UNIVERSITE DE MEDEA
Echelle:1/2,8
STATION 01
Matiere:X155CrMo
Nombre:02
Dessiné par:BOUKHNIFER Imad eddine
Date:13.06.2013

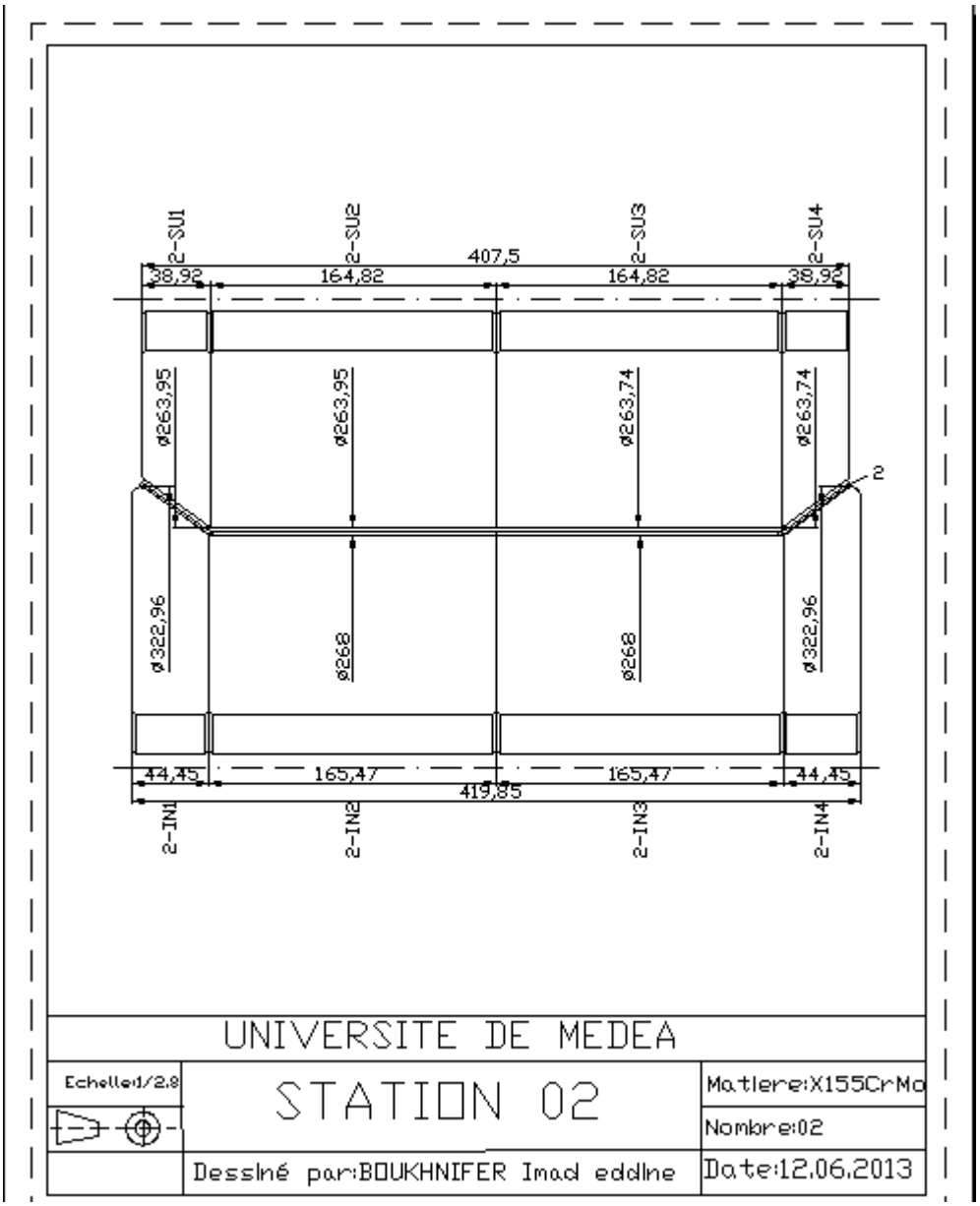

2-SU1
2-SU2
2-SU3
133,96
42,69
48,59
42,69
ø245,4
ø245,4
ø245,24
2
ø192,67
ø140
ø192,67
48,15
49,66
48,15
145,96
2-IN1
2-IN2
2-IN3
UNIVERSITE DE MEDEA
Echelle1/20
STATION 02
Matiere:
Nombre:02
Dessiné par:BOUKHNIFER Imad eddine
Date:13.06.2013

