



PROJET DE FIN D'ETUDES

Pour l'Obtention du :

Diplôme d'Ingénieur d'Etat
Spécialité : **Conception Mécanique et Innovation**

Étude et conception d'un BEAM ROTATOR

Effectué au sein du STROC INDUSTRIE
Usine HAD SOUALEM



Soutenu le 22 JUIN 2016

Par :

Mr. EL Moustahi Mohammed
Mr. IDRISSE BOUGRINE IMADE

Jury :

- Pr. A. EL HAKIMI (FSTF)
- Pr. A. SEDDOUKI (FSTF)
- Pr. A. TOUACHE (FSTF)
- Mr. T. LBRINI (STROC)

Encadré par :

- Pr. A. EL HAKIMI (FSTF)
- Mr. K. LBRINI (STROC)

Année Universitaire : 2015-2016

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

***Mes chers parents** pour tous les sacrifices qu'ils ont consentis pour que je puisse concrétiser mes rêves, pour tous les encouragements qu'ils m'ont prodigués tout au long de mon parcours; aucune dédicace ne pourrait exprimer mon respect, ma considération et mes profonds sentiments envers eux ;*

Mes frères et sœurs,

Je prie le bon Dieu de les bénir, de veiller sur eux, en espérant qu'ils seront toujours fiers de moi ;

***Mes amis,** symbole de la vrai amitié et fidélité pour leur support et soutien ;*

***Mr. AKKI Mostapha,** pour son aide, ses conseils et ses encouragements tout au long du projet de fin d'étude ;*

***Mon binôme** de projet de fin d'étude, pour sa patience et son esprit d'équipe ;*

***Tout le corps professoral de la FST-Fès,** pour leur générosité et leur soutien qui m'oblige de leur témoigner mon profond respect et ma considération ;*

***Tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin,** je leur dédie ce modeste travail en reconnaissance de leur exhortation et soutien tout le long de ce parcours.*

ELMOUSTAHI MOHAMMED

Dédicaces

A vous mes très chers parents, je dédie ce modeste travail qui est le fruit de vos interminables conseils, assistance et sacrifices en témoignage de ma reconnaissance et dans l'espoir que vous en serez fiers.

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous.

A mon frère, mes chères tantes, mes grandes mères et tout le reste de ma famille pour tant de confiance et d'amour, je n'aurais espéré avoir meilleur que vous comme famille.

A Mr. AKKI Mostapha et particulièrement à Mr. Khalid LABRINI pour leur soutien moral et leurs encouragements tout au long de mon projet de fin d'étude.

A tous mes amis pour leur amour fraternel, leur sympathie et générosité.

A mon binôme, pour sa collaboration à la réalisation de ce travail.

A mes encadrant pour leurs efforts déployés, leur encadrement et la confiance qu'ils m'ont témoignée ainsi qu'au personnel de l'entité bureau de méthodes.

A tous mes professeurs, je leur témoigne ma gratitude et mon profond respect

A tous ceux qui ont contribué d'une manière ou d'une autre à l'élaboration de ce travail.

IDRISSI BOUGRINE IMADE

Remerciements

« Parfois notre lumière s'éteint, puis elle est rallumée par un autre être humain. Chacun de nous doit de sincères remerciements à ceux qui ont ravivé leur flamme. » Albert Schweitzer

Au terme de ce travail, nous tenons à exprimer notre ample estime à toute personne qui, par ses compétences et ses efforts, a contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Nos gratitude et sincères remerciements sont alloués à notre parrain industriel **Mr. Khalid LABRINI**. Ses conseils, ses critiques constructives, ses encouragements et son soutien permanent nous ont aidés à atteindre nos objectifs.

Nous adressons aussi nos remerciements, à **Mr. AKKI Mostapha** pour son encadrement, son aide et sa disponibilité.

Nous sommes aussi reconnaissantes aux agents du bureau Qualité et d'ordonnancement, particulièrement à **Mr. CHIHAB**, **Mr. HSSAINI** pour leur collaboration.

Nous tenons aussi à remercier tout le personnel de STROC INDUSTRIE et tous les membres du bureau d'étude pour leur chaleureux accueil, ils nous ont permis de profiter brillamment de cette formation en termes de savoir technique et relationnel.

Nous tenons à exprimer notre reconnaissance à notre encadrant à la faculté des sciences et techniques, **Mr. EL HAKIMI Abdelhadi** pour son soutien et ses directives pertinentes.

Nous remercions chaleureusement l'intégralité du corps professoral de la **FST FES**, pour leur intégrité et leur dévouement de formation d'ingénieur d'état.

Résumé

La concurrence accrue dans le domaine de la construction métallique (charpente, chaudronnerie...) pousse les entreprises à améliorer leurs moyens de construction et les équipements employés, à acquérir les nouvelles technologies, etc.

Dans le but de rénover sa technologie d'assemblage et particulièrement l'assemblage soudé, l'entreprise STROC Industrie désire réaliser un nouveau dispositif de rotation de profilé et leur positionnement qui lui permettrait d'assurer sa pérennité dans le marché tout en respectant les normes de sécurité ainsi que les délais exigés par les clients.

Le présent projet a pour but de concevoir et dimensionner la dite machine en respectant le cahier des charges client (STROC) et les normes européennes en vigueur.

Ce travail a commencé par une brève description de l'opération de rotation de profilé suivie d'une étude de conception par le biais de l'identification et la spécifications du besoins et l'analyse fonctionnelle, cette dernière a permis d'étudier le besoin avec exactitude et de proposer les différentes solutions technologiques à travers le diagramme FAST, pour en retenir la meilleure architecture de la machine, puis le choix du concept qui va satisfaire le besoin.

Ensuite, une étude du châssis et des éléments qui composent la machine (moteur, vérin, élément de guidage...) a eu lieu dans le but de dimensionner les différentes solutions retenues pour l'élaboration des plans d'exécution de la machine.

Vient à la fin une étude technico-économique afin de déterminer le coût de fabrication pour réaliser la machine et sa comparaison avec celle disponible sur le marché.

Mots clés : structures métalliques, BEAM ROTATOR, analyse des besoins, analyse fonctionnelle, étude économique, étude et dimensionnement.

Abstract

Increased competition in the field of metal construction (carpentry, sheet metal ...) forcing companies to improve their means of construction equipment and employees to acquire new technologies.....

In order to renovate their assembly technology and particularly the welded assembly, the company STROC Industry wants to achieve a new system of rotation and positioning which would allow it to ensure respecting standards security and the time required by customers.

This project aims to design and size the actual machine in the customer specifications (STROC) and European standards.

This work are began with a brief description of how beam rotation followed by a design study through by the identification, specification of needs and functional analysis, it was used to study the need accurately and propose the various technological solutions through the FAST diagram, to select the best architecture engine. Then the choice of concept that will satisfy needs.

Then, we study the frame and elements that compose the machine (motor, jack, guide element ...) in order to size the various solutions adopted for the development of machine execution plans.

At the end, make technical and economic study to determine the cost of manufacturing to achieve machine, also make balance between ours and the available in provider.

Liste des abréviations

STROC: Société de Travaux de Réalisation d'Ouvrages et de Construction ;

Eurocodes: les normes européennes de conception, de dimensionnement et de justification des structures de bâtiment et de génie civil.

Eurocode 3: Eurocode pour le calcul des structures en acier.

FAST: Function Analysis System Technique.

AV: Analyse de la Valeur.

FEM: Fédération Européenne de la Manutention.

ELU: Etats Limites Ultimes.

QFD: House of Quality-la maison de la qualité.

CAO: Conception assisté par ordinateur.

PFS: Principe fondamental de la statique.

CDCF: Cahier de charges Fonctionnel.

ASME: The American Society of Mechanical Engineers.

DAO: Dessin Assisté par Ordinateur.

Liste des figures

Figure 1: Logo STROC Industrie.....	3
Figure 2: Organigramme STROC Industrie	5
Figure 3: Citerne pour le compte de L'OCP (chaudronnerie).....	6
Figure 4: Réalisation en charpente pour le stockage des engrais (client OCP).....	7
Figure 5:Tuyauterie du gaz.....	8
Figure 6: Assemblage à la zone GHANTOUR (OCP).....	8
Figure 7: Plan de l'usine STROC industrie, avec les points de rassemblement	10
Figure 8: Machine oxycoupeuse STROC.....	12
Figure 9: Plieuse hydraulique STROC.....	13
Figure 10: Rouleuse DAVI à 3 rouleaux.....	13
Figure 11: Machine VORTMAN V630 et V505-160m	14
Figure 12:Zone assemblage blanc	15
Figure 13: Assemblage de citerne et assemblage de chaudronnerie	15
Figure 14: Opération de soudage.....	18
Figure 15: Vue sur la table 1 de l'atelier.....	20
Figure 16: Schéma représentant les fonctionnalités de STROC BEAM ROTATOR	22
Figure 17: Représentation graphique de position possible d'un IPE par BEAM ROTATTOR	23
Figure 18: Diagramme des affinités	26
Figure 19:Diagramme de KANO	27
Figure 20: Etapes de l'analyse fonctionnelle	29
Figure 21: Diagramme des affinités à travers l'examen de l'environnement.....	31
Figure 22: Ordonnancement des fonctions.....	33
Figure 23: Vue isométrique du BEAM ROTATOR.....	45
Figure 24: Modèle 2D de la première partie de BEAM ROTATOR	48
Figure 25:Modélisation 2D de la deuxième partie de BEAM ROTATOR	52
Figure 26: Modélisation 2D de l'effort tranchant pour le renversement.....	52
Figure 27: Modélisation 2D du moment fléchissant pour le renversement.....	53
Figure 28: Modèle 2D 3D sur SOLIDWORKS	54
Figure 29: Vérification des contraintes par SOLIDWORKS	55
Figure 30: Vérification de la flèche par SOLIDWORKS.....	55
Figure 31: Représentation du boulonnage du bras haut	59
Figure 32: Représentation du boulonnage en 3D	60
Figure 33: Représentation en 2D du boulonnage de fixation bas.....	62
Figure 34: Représentation en 3D du boulonnage de fixation bas.....	62
Figure 35: Abaque de choix de la tige du vérin.....	63
Figure 36: Représentation du vérin en 3D SOLIDWORKS.....	64
Figure 37: Transmission de puissance.....	64
Figure 38: Représentation graphique du clavetage	68
Figure 39: Représentation en modèle 2D de l'arbre et des paliers	70
Figure 40: Types des roulements.....	70
Figure 41: Palier avec roulement à billes adéquat en 3D	73
Figure 42: Choix de la lubrification du roulement	74
Figure 43: Formes de nylon disponible	74
Figure 44: Partie inférieure de STROC BEAM ROTATOR.....	81

Figure 45: Modélisation du vérin et ses platines en rotule	82
Figure 46: Les tôles sur lesquelles est monté le nylon 101 assemble par soudage	82
Figure 47: Modélisation de la fixation du platine vérin	83
Figure 48: Vue éclaté de la partie inférieure de BEAM ROTATOR	83
Figure 49: BEAM ROTATOR sans bras haut	84
Figure 50: Vue éclaté du bras haut	84
Figure 51: Vue éclatée du moteur et sa chaîne de transmission de puissance	85
Figure 52: Bras de BEAM ROTATOR vue assemblée et éclatée	86
Figure 53: BEAM ROTATOR	87
Figure 54: Visualisation des lignes de construction sur Tekla structure	88
Figure 55: Potentiel inférieure de BEAM ROTATOR	89
Figure 56: Potentiel supérieure de BEAM ROTATOR	89
Figure 57: Nomenclature des pièces en fichier TEKLA	91
Figure 58: Les sangles	94
Figure 59: Schéma moteur de rotation de profilés	95
Figure 60: Photo réelle du motoréducteur	96
Figure 61: Extrait de devis fastrotator 8tonnes	98
Figure 62: Disposition des STROC BEAM ROTATOR à l'atelier de soudure	100

Liste des tableaux

Tableau 1: Inventaire journalier des opérations de rotation	19
Tableau 2: Temps total d'inactivités en opération de rotation de profilés	19
Tableau 3: Matrice des fonctions	29
Tableau 4: Tableau SAFE	32
Tableau 5: Tableau CRI NI FLEX	34
Tableau 6: Cahier de charges fonctionnelles.....	36
Tableau 7: La maison de la qualité.....	40
Tableau 8: Tableau de la matrice morphologique	41
Tableau 9:La première matrice de PUGH.....	43
Tableau 10: La deuxième table de PUGH.....	44
Tableau 11: La dernière matrice de PUGH	44
Tableau 12:Les caractéristiques des profils carres de memotech.....	50
Tableau 13: Caractéristiques du profilés UAP MEMOTECH	51
Tableau 14: Choix de boulons.....	57
Tableau 15: Choix de l'entraxe entre boulons	58
Tableau 16: Choix du boulon	59
Tableau 17:Vérification du boulonnage	61
Tableau 18: Choix du cylindre du vérin.....	63
Tableau 19: Les valeurs de charge Cm et Ct.....	67
Tableau 20:Table des caractéristiques de la clavette.....	69
Tableau 21: Tableau des caractéristiques des roulements à billes.....	71
Tableau 22: Gamme des roulements à billes.....	72
Tableau 23: Durés de vie du roulement choisi	73
Tableau 24: Coefficient de frottement.....	75
Tableau 25: Standardisation de la plaque du nylon.....	76
Tableau 26: Types de soudures	77
Tableau 27 : Tableau de calcul des soudures 1	77
Tableau 28: Tableau De Calcul Des Soudures 2	78
Tableau 29: Calcule du poids de BEAM ROTATOR.....	91
Tableau 30: Devis hydro-vérin.....	92
Tableau 31: Palier à roulement à billes	93
Tableau 32: Tableau des dimensions du motoréducteur	95
Tableau 33: Inventaire des éléments de BEAM ROTATOR et leur prix.....	97
Tableau 34:Comparaison entre STROC BEAM ROTATOR et les produits de référence.....	98
Tableau 35: Comparaison entre la méthode employé et BeamRotator en termes de temps.....	99

Sommaire

Remerciements	2
Résumé	3
Abstract	4
Liste des abréviations	5
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction Générale.....	1
Partie 1 :	2
Présentation générale du projet	2
CHAPITRE 1 :	2
Présentation de l'Organisme d'accueil.....	2
I – Présentation de l'organisme d'accueil	3
1. Forme Juridique.....	3
2. Historique	3
3. Organigramme.....	5
4. Activités	5
4.1 Ingénierie études.....	5
4.2 Génie civil	6
4.3 Chaudronnerie.....	6
4.4 Charpente métallique.....	7
4.5 Tuyauterie	7
4.6 Montage	8
5. Système de maintenance et qualité.....	9
5.1 La maintenance	9
5.2 La qualité	9
6. Ateliers de production.....	9
6.1 Zone débitage tôle.....	11
6.2 Zone débitage profilé	13
6.3 Zone d'assemblage blanc (inox) :	15
6.4 Zone d'assemblage :	15
CHAPITRE 2 :	16
Problématique.....	16
Partie 2:Identification du besoin et recherche du concept.....	24
CHAPITRE 1 :	24

Définition et planification du produit.....	24
1. Recherche des données	25
1.1 Questionnaire.....	25
1.2 Recherche des données.....	25
2. Classification des besoins.....	26
2.1 Diagrammes des affinités.....	26
2.2 Diagramme de KANO.....	27
3. Interagissant sur le produit	28
4. Le projet exprimé en fonction.....	29
5. Rechercher les fonctions	30
5.1 Recherche intuitive.....	30
5.2 L'examen de l'environnement.....	30
5.3 Sequential Analysis of Functional Element (SAFE).....	32
5.4 Examen des efforts et des mouvements.....	32
5.5 L'analyse d'un produit de référence	33
5.6 L'utilisation des normes	33
6. Ordonner les fonctions.....	33
7. Les caractérisations des fonctions.....	33
8. Hiérarchisation des fonctions.....	35
CHAPITRE 2 :	38
Étude conceptuelle	38
IX. La maison de la qualité QFD	39
X. Génération des concepts	41
9. La matrice morphologique	41
XI. Méthode de convergence de PUGH.....	42
XII. Synthèse	45
Partie 3 : Etude et conception de STROC BEAM ROTATOR et sa modélisation.....	46
CHAPITRE 1 :	46
Etude et dimensionnement	46
XIII. Introduction.....	47
XIV. Dimensionnement de la Structure de BEAM ROTATOR :	47
10. Dimensionnement de la 1 ^{ère} partie	47
11. Dimensionnement de la 2 ^{ème} partie.....	52
12. Vérifications des calculs par SOLIDWORKS	54
XV. Assemblages boulonnés	56

13. Caractéristique de l'assemblage boulonné au point d'intersection entre le bras haut et le carré creux (300*300)	56
14. Assemblage de la première partie avec la deuxième.....	61
XVI. Dimensionnement du vérin :	62
XVII.Choix du moteur :	64
15. Définition de la charge et le couple de la charge	65
16. Choix du réducteur	65
17. Calcul du couple moteur	65
XVIII. Système en rotation	65
18. Dimensionnement de l'arbre.....	65
19. Dimensionnement de la clavette	68
20. Choix du roulement.....	70
XIX. Guidage en translation	74
XX. Assemblage soudé :.....	76
CHAPITRE 2 :	80
Modélisation Solidworks et TEKLA structure.....	80
XXI. Modélisation solidworks.....	81
XXII.Modélisation Tekla structures.....	88
Partie 4 :	90
Evaluation économique du projet.....	90
XXIII. Estimation de la valeur BEAMROTATORSTROC	91
21. Structure métallique.....	91
22. Installations hydraulique :	91
23. Guidage en rotation	92
24. Choix de sangle :.....	93
25. Moteur et réducteur :	94
26. Guidage en glissière.....	96
XXIV. Comparaison entre STROC BEAM ROTATOR et les produit similaires :	97
XXV. Gains direct et indirect en cas d'implantation de BEAM ROTATOR	99
Conclusion et perspectives	101
Bibliographie.....	103



Introduction Générale

La charpente métallique et la chaudronnerie sont des modes de construction de tout premier ordre, qui se développent de plus en plus dans le monde, surtout pour les grands projets industriels et commerciaux tels que les grandes usines, les hangars à stockages et les supermarchés.

L'utilisation de l'acier s'est imposée d'abord par ses qualités de résistance, ses avantages esthétiques, mais également parce qu'il permet l'édification des ossatures dont les sections exigües occupaient moins de place que les autres matériaux employés jusqu'à maintenant, du coup l'ensemble de la charpente métallique acquiert un aspect de légèreté, tout en permettant de donner aux pièces porteuses des portées inusitées.

Cette importance croissante que revêt la construction métallique a été toujours impulsée et soutenue par un travail de recherche et de normalisation sur l'acier, et qui a abouti à une meilleure maîtrise du calcul et de l'exécution.

Le soudage à l'arc électrique est un procédé de soudage par fusion où la chaleur est produite par un arc électrique, formé entre le métal de base et l'électrode, ou entre deux ou plusieurs électrodes. C'est une opération indispensable dans la chaîne de production de « STROC Industrie », ce procédé d'assemblage fréquent dans la construction métallique permet l'attachement des profilés des charpentes métalliques. C'est pour cette raison qu'une machine mettant en rotation les profilés destinés au soudage est nécessaire.

Dans le cadre de la nouvelle usine de « STROC Industrie » de charpente métallique, la direction industrielle désire moderniser ses moyens de production et faciliter la manutention des pièces au sein des différentes sections de l'usine.

C'est dans ce sens que le projet "BEAM ROTATOR" a été lancé afin de renforcer la production.

Le présent projet consiste à concevoir une machine permettant de faire tourner les profilés métalliques en vue de les préparer au soudage. La méthodologie suivie dans ce travail est :

- Identification du besoin et choix du concept ;
- Etude de la structure métallique ;
- Choix de différent équipement ;
- Analyse et simulation numérique ;
- Evaluation technico-économique.



Partie 1 :

Présentation générale du projet

CHAPITRE 1 :

Présentation de l'Organisme d'accueil

Dans le présent chapitre, nous donnerons un aperçu sur l'organisme d'accueil, en l'occurrence STROC Industrie et en particulier le site de Had Soualem où nous avons effectué notre stage.

I – Présentation de l'organisme d'accueil

1. Forme Juridique

STROC Industrie est une société anonyme marocaine qui a été créée en 1989 en tant que société de maintenance d'unités industrielles, opérant initialement à la raffinerie de la SAMIR à Mohammedia.



Figure 1: Logo STROC Industrie

2. Historique

STROC fut créée en 1989 en tant que société de maintenance d'unités industrielles, opérant initialement à la raffinerie de la SAMIR à Mohammedia.

En 1993, l'entreprise se dote d'un atelier de fabrication à Had Soualem afin de s'assurer de la maîtrise de la qualité des équipements de chaudronnerie qu'elle délivre à ses clients, ainsi que la maîtrise des délais.

En 1995, STROC intègre toutes les compétences nécessaires pour offrir des prestations clés en mains à ses clients, telles que les études et le génie civil.

En 1997, STROC concrétise cette démarche en livrant au groupe AKWA, un dépôt de stockage d'hydrocarbures clés en main, PETROLOG.

En 2002, afin d'améliorer sa capacité de production, STROC a automatisé sa ligne de fabrication de charpente métallique, dont elle n'a cessé d'augmenter la capacité.

En 2004, STROC démontre ses capacités de contractant général en achevant les travaux de construction du tribunal de 1ère instance d'Ain Sebaa à Casablanca. Lors de la même année, STROC est certifiée ISO 9001 v 2000.

Deux ans plus tard, STROC livre clés en main, ce qui est alors le plus gros dépôt de stockage d'hydrocarbures du Maroc, pour le compte de SEJ d'une capacité de 105 000 m³.