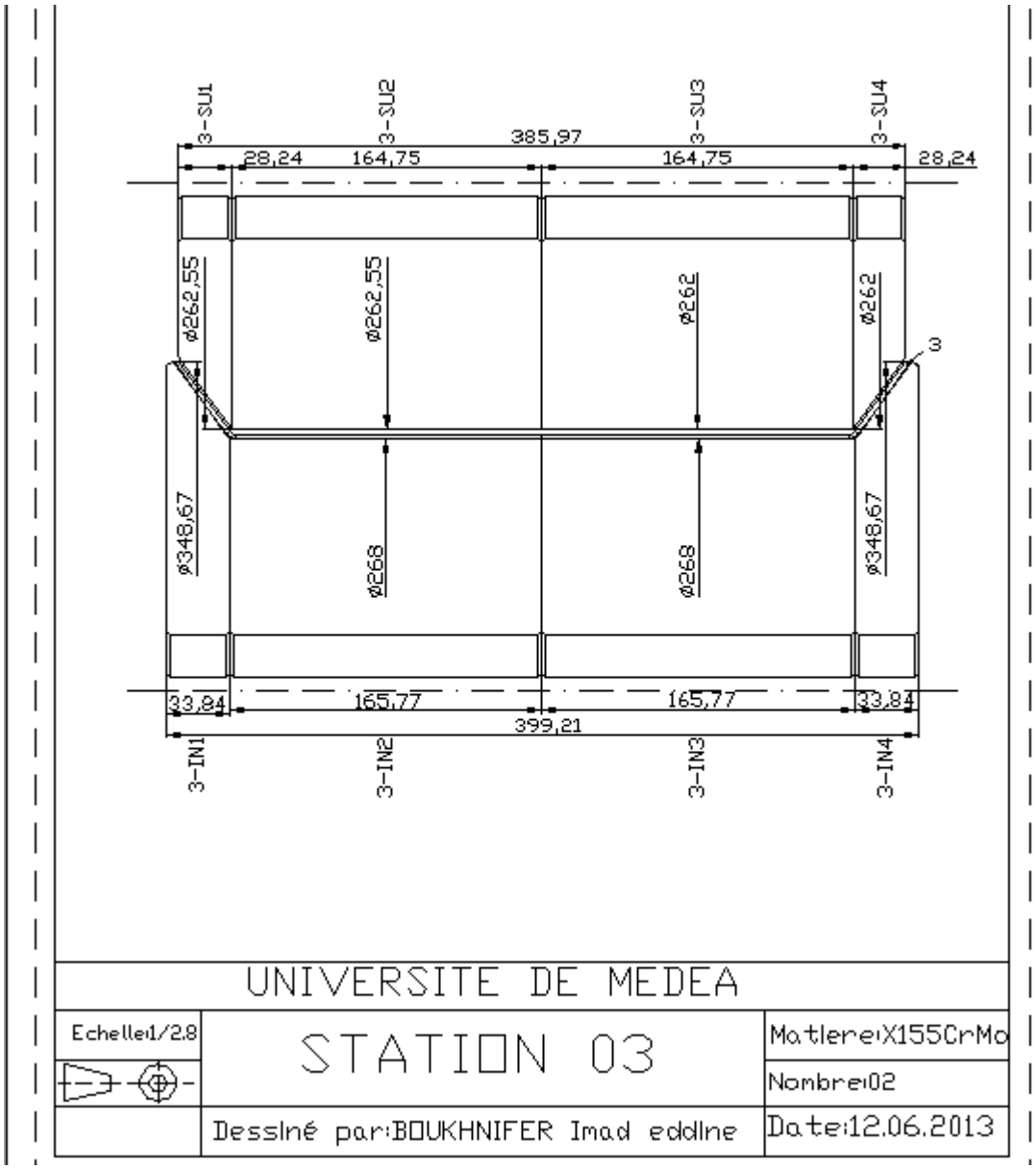

3-SU1 3-SU2 3-SU3
117,88
34,77 48,34 34,77
ø264,51
ø264,85
ø264,85
3
ø215,05
ø140
ø215,05
40,36 50 40,36
130,71
3-IN1
3-IN2
3-IN3
UNIVERSITE DE MEDEA
Echelle:1/28
STATION 03
Matiere:X155CrMo
Nombre:02
Dessiné par:BOUKHNIFER Imad eddine
Date:13.06.2013

Cas 02 : profile en V.