Depuis lors, STROC ne cessera de confirmer ses capacités à réaliser toute sorte de constructions clés en mains.



En 2009, STROC livre en 7 mois, tous corps d'état, une unité de production de sièges automobiles d'une superficie de 28 000 m², pour le compte de l'équipementier FAURECIA à Kenitra.

Cette même année STROC voit récompensée sa démarche qualité en étant à nouveau certifiée ISO 9001 v 2008.

Sur cette même lancée STROC a obtenu, en 2010, la certification OHSAS 18001 pour le respect de la sécurité et de l'hygiène, ainsi que le label CGEM qui est une reconnaissance solennelle du respect par les entreprises du Maroc de leur engagement à observer, défendre et promouvoir les principes universels de responsabilité sociale et développement durable dans leurs activités économiques, leurs relations sociales et plus généralement, dans leur contribution à la création de valeur.

En 2010, STROC a de nouveau démontré sa capacité à construire d'importantes installations clés en main, en effectuant l'étude, la fourniture, le montage et la mise en service d'un circuit de manutention des produits en vrac et des convoyeurs séparateurs pour le compte de l'OCP à la laverie MEA à Khouribga.

3. Organigramme

STROC Industrie est organisée en quatre directions opérationnelles comme l'indique l'organigramme de la figure 2 ci-dessous :

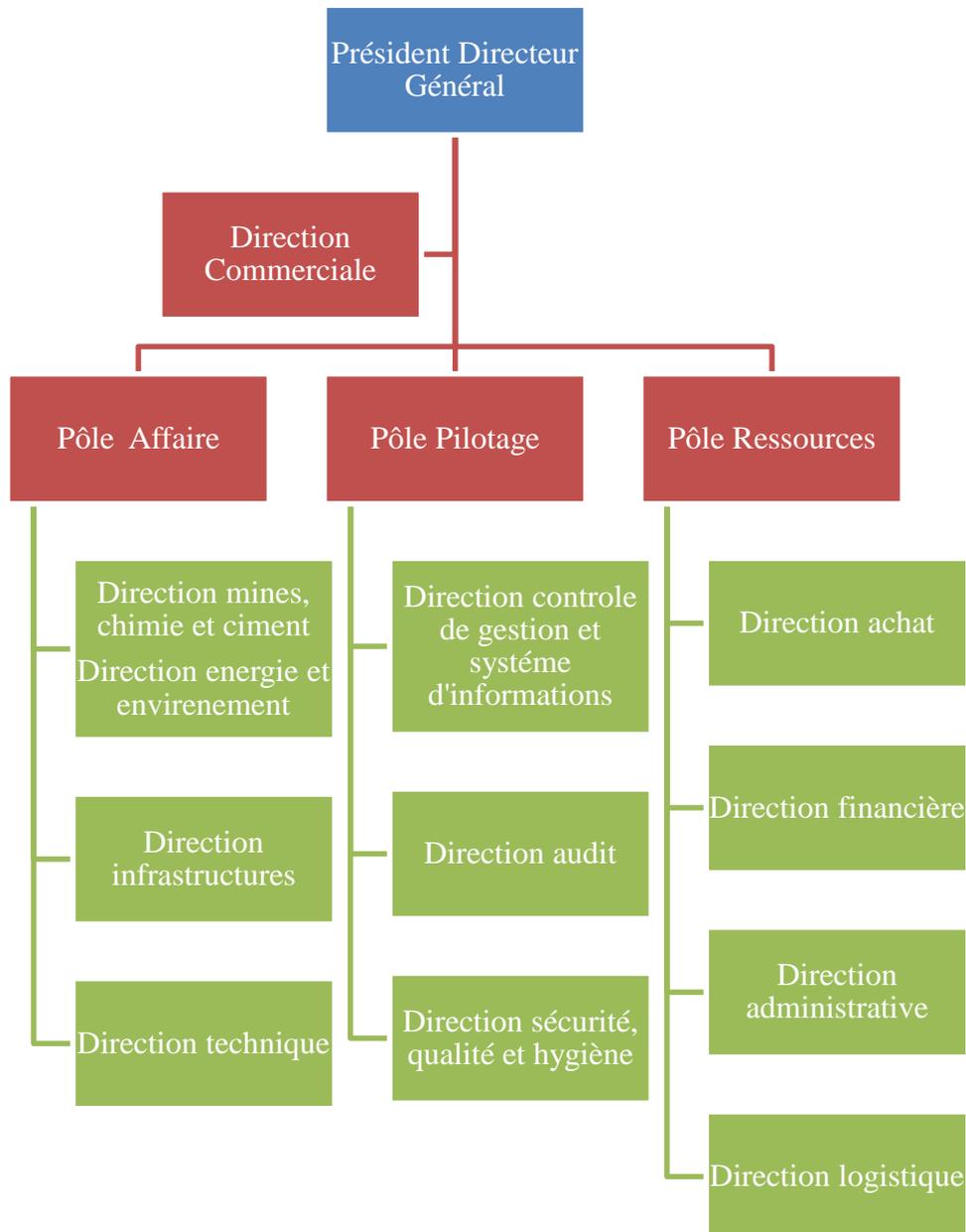


Figure 2: Organigramme STROC Industrie

4. Activités

4.1 Ingénierie études

Etudier, concevoir et faire réaliser en tout ou partie un ouvrage ou un élément industriel, telle est la mission de la division ingénierie études de STROC Industrie.

Que ce soit en ingénierie de base ou de détail, ou encore en suivi et coordination de projets, les ingénieurs sont à l'écoute et au service des projets afin de les amener du rêve à la réalité.

4.2 Génie civil

Fort de son expérience et conscient de la nécessité d'engager les compétences techniques marocaines afin de servir les grands travaux d'équipement de notre pays, le groupe de cadres qui constitue la division génie civil de STROC Industrie, s'engage à mettre en œuvre son savoir-faire au service de la réalisation de projets en génie civil faisant appel à une grande technicité tels que les ouvrages d'art, les silos, les réservoirs, les bâtiments industriels...

4.3 Chaudronnerie

STROC Industrie jouit d'un savoir-faire reconnu par la profession dans le domaine de la chaudronnerie, l'installation de procédés industriels, la fabrication de machines spéciales, la rénovation et la modernisation du matériel industriel d'usine. Ainsi, STROC assure la conception et la fabrication de tout type d'équipement chaudronné tels que :

- Les réservoirs atmosphériques ;
- Les trémies, cyclones, goulottes, malaxeurs ;
- Gaines et cheminées ;
- Appareils sous pression ;
- Appareils et structures suivant plans ; etc.

La figure suivante présente l'un des produits fabriqués par STROC Industrie.



Figure 3: Citerne pour le compte de L'OCP (chaudronnerie)

4.4 Charpente métallique

Acteur incontournable de la fabrication et assemblage de charpente métallique au Maroc, STROC réalise :

- ✓ Les structures en acier de tout type de bâtiments (hangars, unités industrielles, etc...) ;
- ✓ Les structures supportant tout type d'équipements (racks de pipeline, équipements industriels lourds) ;
- ✓ Les bâtiments en hauteur ;
- ✓ Les ouvrages d'art ;
- ✓ Convoyeurs.

STROC Industrie a automatisé sa ligne de fabrication de Charpente en 2002, portant sa capacité mensuelle à 1000 Tonnes.

La figure 4 représente l'un des réalisations en charpente (Stockage des engrais)



Figure 4: Réalisation en charpente pour le stockage des engrais (client OCP)

4.5 Tuyauterie

STROC Industrie exerce les métiers de la tuyauterie depuis sa création en 1989 qui nous a permis de développer un savoir-faire unique important s'appuyant sur :

- ✓ Une préparation minutieuse du travail ;
- ✓ Une application rigoureuse de procédures dédiées ;
- ✓ Une forte capacité de mobilisation.

STROC est reconnue au Maroc pour ces installations de tuyauterie industrielle :

- ✓ Pipeline ;
- ✓ Tuyauterie en acier carbone ;
- ✓ Tuyauterie en acier inoxydable.

Ci joint une figure de tuyauterie du gaz fabriqué par STROC.



Figure 5: Tuyauterie du gaz

4.6 Montage

STROC industrie dispose d'un savoir-faire reconnu dans les activités de Montage, métier qui est exercé depuis la création de l'entreprise.

- Personnel spécialisé à la compétence reconnue ;
- Exécution de prestations variées ;
- Expertise pour la réalisation d'opérations délicates et complexes.

Ainsi, STROC assure le montage de tout type d'équipements (pompes, réducteurs, moteurs) et d'unités d'industrielles (broyage, lavage, flottation, filtration, concentration) figure 6.



Figure 6: Assemblage à la zone GHANTOUR (OCP)



5. Système de maintenance et qualité

5.1 La maintenance

Les contrats de maintenance constituent le développement naturel d'une entreprise qui monte des usines. STROC Industrie a été créée en tant qu'entreprise de maintenance industrielle en 1989 puis est progressivement devenue une entreprise générale, sans jamais se départir de son savoir-faire en maintenance. Tout cela fait de STROC un acteur incontournable de la maintenance industrielle au Maroc.

Elle propose ainsi des contrats de maintenance de proximité avec des interventions ponctuelles dans les meilleurs délais ou bien des contrats de maintenance préventive qui permettent de gérer efficacement le cycle de vie des installations industrielles.

5.2 La qualité

Engagée depuis plusieurs années dans une démarche de progrès et d'amélioration continue, élément moteur de son système de management, et mettant les exigences de ses clients au centre de ses préoccupations, STROC Industrie est certifiée depuis 2004 par la certification **ISO 9001v 2000** pour l'ensemble des activités de l'entreprise (Etudes, Fabrication & Montage sur site).

Après plusieurs audits de suivis réussis avec zéro écart; STROC Industrie a été en 2009 doublement certifiée **ISO 9001 version 2008** par Bureau Veritas International et le Ministère de l'Industrie et des Nouvelles Technologies du royaume du Maroc.

Dans le cadre de l'amélioration continue de sa démarche qualité, STROC Industrie met tout en œuvre pour satisfaire les nouvelles exigences du marché, développer sa culture client, améliorer la réactivité de son personnel et fidéliser ses clients en développant avec eux des relations basées sur la confiance réciproque avec une volonté permanente du management de s'inscrire dans la voie de l'excellence et d'améliorer en continu les performances de STROC Industrie.

6. Ateliers de production

Situés dans la zone industrielle de Had Soualem à 25 km de Casablanca, Superficie : 30 000 m² dont 14 000 m² couverts, 7 000 m² pour stockage matière première et 9 000 m² pour l'assemblage.

Avec un intéressant moyen humain :

- ✓ Main d'œuvre directe : 280 personnes
- ✓ Encadrement : 20 personnes

Voici la figure 7 représente le plan de l'usine STROC et les points de rassemblement.