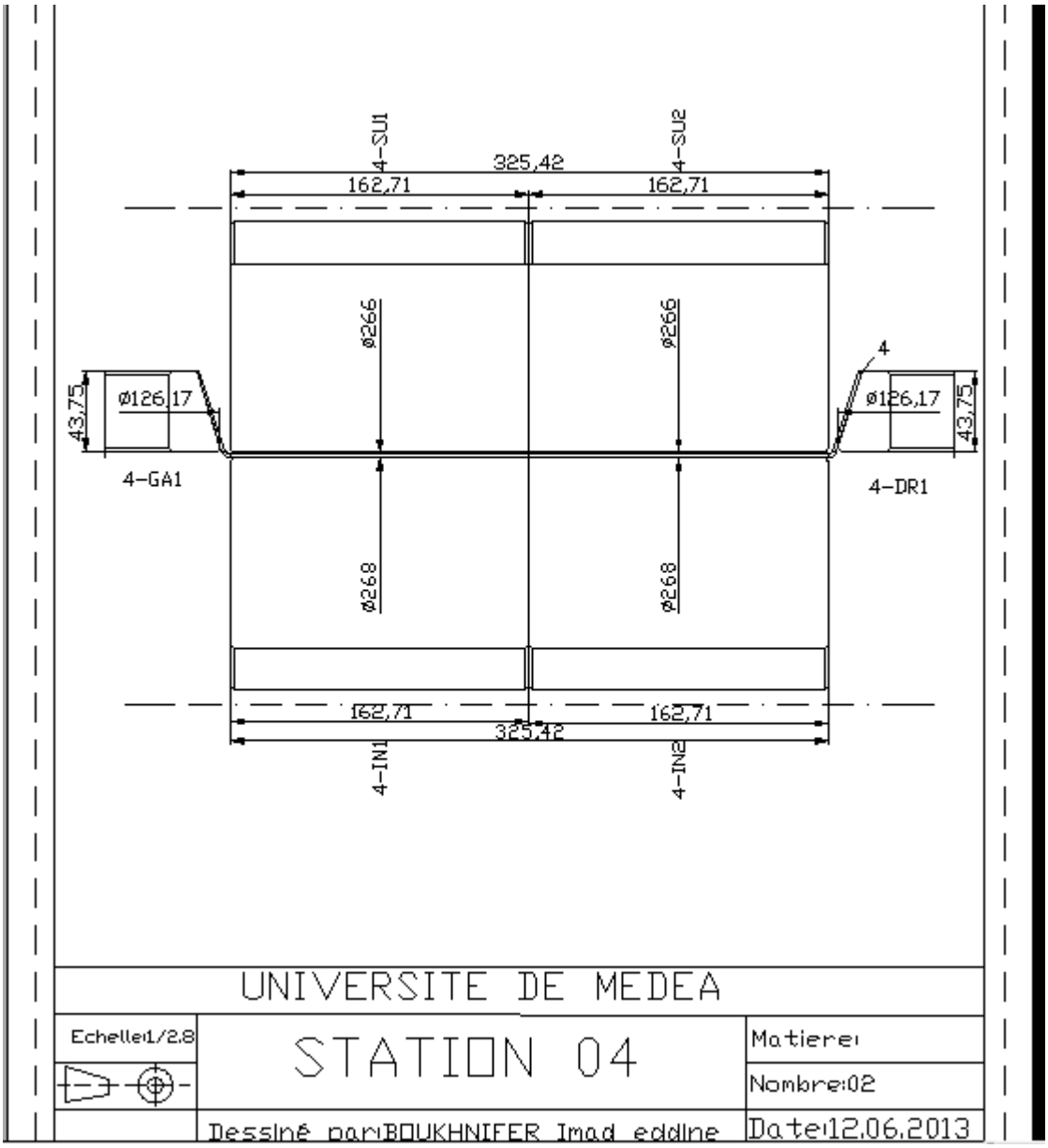


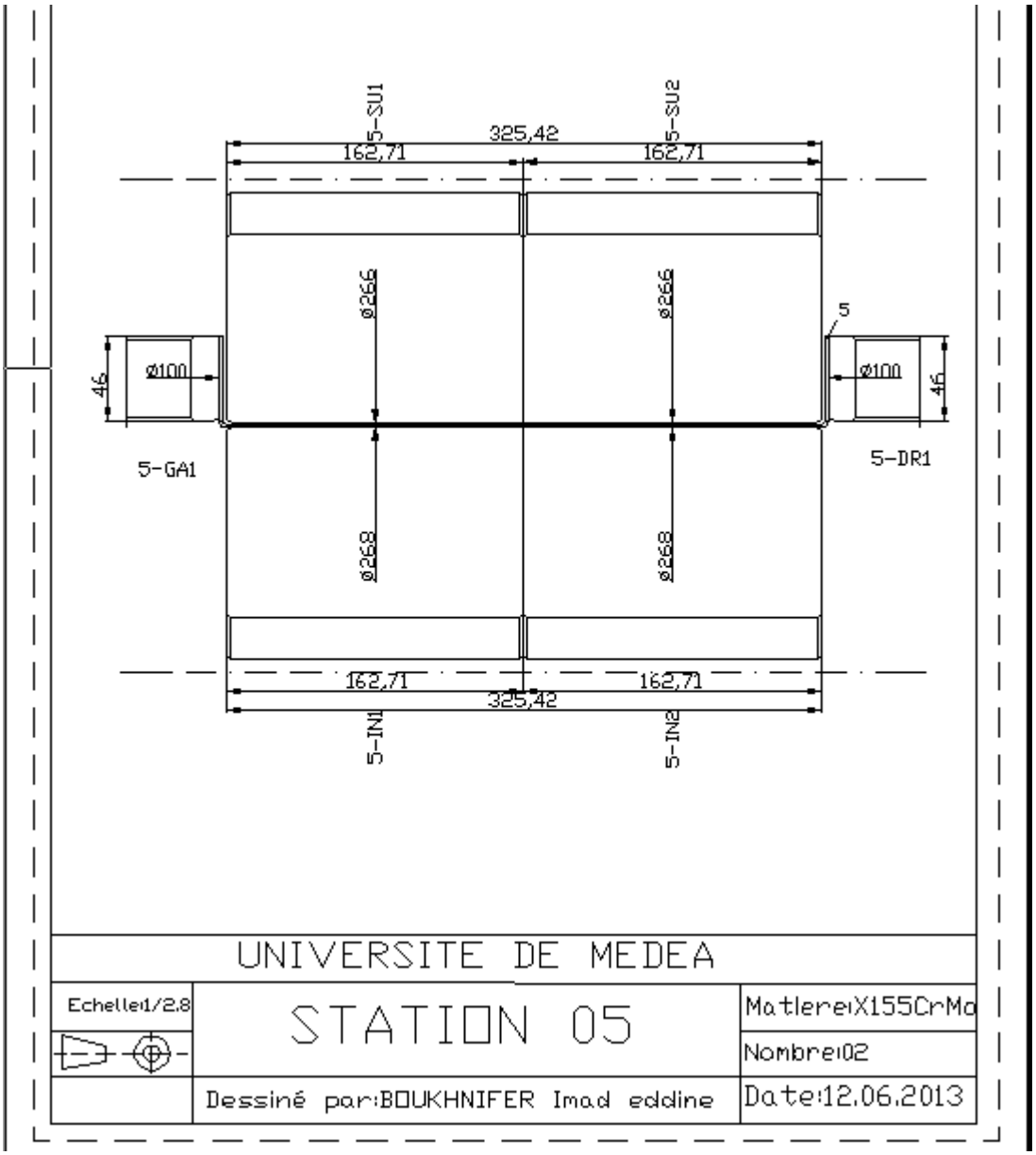

1-SU1
1-SU2
1-SU3
1-SU4
421,57
45,86
164,93
164,93
45,86
ø264,5
ø264,5
ø264,5
ø264,5
1
ø297,48
ø268
ø268
ø297,48
51,16
165,25
165,25
51,16
432,81
1-IN1
1-IN2
1-IN3
1-IN4
UNIVERSITE DE MEDEA
Echelle:1/2.8
STATION 01
Matiere:X155CrMo
Nombre:02
Dessiné par:BOUKHNIFER Imad eddine
Date:12.06.2013