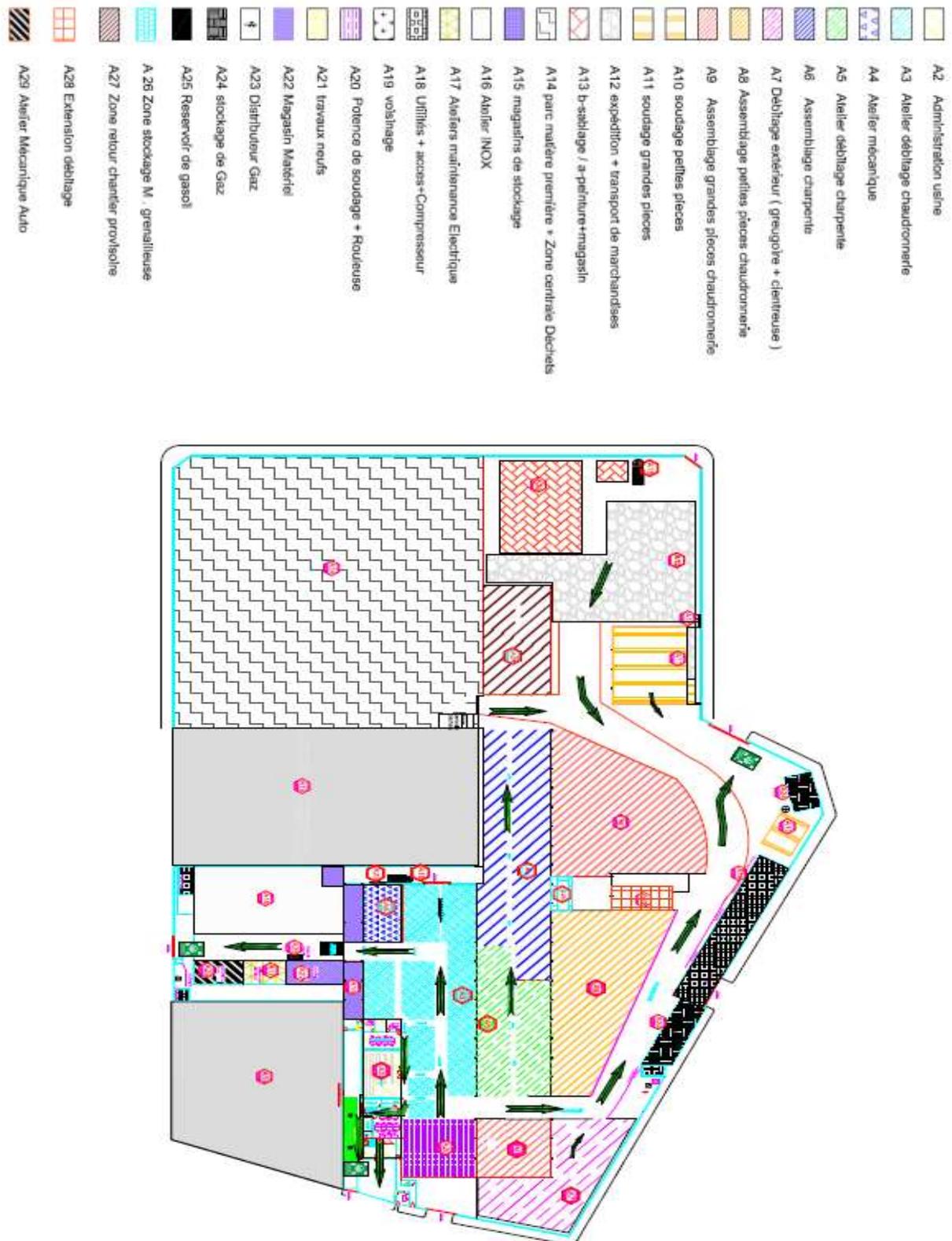


Figure 7: Plan de l'usine STROC industrie, avec les points de rassemblement



Tout nouveau projet peut être :

- **Charpentes métalliques** : l'ossature des poteaux et des poutres qui reprennent le poids de la couverture ainsi que les charges verticales (c'est-à-dire les forces verticales s'exerçant sur la charpente) telles que les surcharges climatiques (neige).
- **Chaudronneries** : activités de mise en œuvre des métaux en feuilles, des tubes et des profilés entrant dans la réalisation d'équipements destinés aux secteurs des industries de l'alimentaire, de la chimie, de l'énergie (pétrole, gaz, nucléaire), de l'aéronautique et de l'espace.
- **Pièces ou structures spéciaux** : des fois des clients vient avec des pièces ou des projets spéciaux. Par exemple des positionneurs de panneau solaires pour projet NOUR.
- ...

Tout nouveau projet peut être étudié et conçu par le bureau d'études STROC ou autres bureaux d'études. Ces derniers délivrent des plans d'ensembles et de définition, que le bureau de méthode STROC à l'usine lui fournit les gammes d'usinages et d'assemblages, programmes pour les machines...appelés dossier d'affaire X.

Le dossier d'affaire X de tout projet c'est le bureau d'ordonnancement, qui l'introduit dans le planning de l'usine et assure la matière première, le personnel, la disponibilité des machines...

Le bureau de suivi assure le suivi de la fabrication du projet à l'usine ainsi que son assemblage sur le chantier sur tous les termes transport durée de réalisation...c'est l'interface entre l'usine et le chantier.

Le bureau d'approvisionnement et logistique qui assure l'approvisionnement en matière première et la logistique de transport et les grues et les engins.

Bureau qualité s'assure de la conformité de la production et de sa certification par les bureaux de contrôles suivant les exigences et les normes internationaux ou des exigences clients.

L'usine est répartie en plusieurs zones et atelier. Toute unité à l'usine est composée d'une équipe et un chef équipe, en voilà les plus importantes :

6.1 Zone débitage tôle

La zone débitage tôle assure le débitage des tôles pour chaudronnerie et charpentes métallique.

Cette zone est compose de :

- ✓ **4 machines oxycoupeuses (B40E)** : qui ont une table qui admet des tôles de 3000-6000 mm et une épaisseur de 200 mm (voir la figure 8).



Figure 8: Machine oxycoupeuse STROC

- ✓ **Une scie numérique** : Cette machine de grande dimension est composée d'une double table et d'une double broche à la puissance renforcée (18 KW). Idéale pour tous les formats de matériaux, elle est rapide. Grâce à un changeur d'outil et un double canal d'entrée, elle offre fiabilité et répétabilité de fonctionnement en toute confiance.
- ✓ **3 perceuses numériques** : pour la réalisation de perçage sur les tôles.
- ✓ **2 plieuses hydrauliques** : Sur ces machines, le pliage est obtenu par l'action d'un poinçon qui descend sur une tôle reposant sur un vé. La force énergétique du poinçon entraîne la tôle au fond du vé ce qui façonne le pliage (voir la figure 9).



Figure 9: Plieuse hydraulique STROC

- ✓ **3 rouleuses (DAVI) à trois rouleaux** qui admettent des épaisseurs jusqu'à 35 mm et une largeur de 3200 mm (voir la figure 10).



Figure 10: Rouleuse DAVI à 3 rouleaux

6.2 Zone débitage profilé

- ✓ **2 machines VORTMAN (V505-160M)**: font le repérage et le perçage des barres et des poteaux ainsi que le débitage des corners.

- ✓ **2 machines VORTMAN(V630)** caractérisées par :
- Trois têtes de perçage indépendantes.
 - Système d'alimentation de mesure à rouleaux.
 - Système chariot d'alimentation et de mesure.
 - Marquage des contours par fraisage
 - Marquage face inférieure
 - Mesure de la largeur des profilés
 - Changeurs d'outils automatiques.

Voici ci-dessous les 2 machines VORTMAN.



Figure 11: Machine VORTMAN V630 et V505-160m

6.3 Zone d'assemblage blanc (inox) :

On ne fait que l'assemblage de l'inox sur cette zones (figure 12).



Figure 12: Zone assemblage blanc

6.4 Zone d'assemblage :

Le procédé d'assemblage utilisé généralement en usine est le soudage et au chantier le boulonage. On a 3 zones de soudages : charpentes, chaudronnerie et assemblages des grandes citernes et réservoirs.

La figure ci-dessous représente l'assemblage de citerne et l'assemblage de chaudronnerie:



Figure 13: Assemblage de citerne et assemblage de chaudronnerie



CHAPITRE 2 :

Problématique

STROC est une entité dynamique qui confronte un ensemble de problématiques. Sur ce chapitre, nous allons expliciter le problème que nous a confié cette entité sur ses différents angles.



I. Introduction

Le contexte du projet est le domaine des charpentes métalliques. Par charpentes métalliques nous entendons d'une façon générale toutes les constructions de génie civil dont la charpente (c'est-à-dire l'ossature, le squelette) est faite de matériaux métalliques.

Il s'agit du domaine d'activité de la société STROC Industrie qui s'intéresse surtout aux bâtiments à usage industriels, aussi bien au Maroc qu'à l'étranger.

La croissance économique du Maroc ces dernières années est principalement en relation avec le développement de l'industrie. Un peu partout, de nouvelles entreprises se créent. Et l'une des premières étapes de la création de ces entreprises est la construction des divers bâtiments (bureaux, ateliers, magasins, ...) nécessaires à leur fonctionnement.

C'est à ce niveau que la société STROC Industrie fait son entrée en jeu. Mais ce marché certes disponible n'est toutefois pas gratuit ni facile à conquérir, et STROC doit impérativement répondre à trois critères principaux de compétitivité qui sont :

- ❖ Fournir un produit de qualité ;
- ❖ Fournir un produit à un coût qui convainque le client ;
- ❖ Respecter les délais.

Le critère de qualité est satisfait grâce à la compétence, la rigueur et le professionnalisme mis en évidence sur chaque projet par le personnel de STROC.

Le critère de coût et le respect des délais sont moins facilement satisfaits, et STROC y répond seulement au prix de gros efforts.

Pour réaliser toute construction métallique l'opération du soudage est cruciale, par ce qu'elle influe sur la qualité d'assemblage des profilés surtout lorsqu'un client exige un contrôle de soudure, donc la manipulation des profilés destinés au soudage est critique dans le processus de l'assemblage dans l'atelier de STROC Industrie et également dans les chantiers ; c'est dans ce contexte que le projet **"BEAM ROTATOR"** a été lancé afin de renforcer la production de charpente métallique.



II. Problématique

STROC dispose d'un atelier de soudage des éléments livrables, mais il ne dispose pas d'un équipement qui lui permet la rotation des entités à souder ni même un pont roulant qui permet le levage des éléments. Chose qui est primordiale car un composant peut nécessiter une rotation de 90-180- 270 degrés pour effectuer les soudures nécessaires.

Pour réaliser les opérations de soudage ou d'assemblage (figure 14) des profilés destinés aux constructions métalliques, les opérateurs de l'atelier de fabrication de "STROC Industrie" utilisent des engins de manutention afin de répondre aux différentes caractéristiques du besoin lié au soudage des différents côtés de la pièce en question, cependant la disponibilité de ces engins et leur mise en service à l'atelier d'assemblage demeure difficile.

La technique utilisée, en ce moment, à l'entité de soudage repose sur l'effort humain ou sur la manutention pour retourner les éléments, chose qui :

- Demande un grand temps de préparation, de logistique et d'exécution ;
- Engage des coûts directs et indirects importants ;
- Cause la mobilisation de la manutention et l'arrêt d'autre équipe de travail ;
- Endommage des éléments soudés par le choc ;
- Infecte l'environnement et la sécurité de travail...

C'est dans cette perspective que STROC Industrie souhaite améliorer les performances de ses moyens de production et faciliter la manutention des pièces au sein des différentes sections dans le cadre de la nouvelle usine de charpente métallique. C'est dans ce sens que le projet "**BEAM ROTATOR**" a été lancé afin de renforcer la production de charpente métallique.

Dans ce cadre vient s'inscrire notre projet intitulé : "**Conception d'une machine "BEAM ROTATOR" permettant de retourner les profilés destinés au soudage**".



Figure 14: Opération de soudage

III. Estimation des coûts directs du procédé existant

On a effectué un ensemble de fois la comptabilisation du temps nécessaire pour la logistique et l'arrivage de la manutention, le temps nécessaire pour effectuer la rotation du profilé, le nombre de soudeurs en arrêt...

Pour cela nous avons pris une journée type pour dresser les tableaux suivants:

Le premier tableau (tableau 1) représente l'inventaire journalier des opérations de rotation de profilé avec leurs temps de préparation et d'exécution :

Tableau 1: Inventaire journalier des opérations de rotation

Numéro de l'opération	Temps de préparation (min)	Temps d'exécution (min)
1	1.5	5
2	2	3
3	5	1
4	4	4
5	2.5	2
6	6	6
7	4	7
Total	21	28
Temps total		49 min

Le deuxième tableau (tableau 2) illustre le temps total d'inactivité en opération de rotation des profilés.

Tableau 2: Temps total d'inactivités en opération de rotation de profilés

Numéro de l'opération	Nombre de soudeurs immobilisés	Temps d'inactivité (min)	Temps totale d'inactivité pour toute opération (min)
1	2	5	10
2	4	3	12
3	2	1	2
4	4	4	16
5	5	2	10
6	2	6	12
7	3	7	21
Temps total			83 min

À travers les deux tableaux, on a les coûts directs entraînés par le procédés de rotation de profilés employé en STROC qui dépasse 2h de travail chose qui affecte la production et le rendement de l'atelier de soudage.



Les coûts indirects sont plus complexes à calculer (disponible à la partie technico-économique).

Ils dépendent :

- Des coûts de la manutention (carburant, chauffeur, arrêt de travaux en autres atelier ...).
- Généralement la manœuvre de la manutention entraîne l'arrêt des autres équipes de soudeurs.
- Endommagement des fois de pièces au quels on assure la rotation par le choc.
- ...

Le temps est théoriquement de 132 min, qui est égal à 13.2 h par semaines. Ce qui correspond approximativement à 198 DH par semaines, qui est égal à 10 296 DH annuellement comme coût direct.

Voici la table 1 de soudage dans l'atelier de soudage (voir figure 15)



Figure 15: Vue sur la table 1 de l'atelier

IV. Consistance du projet

Dans le cadre de la nouvelle usine de STROC Industrie de charpente métallique, la direction industrielle désire moderniser ses moyens de production et faciliter la manutention des pièces au sein des différentes sections.

C'est dans ce sens que le projet "**BEAM ROTATOR**" a été lancé afin de renforcer la production de charpente métallique. Le présent projet consiste à concevoir une machine permettant



de tourner les profilés métalliques en vue de les préparer au soudage. La méthodologie suivie dans ce travail est la suivante :

- ✓ Etude RDM de la structure métallique ;
- ✓ Conception des plans techniques du BEAM ROTATOR ainsi que ses différentes pièces ;
- ✓ Analyse et simulation numérique.

V. Objectif du projet

Le projet consiste à réaliser un retournage des profilés, pour la manutention des pièces longues au sein de la zone d'assemblage-Soudage ce qui va nous permettre de :

- ✓ Augmenter la productivité ;
- ✓ Accroître l'autonomie des soudeurs ;
- ✓ Réduire la consommation d'énergie ;
- ✓ Augmenter la sécurité de travail ;
- ✓ Poste de travail indépendant;
- ✓ Grande souplesse et simplicité de travail ;
- ✓ Gagner sur le coût d'investissement du BEAM ROTATOR ;
- ✓ Minimiser le temps de réalisation et le coût de revient.



VI. Principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement de STROC BEAM ROTATOR peut être schématisé dans la figure suivante:

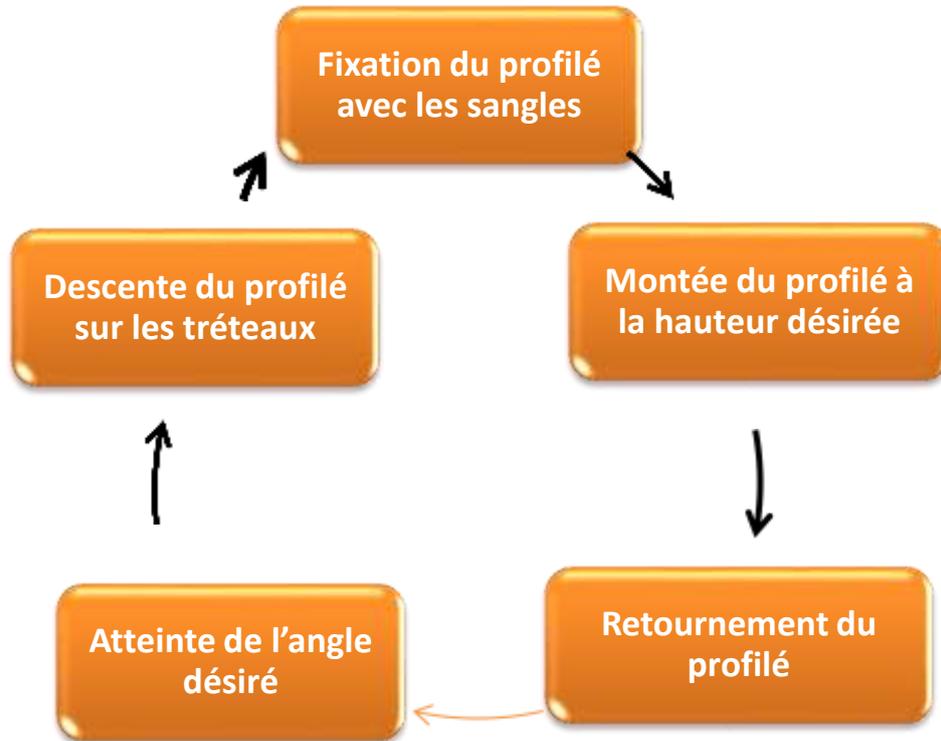


Figure 16: Schéma représentant les fonctionnalités de STROC BEAM ROTATOR

La machine “**BEAM ROTATOR**” permet de retourner les profilés de la charpente métallique en 5 étapes fonctionnelles, elle permet en premier lieu de fixer le profilé avec les sangles puis la montée de la pièce jusqu’à la hauteur désirée, après la phase importante du fonctionnement commence c’est le retournement du profilé jusqu’à l’angle désiré et enfin on arrive à la descente du profilé et son positionnement sur les tréteaux.

VII. Avantages clés de “BEAM ROTATOR”

Equipement d’assistance qui permet de retourner facilement et rapidement un profilé ou des éléments longs et encombrants pour des opérations de soudage ou d’assemblage.

Il offre une solution autonome, sans nécessiter l’utilisation du pont roulant pour retourner sur 360° les structures ou profilés sur lesquels travaille un opérateur, permettant un accès aisé à toute zone de travail, sans avoir à utiliser une position de travail incorrecte ou dangereuse.

Voici une représentation des positions possibles d'un IPE par BEAM ROTATOR

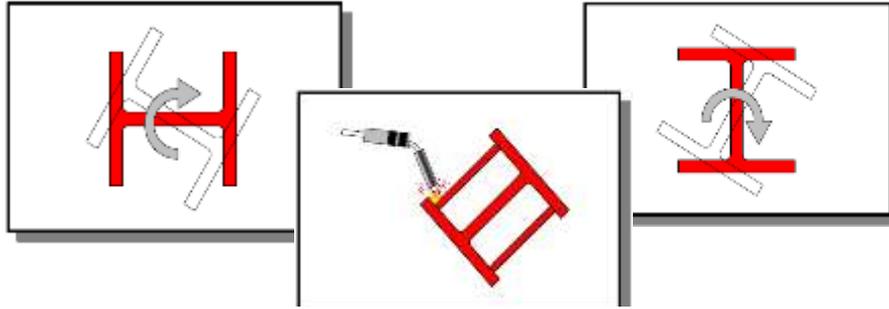


Figure 17: Représentation graphique de position possible d'un IPE par BEAM ROTATOR

VIII. Composition du ‘BEAM ROTATOR’

→ Une potence maîtresse:

Groupe hydraulique, motoréducteur et vérins :

- ❖ Commande électrique (monté, descente, rotation droite, rotation gauche) ;
- ❖ Flexible hydraulique pour commander le vérin de la potence esclave ;
- ❖ Moteur embarqué pour la rotation de la courroie (2 sens de rotation, rotation continue sur 360°).

→ Une Potence esclave:

- ❖ Vérin piloté par le groupe hydraulique et la commande électrique de la potence maître ;
- ❖ Roue libre pour la rotation du profilé ;
- ❖ Tréteaux ajustables en hauteur ;
- ❖ Jeu des courroies ;
- ❖ Distance maxi entre les 2 potences : 12 m.



Partie 2: Identification du besoin et recherche du concept.

CHAPITRE 1 :

Définition et planification du produit

Dans cette partie on va faire l'analyse de besoins et l'analyse fonctionnelle.

Cela consiste à rechercher les besoins de STROC en termes d'atelier de soudages, de le définir, l'analyser, le caractériser ... et faire la recherche des solutions potentielles pour la problématique, pour pouvoir déduire la solution stratégiques.



I. Voix du client

Nous avons plusieurs méthodes pour connaître les problématiques de l'atelier de soudage, les besoins des soudeurs et les exigences du client.

1. Recherche des données

1.1 Questionnaire

Afin de déterminer les besoins du client, nous avons établi un questionnaire qui vise les gens de l'atelier de soudage, ainsi que les différents services de STROC. Voir ANNEXE 1

1.2 Recherche des données

On a aussi utilisé l'archivage sur le thème de BEAM ROTATOR, sous forme d'un ensemble de données sur internet qui traitent les nouvelles actualités et l'avancement ainsi que des questions visées à des responsables d'autres atelier, pour pouvoir dégager les attentes des clients de notre projet:

- S'installer facilement
- Contrôler depuis une interface
- Éliminer le danger
- Résister aux changements des éléments à soudés
- Supporter des poids de plus de 5 tonnes
- Prévoir des longueurs allant à 12 m
- Rapidité d'exécution.
- Robuste
- Plan de maintenance et d'entretien de STROC BEAM ROTATOR
- Coût de revient moins important que BEAM ROTATOR sur le marché
- Répond aux besoins spécifiques de STROC
- Possibilité de le déplacer
- Stabilité
- Assurer la sécurité du personnel et de l'équipement
- Endurance
- Adapter à tous les profilés avec ses éléments.