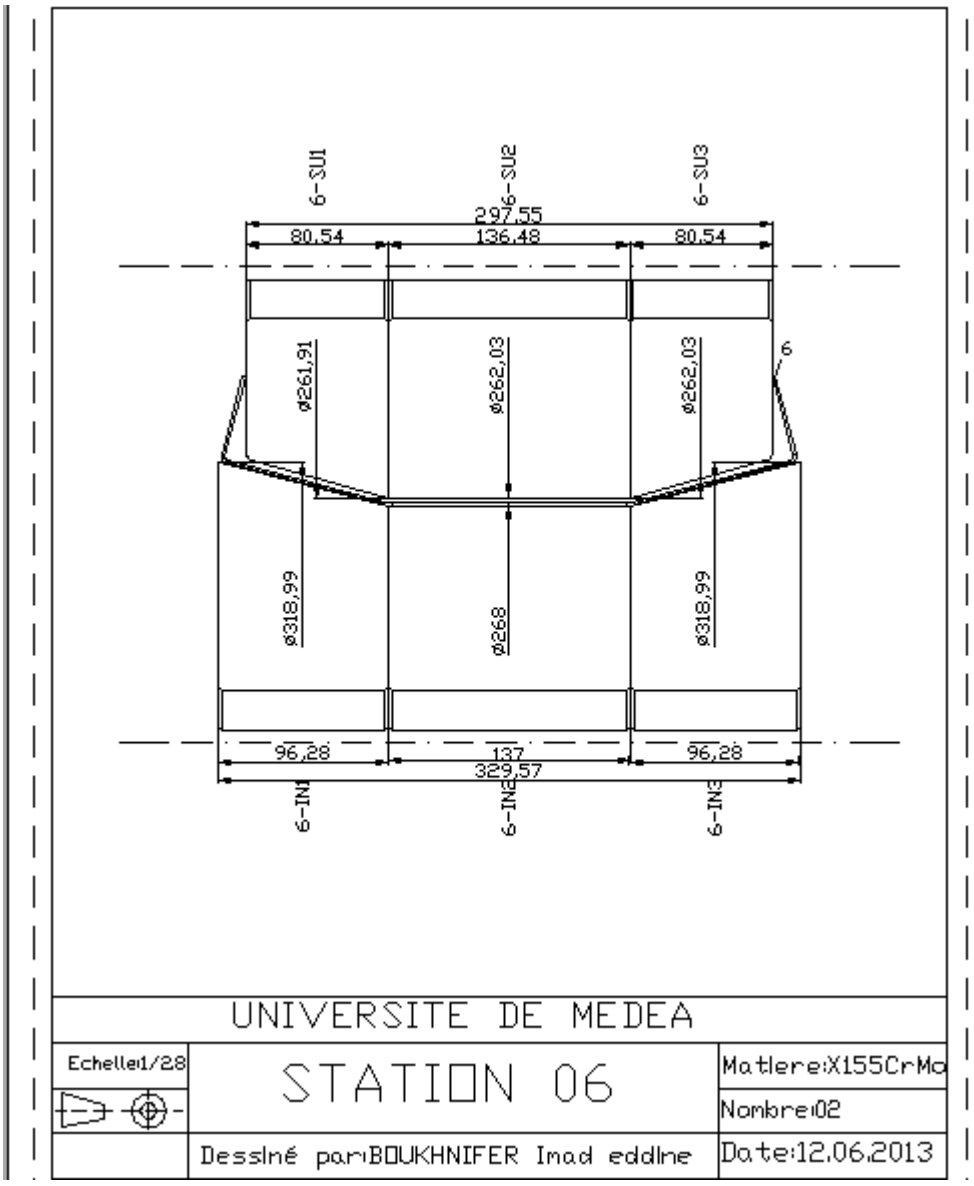

2-SU1
2-SU2
2-SU3
2-SU4
407,5
38,92
164,82
164,82
38,92
ø263,95
ø263,95
ø263,74
ø263,74
2
ø322,96
ø268
ø268
ø322,96
44,45
165,47
165,47
44,45
419,35
2-IN1
2-IN2
2-IN3
2-IN4
UNIVERSITE DE MEDEA
Echelle:1/2.8
STATION 02
Matiere:X155CrMo
Nombre:02
Dessiné par:BOUKHNIFER Imad eddine
Date:12.06.2013