2. Classification des besoins

2.1 Diagrammes des affinités

La figure suivante représente le diagramme des affinités pour le BEAM ROTATOR:

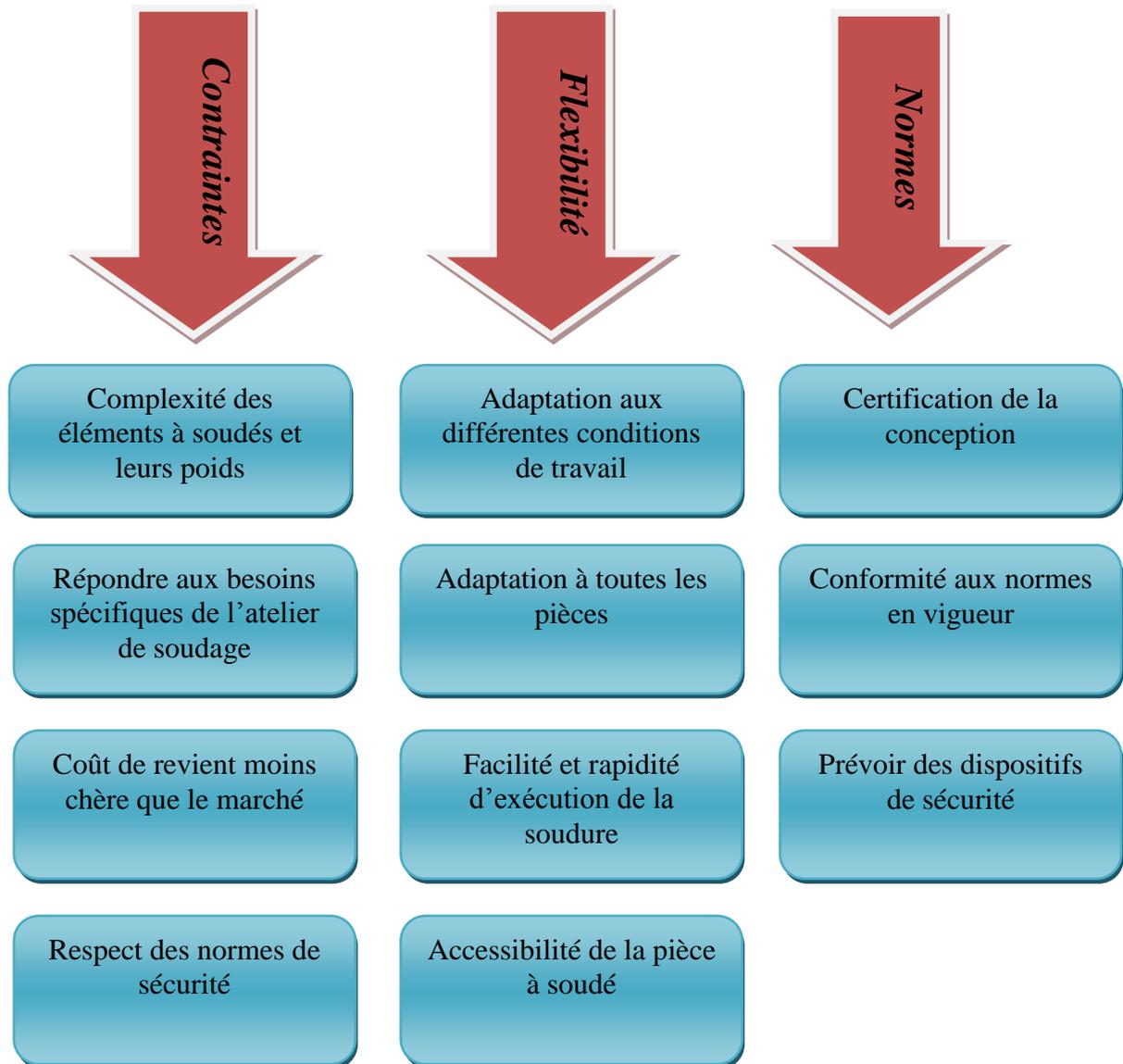


Figure 18: Diagramme des affinités

2.2 Diagramme de KANO

Dans le diagramme de Kano (figure 19), on veut classer les attentes en trois catégories principales :

- Les fonctions de base (obligatoires)
- Les fonctions de performances (proportionnelles)
- Les fonctions d'excitations (attractives)

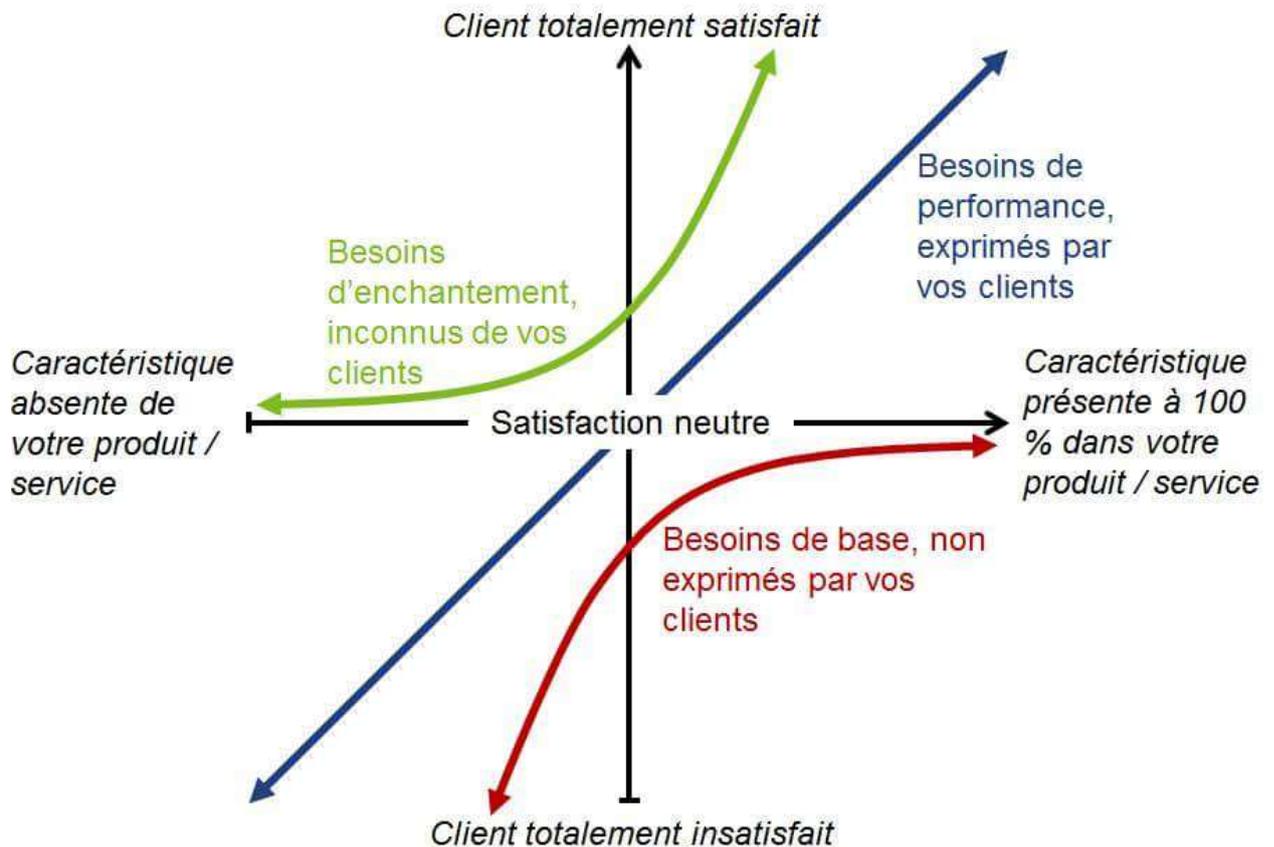


Figure 19: Diagramme de KANO

Fonctions de base :

- Rotation des profilés
- Grande capacités (poids et longueur...)
- Résister aux changements du climat (Pluie, Chaleur, Vent...)
- S'installer facilement
- Eviter les problèmes d'échauffement

Fonctions de performance :

- Pouvoir élever et déplacer verticalement et horizontalement.
- Rendre le travail plus facile.
- Robustesse



- Rapidité d'exécution

Fonctions d'excitation :

- Conception et fabrication STROC
- Dispositif de sécurité
- Coût de revient moins cher
- Répondre aux besoins spécifiques de l'atelier de soudage STROC

II. Analyse des besoins

Dans le cadre de la définition du produit et planification, grâce à l'analyse du besoin, on a pu connaître les besoins de notre client et aussi d'autres clients potentiels. Lors de cette analyse on exprimera les besoins en termes de fonctions et non en termes de solutions.

1. Interagissant sur le produit

En premier lieu on définit :

- **Le client (ou le demandeur) :**

L'atelier de soudage de STROC qui ne dispose pas d'un BEAM ROTATOR.

L'atelier d'assemblage est un potentiel client, car il nécessite aussi la fonction du retournement des profilés.

On peut le commercialiser s'il peut répondre au besoin d'une autre société.

- **L'utilisateur :**

Le client est lui-même l'utilisateur.

- **Un produit :**

STROC BEAM ROTATOR assure la rotation des profilés dans l'atelier de soudage, pour permettre l'accessibilité du soudeur aux différents éléments de soudage. Pour gagner en termes de temps, qualité de soudure, plus de sécurité

2. Le projet exprimé en fonction

La matrice des fonctions permet d'exprimer le projet en termes de fonction principale, complémentaire et contrainte. Voici ci-joint la matrice des fonctions de notre projet (tableau 3).

Tableau 3: Matrice des fonctions

NATURE IMPORTANCE	FONCTION DE SERVICE		FONCTION TECHNIQUE
	FONCTION D'USAGE	FONCTION D'ESTIME	
FONCTION PRINCIPALE	Retourner les profilés	Contrôler le BEAMROTATOR avec une interface	Facilité et rapidité
FONCTION COMPLEMENTAIRE	Grande pièce, forme compliqué, longue...	Adaptation au profilé	Donner une meilleure précision
FONCTION CONTRAINTE	Plus de sécurité	Etre esthétique	S'installer facilement

III. Analyse fonctionnelle

Pour bien mener à l'analyse fonctionnelle, on passe par une méthodologie structurée de 5 étapes (figure 20). Pour chacune, on utilise des méthodes pour exprimer correctement les fonctions dans le but de satisfaire le besoin du client avec un produit convenable.

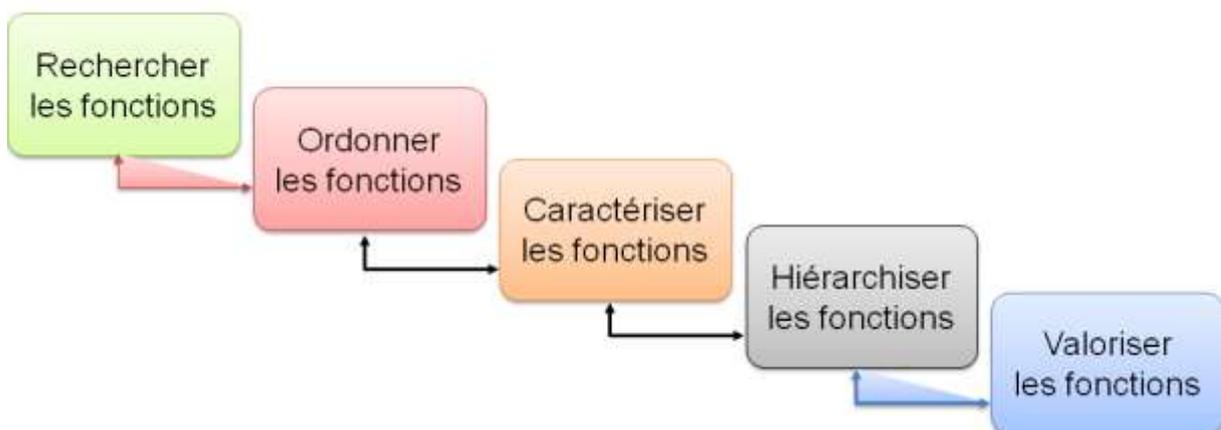


Figure 20: Etapes de l'analyse fonctionnelle



1. Rechercher les fonctions

Le but de cette première étape est de dégager le maximum de fonctions. Pour le faire on suit les méthodes suivantes :

- Recherche intuitive ;
- Examen de l'environnement ;
- Sequential Analysis Functional Element (SAFE);
- Examen des efforts ;
- Analyse d'un produit de référence ;
- Utilisation des normes et des règlements.

1.1 Recherche intuitive

Le jeudi 03 mars 2016, on a fait un brainstorming de l'atelier de soudage avec le responsable de et deux soudeurs.

IDRISSI Imade était l'animateur. Mohammed ELMOUSTAHI était le reporteur et tous les membres de l'équipe étaient présents. Ces derniers ont respecté l'ensemble des règles de la méthode.

On a pu dégager un ensemble d'idées, après la discussion on a gardé :

- Grande capacité.
- Endurance et robustesse.
- La mobilité du BEAM ROTATOR.
- Travaille en toute sécurité.
- Facile à utiliser
- Eviter l'encombrement des lieux.
- Etre agréable à voir

1.2 L'examen de l'environnement

FP1 : Assurer la rotation des profilés en toute sécurité et rapidité.

FC1 : Les soudeurs.

FC2 : Ne pas encombrer l'atelier.

FC3 : Assurer la sécurité et le respect des consignes et des normes en vigueur

FC4 : Adaptation aux différents profilés.

FC5 : Qualité d'exécution.

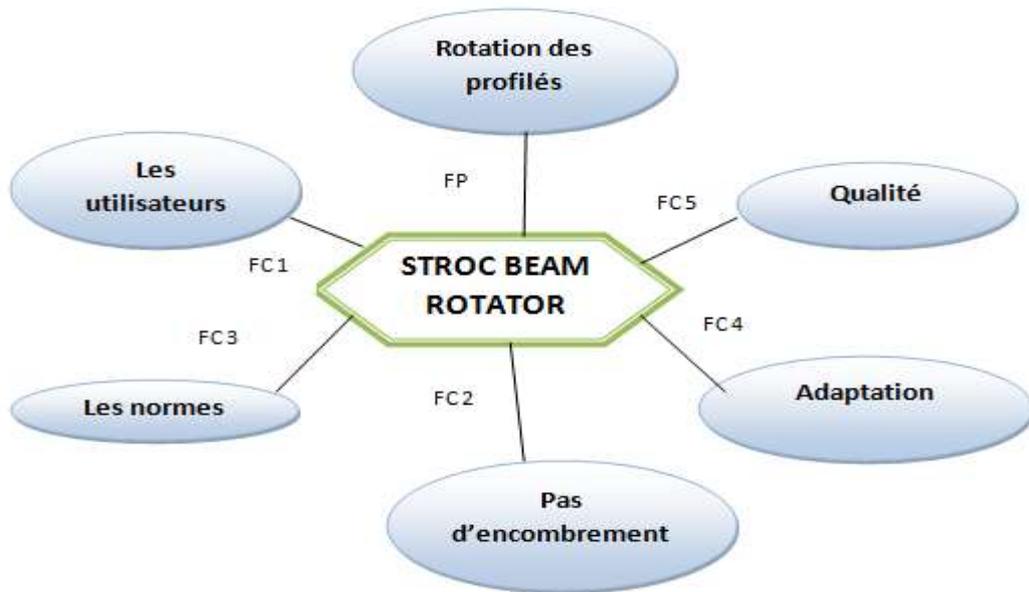


Figure 21: Diagramme des affinités à travers l'examen de l'environnement

- **Rotation des profilés :**
Complexité des profilés, leurs poids, leur longueur et les éléments soudés dessus.
- **Normes et lois :**
Bon dimensionnement pour assurer l'endurance et le respect des normes de sécurité.
- **Qualité :**
Permettre aux utilisateurs l'accessibilité pour effectuer les soudures en qualité et en rapidité.
- **Personne proche :**
Client, employés et soudeurs.
- **Esthétique :**
Ne pas bousiller la décoration et détruire la convivialité du lieu.
- **Utilisation :**
Facile, accessible en tous temps et en tous lieux.
Interface de contrôle facile à utiliser.
Facilité et rapidité d'exécutions du travail.
- **Pas d'encombrement :**
L'atelier de soudage a une superficie qui est minime, on doit s'adapter à ce dernier pour que le BEAMROTATOR n'encombre pas les lieux et permet une accessibilité aux autres tables de soudures déjà installées.



1.3 Sequential Analysis of Functional Element (SAFE)

Ci-joint le tableau SAFE pour le BEAM ROTATOR

Tableau 4: Tableau SAFE

Operations ayant relation avec l'utilisation	Fonctions relevées
Rotation des profilés	Interface facile, rapide et robuste
Adaptation à l'atelier	Utiliser les éléments déjà disponibles à l'atelier pour minimiser les coûts
Sécurité de travail	Prévoir un ensemble de dispositifs pour assurer la sécurité des lieux
Répondre au besoin de l'atelier de soudure	Produit spécifique à STROC et ses besoins, en optimisant le prix

1.4 Examen des efforts et des mouvements

Grandes pièces qui sont lourdes

- ✓ Prévoir une grande capacité pour BEAMROTATOR.

Adaptation aux différentes longueurs de profilés

- ✓ Prévoir une technique qui permet l'admission de différentes longueurs.

En cas de panne d'un des organes du système

- ✓ Facile à maintenir
- ✓ Accessible
- ✓ Notification d'un mauvais fonctionnement
- ✓ Plan de maintenance et d'entretien

On peut avoir une personne analphabète ou faible en outils informatique

- ✓ Facilité l'interface
- ✓ Manuel d'utilisation
- ✓ Formation sur l'exploitation

1.5 L'analyse d'un produit de référence

Avec notre produit, on a franchis la barre des fonctions de base ou de performance. Donc sur le marché y a différent produit qui assure la même fonction, différents constructeurs et différentes technologies.

A partir des produits disponibles, on peut en dégager :

- Commande des profilés en hauteur
- Rotation des profilés par fourchette.
- Rotation des profilés par les chaines.
- Asservissement totale de la position.
- Commande assez simple
- Table de soudage asservis.
- Coût d'achat assez conséquent.
- Installation facile

1.6 L'utilisation des normes

- Bon dimensionnement avec les facteurs de sécurité et les normes en vigueur.
- Exécuter en rapidité et fiabilité.
- Définir un plan de maintenance.
- Sécurité et durabilité de l'équipement.
- Concevoir un équipement qui peut se fabriqué sur l'atelier STROC

2. Ordonner les fonctions

La figure suivante représente l'ordonnancement des fonctions de BEAM ROTATOR

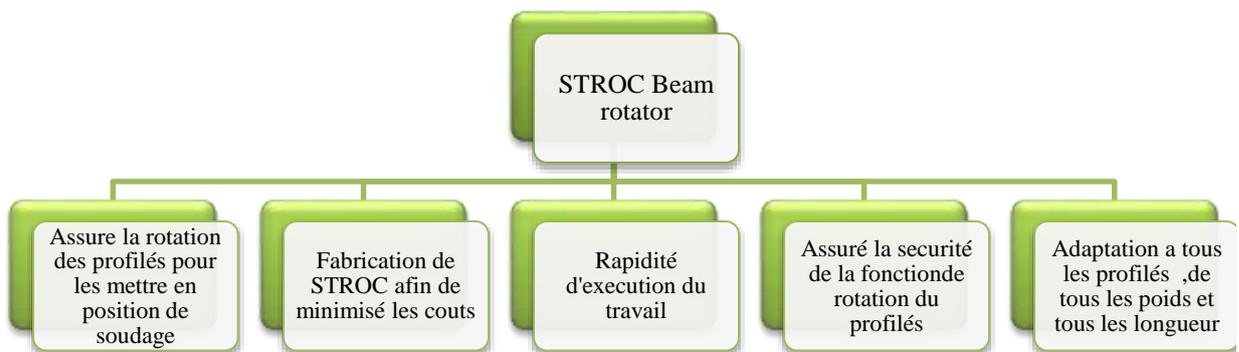


Figure 22: Ordonnancement des fonctions



Cette méthode permet de connaître les caractéristiques suivantes:

- Critères d'appréciation
- Niveaux
- Flexibilités

Le tableau ci-dessous représente le tableau CRI NI FLEX

Tableau 5: Tableau CRI NI FLEX

Fonction	Critères d'appréciations	Niveau	Flexibilité
Assurer la rotation des profilés pour les mettre en position le soudage	- Assurer la rotation sous l'angle	- 0 à 360 degré	- Assurer 3 rotations de 90 degré
Fabrication de STROC afin de minimiser les couts	- Réponse totale aux besoins spécifiques STROC	- Cout	- 0 dh
Rapidité d'exécution du travail	- Pas de temps de réglage - Pas implémentation d'autre service - Facile a exploité	- Réglage simple - Fixation rapide	- 1 min
Assurer la sécurité de la fonction de rotation des profilés	- Evité le contact humain	- Eliminer les risques - Pas d'accident	- 0 accidents
Adaptation à tous les profilés, de tous les poids et toutes les longueurs	- Le poids - La longueur - La complexité de l'élément à souder.	- Jusqu'à 10 tonnes - 12 mètres - Formes complexes avec plusieurs éléments déçues	- 4 tonnes - 4 mètres



3. Hierarchisation des fonctions

Pour STROC BEAM ROTATOR, on peut distinguer ;

Fonctions de base :

- Rotation des profilés;
- Grande capacités (poids et longueur...);
- Résister aux changements du climat (Pluie, Chaleur, Vent...);
- S'installer Facilement;
- Eviter les problèmes d'échauffement.