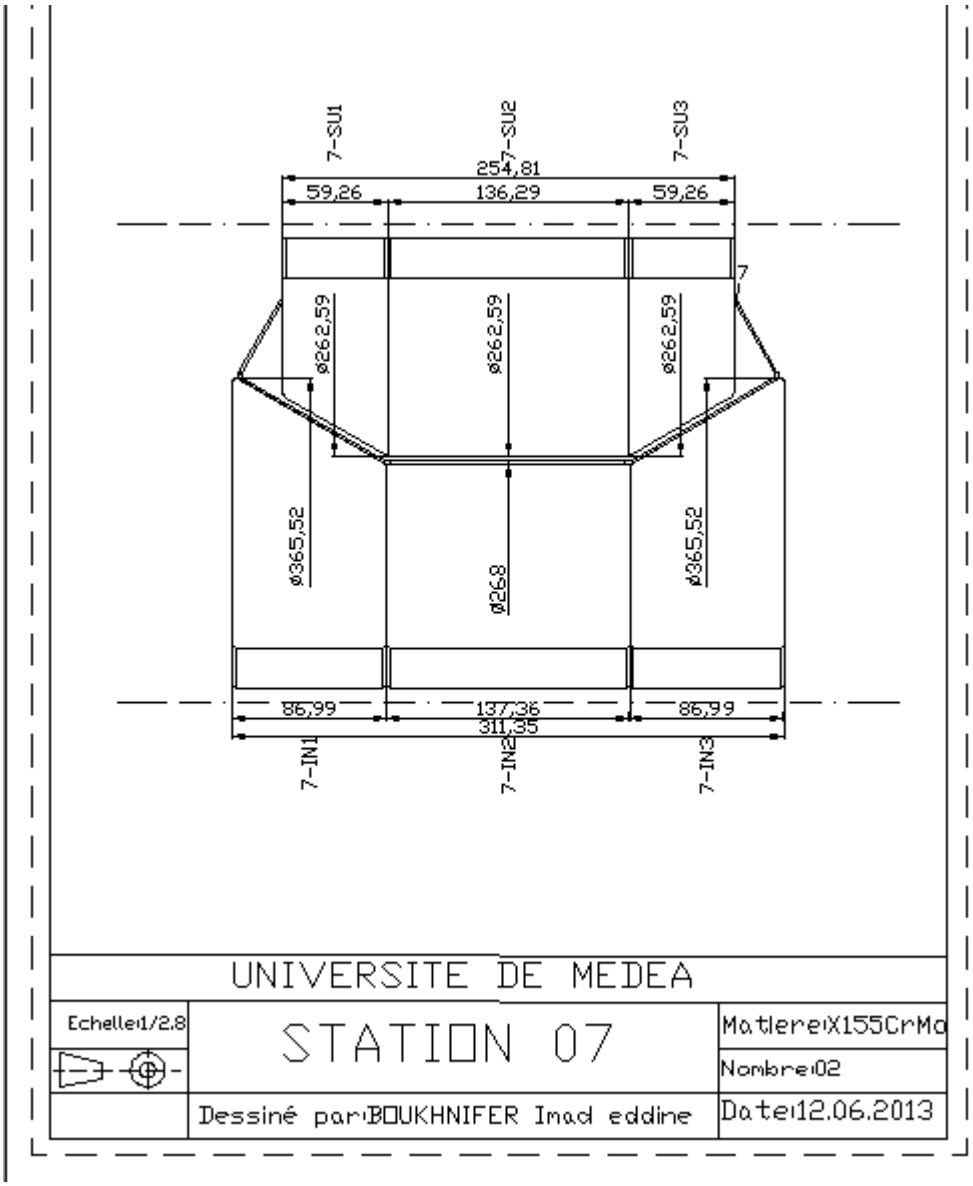


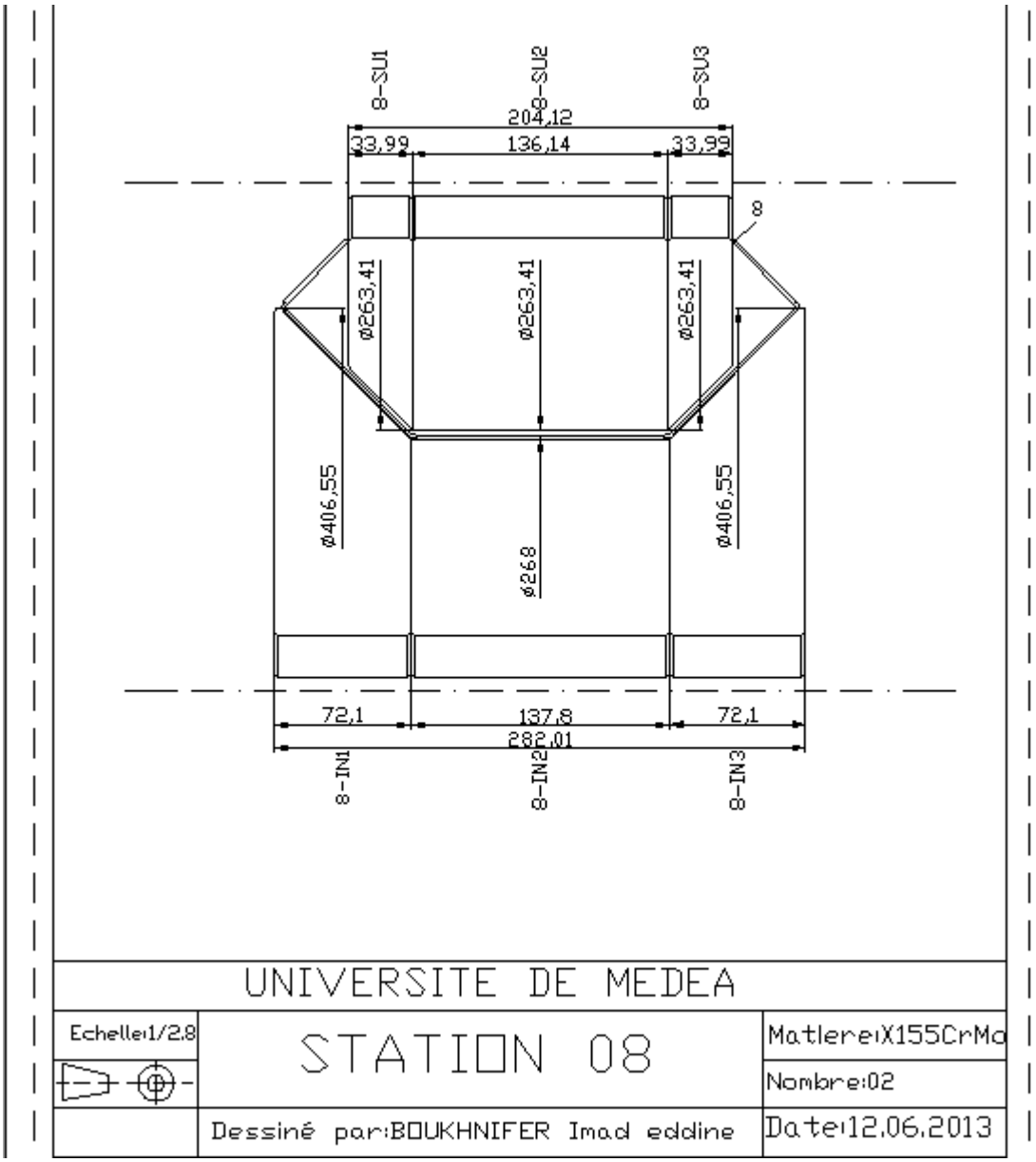
UNIVERSITE DE MEDEA		
Echelle:1/2.8	STATION 03	Matlere:X155CrMo
		Nombre:02
	Dessiné par:BOUKHNIFER Imad eddine	Date:12.06.2013

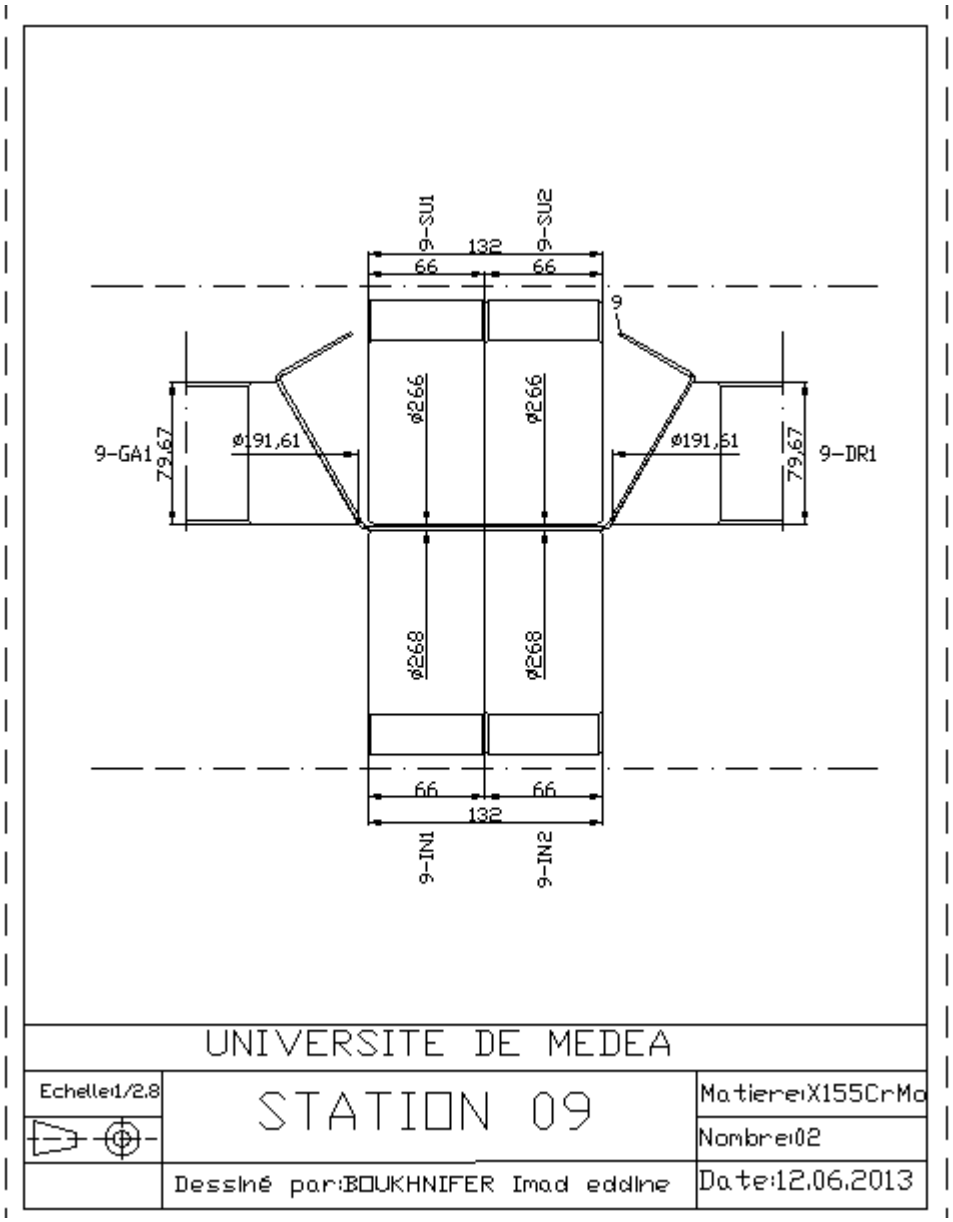

4-SU1
325,42
4-SU2
162,71
162,71
Ø266
Ø266
4
43,75
Ø126,17
Ø126,17
43,75
4-GA1
4-DR1
Ø268
Ø268
162,71
162,71
325,42
4-IN1
4-IN2
UNIVERSITE DE MEDEA
Echelle:1/2.8
STATION 04
Matiere:
Nombre:02
Dessiné par:BOUKHNIFER Imad eddine
Date:12.06.2013

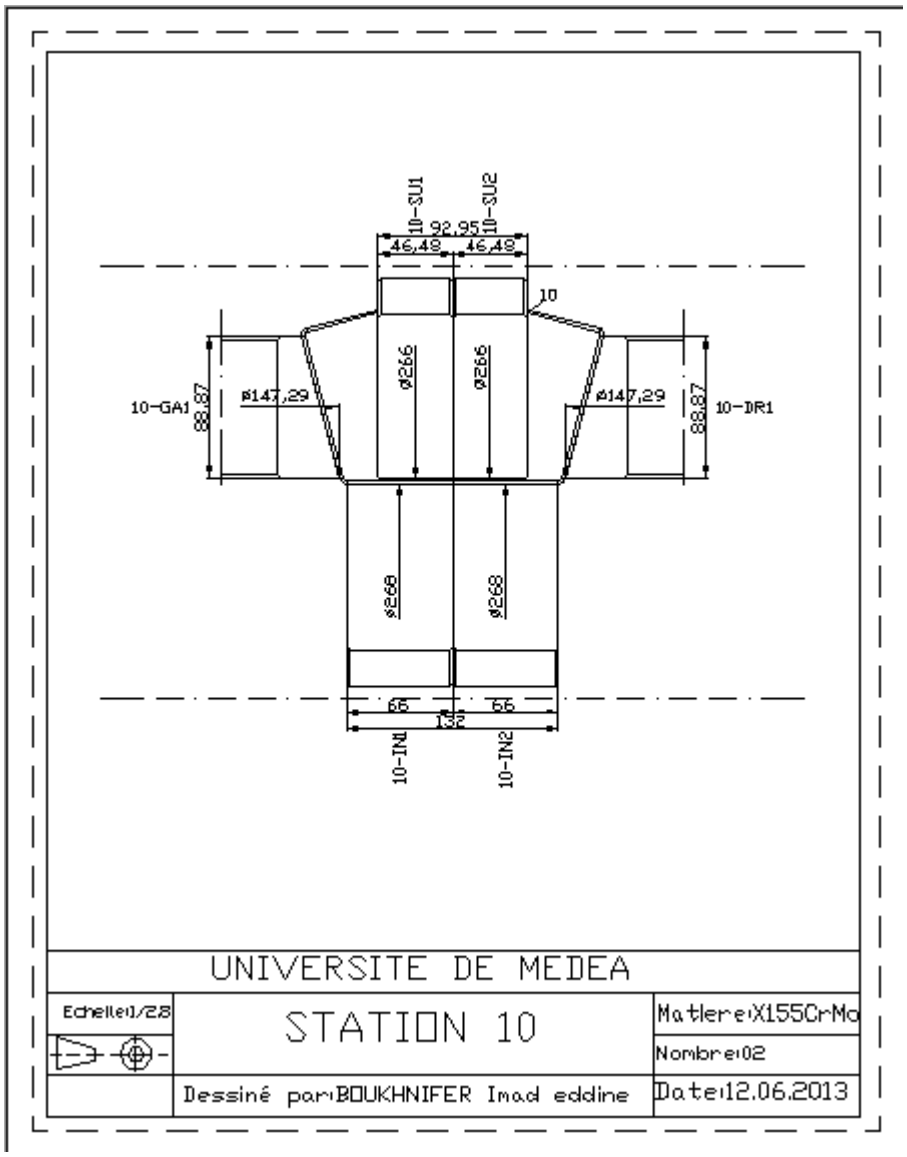

5-SU1
5-SU2
325,42
162,71
162,71
Ø266
Ø266
5
Ø100
Ø100
46
46
5-GA1
5-DR1
Ø268
Ø268
162,71
162,71
325,42
5-IN1
5-IN2
UNIVERSITE DE MEDEA
Echelle:1/2,8
STATION 05
Matiere:X155CrMo
Nombre:02
Dessiné par:BOUKHNIFER Imad eddine
Date:12.06.2013

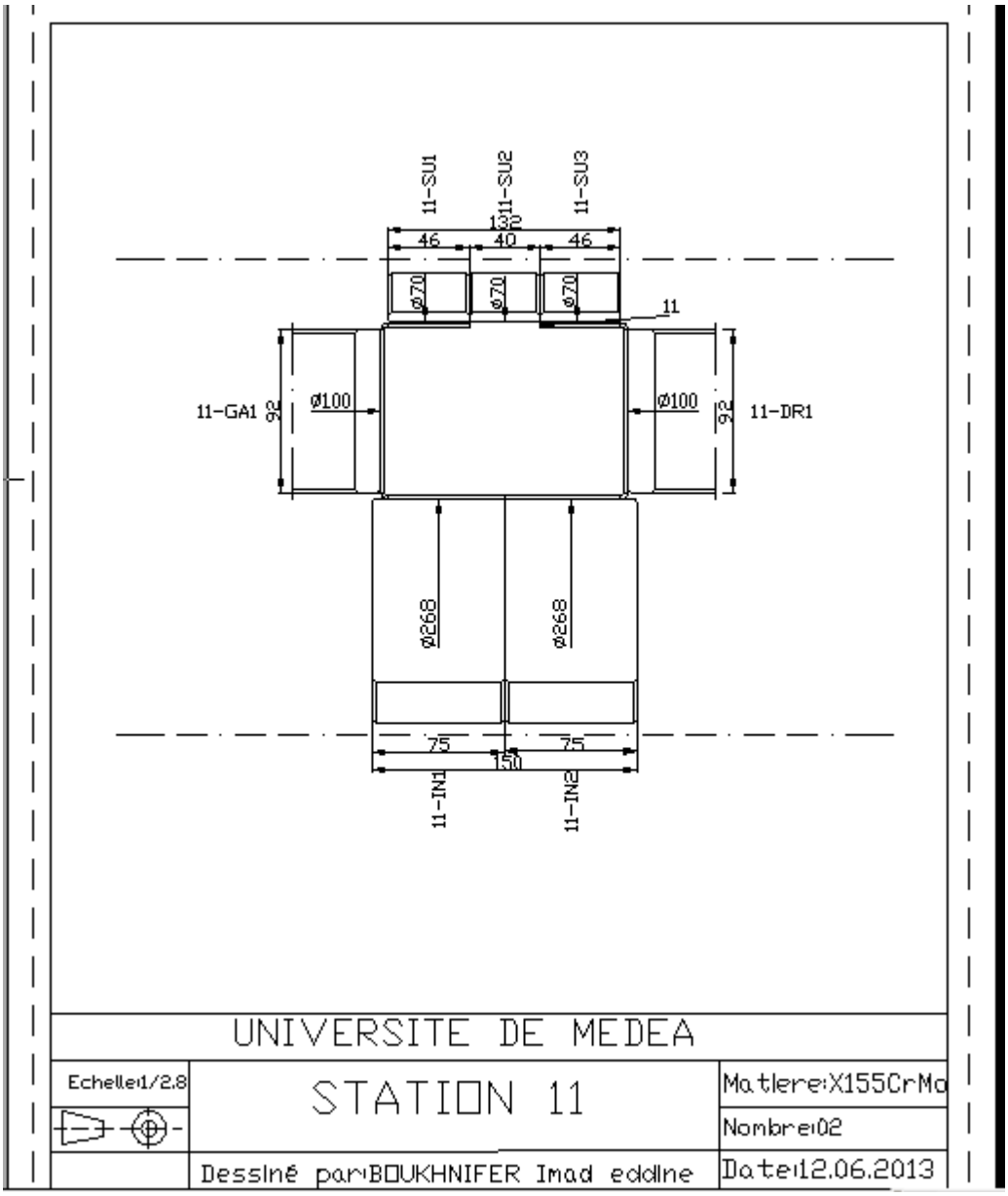

6-SU1
6-SU2
6-SU3
297,55
80,54
136,48
80,54
ø261,91
ø262,03
ø262,03
6
ø318,99
ø268
ø318,99
96,28
137
96,28
329,57
6-IN1
6-IN2
6-IN3
UNIVERSITE DE MEDEA
Echelle1/28
STATION 06
Matiere:X155CrMo
Nombre:02
Dessiné par:BOUKHNIFER Imad eddine
Date:12.06.2013


7-SU1
7-SU2
7-SU3
254,81
59,26
136,29
59,26
7
ø262,59
ø262,59
ø262,59
ø365,52
ø268
ø365,52
86,99
137,36
86,99
311,35
7-IN1
7-IN2
7-IN3
UNIVERSITE DE MEDEA
Echelle:1/2.8
STATION 07
Matiere:X155CrMo
Nombre:02
Dessiné par:BOUKHNIFER Imad eddine
Date:12.06.2013


8-SU1
8-SU2
8-SU3
204,12
33,99
136,14
33,99
8
Ø263,41
Ø263,41
Ø263,41
Ø406,55
Ø406,55
Ø268
72,1
137,8
72,1
282,01
8-IN1
8-IN2
8-IN3
UNIVERSITE DE MEDEA
Echelle:1/2,8
STATION 08
Matiere:X155CrMo
Nombre:02
Dessiné par:BOUKHNIFER Imad eddine
Date:12.06.2013


9-SU1
9-SU2
132
66
66
9
ø266
ø266
9-GA1
79,67
ø191,61
ø191,61
79,67
9-DR1
ø268
ø268
66
66
132
9-IN1
9-IN2
UNIVERSITE DE MEDEA
Echelle:1/2.8
STATION 09
Matiere:X155CrMo
Nombre:02
Dessiné par:BOUKHNIFER Imad eddine
Date:12.06.2013


10-SU1
10-SU2
92,95
46,49
46,49
10
10-GA1
88,87
ø147,29
ø266
ø266
ø147,29
88,87
10-DR1
ø268
ø268
66
66
10-IN1
10-IN2
UNIVERSITE DE MEDEA
Echelle:1/2,8
STATION 10
Matiere:X155CrMo
Nombre:02
Dessiné par:BOUKHNIFER Imad eddine
Date:12.06.2013


11-SU1
11-SU2
11-SU3
46
40
46
Ø70
Ø70
Ø70
11
11-GA1
92
Ø100
Ø100
92
11-DR1
Ø268
Ø268
75
75
50
11-IN1
11-IN2
UNIVERSITE DE MEDEA
Echelle:1/2.8
STATION 11
Matiere:X155CrMo
Nombre:02
Dessiné par:BOUKHNIFER Imad eddine
Date:12.06.2013