Fonctions de performance :

- Pouvoir élever et déplacer verticalement et horizontalement;
- Rendre le travail plus facile;
- Robustesse ;
- Rapidité d'exécution.

Fonctions d'excitation :

- Conception et fabrication STROC;
- Dispositif de sécurité;
- Coût de revient moins cher;
- Répondre aux besoins spécifiques de l'atelier soudage STROC.

IV. Cahier de charges fonctionnelles

On va dresser notre CDCF dans le tableau suivant:

Tableau 6: Cahier de charges fonctionnelles

	Fonctions	K	critères	niveau	flexibilité	F
1	Rotation des profilés	5	Angle	360 degré	90 degré	1
2	Grandes capacités	5	Poids longueur	10 tonnes 12 mètres	4 tonnes 4 mètres	1
3	Résister aux changements du climat	2	Pluie, Chaleur, Vent...	0 s	2 s	1
4	S'installer facilement	4	Rapidité	30s	10 s	2
5	Eviter les problèmes d'échauffement	2	Echauffement surcharge	0	0	2
6	Pouvoir élever et déplacer verticalement et horizontalement.	4	déplacement	1 mètre	20 cm	1
7	Rendre le travail plus facile	4	Facilité	Par tous les soudeurs	-	2
8	Robustesse	3	Durée de vie	10 ans	-	1
9	Rapidité d'exécution	5	Temps	20s	10s	1
10	Conception et fabrication STROC	5	Nouveau produit	----	-----	1
12	Dispositif de sécurité	5	Dispositif de sécurité	Pas d'accident Pas de détérioration	0	1
13	Coût de revient moins cher	5	Prix	ouvert	ouvert	1
14	Répondre aux besoins spécifiques de l'atelier soudage STROC	5	besoins	---	----	1

**Avec:**

K : 0 : utile; 1 : nécessaire; 2 : important; 3 : très important; 5 : vital.

F : 0 : impératif; 1 : peu négociable; 2 : négociable; 3 : très négociable.

V. Conclusion

A ce stade-là, la phase de la définition du produit et sa planification est réalisée en passant par deux étapes :

Phase de définition du projet :

Nous avons déterminé la voix du client par l'intermédiaire d'un questionnaire, ensuite nous avons reformulé les fonctions acquises et nous avons ajouté d'autres fonctions par un brainstorming.

Nous avons classifié les fonctions à l'aide du diagramme des affinités et le diagramme de Kano.

Phase de planification du projet :

Nous avons appliqué l'analyse fonctionnelle, en faisant toutes les étapes sauf celle de valoriser les fonctions.

Nous avons abouti à un cahier de charge fonctionnel.

Par la suite, nous allons entamer la partie « étude conceptuelle ».



CHAPITRE 2 :

Étude conceptuelle

Dans ce chapitre nous allons, après la divergence et la convergence, vers les concepts correspondant aux fonctions désirées et choisies dans le chapitre précédent.



I. La maison de la qualité QFD

Une fois que nos fonctions soient définies on doit sélectionner les critères suivants lesquels on va évaluer les fonctions de notre produit (tableau 7).

II. Génération des concepts

1. La matrice morphologique

Le tableau ci-dessous représente la matrice morphologique de BEAM ROTATOR qui va permettre de rechercher les différents concepts potentiels.

Tableau 8: Tableau de la matrice morphologique

Fonctions	Solutions proposées		
Rotations des profilés	Rotation de 90 degré 	Rotation totale de la pièce 	
Grande capacité (poids-longueur)	1 tonne 	30 tonnes 	
Pouvoir, élever et déplacer verticalement et horizontalement.	Une table qui se déplace.	Deux bras l'un face à l'autre avec un déplacement assuré par l'enroulement du moteur	Les bras du BEAM ROTATOR assurent le déplacement grâce aux vérins hydrauliques

<p>Rendre le travail plus facile – Accessibilité</p>	<p>2 bras en face</p> 	<p>1 bras</p> 	<p>Fourchette</p> 
<p>Conception et réalisation STROC</p>	<p>Ça va être un produit STROC qui répond à ses besoins spécifiques</p>		
<p>Rapidité d'exécution</p>	<p>10 s</p> 	<p>10 s-20s</p> 	<p>20s-30s</p> 

III. Méthode de convergence de PUGH

L'intérêt de la matrice de PUGH est de converger vers le meilleur concept, en partant d'une matrice à une autre en éliminant les concepts faibles et en améliorant les plus forts.

Concept 1 :

➔ BEAM ROTATOR avec deux bras l'un en face de l'autre assurant la rotation et le déplacement par les mêmes chaînes.



Concept 2 :

→ Une chaîne fermée qui assure la rotation et la table qui se déplace permettant le positionnement.

Concept 3 :

→ BEAM ROTATOR qui assure la rotation des profilés sans déplacement vertical, avec une fixation en tambour enroulé.

Concept 4 :

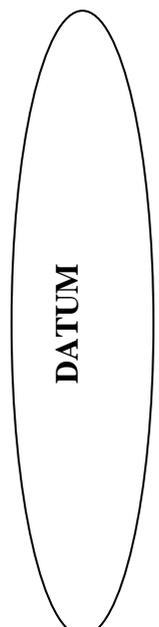
→ La fourchette qui a un déplacement vertical (15 cm) qu'on monte sur la table déjà existante.

Concept 5 :

→ Un BEAM ROTATOR à un bras avec un déplacement vertical (via une installation hydraulique)

Le tableau 9 représente la première matrice de PUGH:

Tableau 9: La première matrice de PUGH

Critère	Concept 1	Concept 2	Concept 3	Concept 4	Concept 5
Cout	+	+	-		+
Possibilité et facilité de fabrication	+	+	=		=
Facilité de travail	=	+	-		+
Poids	-	=	-		+
Vitesse	-	+	=		=
Longueur	=	+	=		=
robustesse	-	=	-		-
La somme des « + »	2	5	0		3
La somme des « - »	3	0	4		1
La somme des « = »	2	2	3		3

Il se voit que les concepts 3 et 1 sont les plus faibles d'où leur élimination. Il convient de choisir un nouveau concept comme DATUM c'est le concept le plus fort : **le concept 2**

Notre deuxième matrice de PUGH est la suivante:

Tableau 10: La deuxième table de PUGH

Critère	Concept 1	Concept 2	Concept3	Concept4	Concept 5
Cout	+	+			+
Possibilité et facilité de fabrication		+			=
Facilité de travail	=	+	-		+
Poids	-	=	-		+
Vitesse	-	+	=		=
Longueur	=	+			=
robustesse		=			-
La somme des « + »		5	0		3
La somme des «- »		0	4		1
La somme des « = »		2			3

Finalement, la dernière matrice de PUGH qui nous permet de choisir le concept final est la suivante (voir tableau 11).

Tableau 11: La dernière matrice de PUGH

Critère	Concept 1	Concept2	Concept 5
Cout	=		+
Facilité de fabrication	+		=
Facilité d'assemblage	=		+
Poids	-		+
Vitesse	=		+
Energie	=		+
Solidité	-		+
La somme des « + »	2		3
La somme des «- »	3		1
La somme des « = »	2		3



Conclusion

D'après la matrice de PUGH, on peut conclure que le meilleur concept à choisir est le **concept 5.**

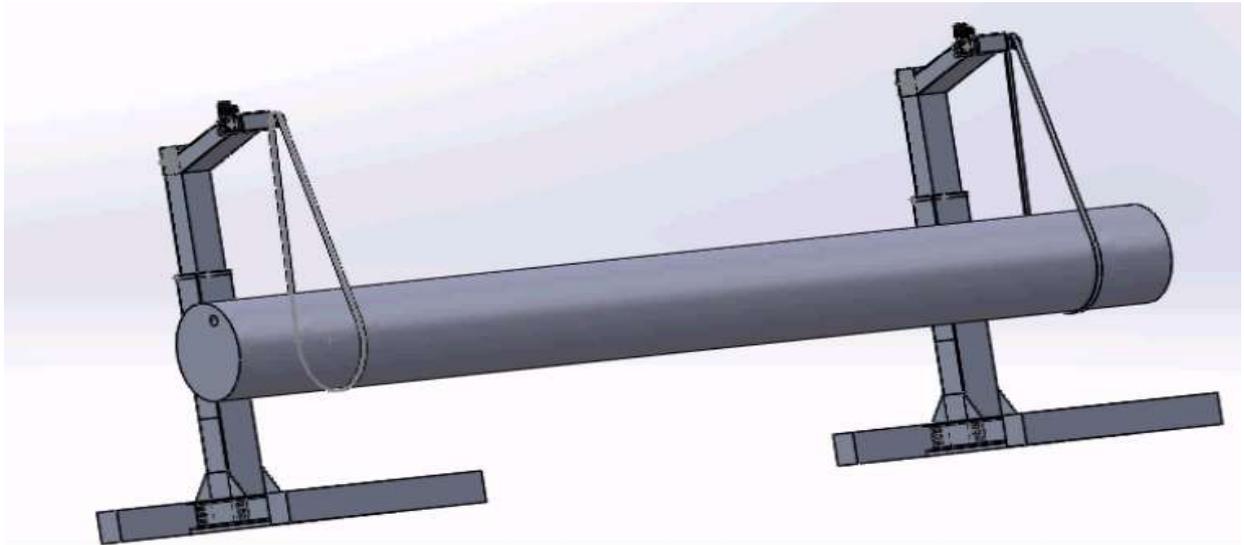


Figure 23: Vue isométrique du BEAM ROTATOR

→ Un BEAM ROTATOR à un bras avec un déplacement vertical (via une installation hydraulique)

IV. Synthèse

Une fois les fonctions de notre produit soient définies par l'étude de marché et l'étude fonctionnelle, on a déterminé les critères de choix des fonctions, car on ne peut pas faire toute les fonctions.

Ces fonctions doivent être concrétisées par des concepts qu'on a choisi par la méthode de PUGH.

Partie 3 : Etude et conception de STROC BEAM ROTATOR et sa modélisation

CHAPITRE 1 :

Etude et dimensionnement

Dans le chapitre présent, nous allons expliciter les calculs concernant le dimensionnement de la structure en fonction des paramètres physiques (flèche admissible, contrainte ...) et des équipements obligatoires (vérin, roulement...) de notre système.

I. Introduction

La conception de notre projet « BEAM ROTATOR », on va être décomposée en quatre parties :

- ⇒ Structurale : dimensionner les différents profilés en utilisant un standard normalisé "MEMOTECH structure métallique". Calcul des assemblages soudés et boulonnés.
- ⇒ Système de levage : dimensionnement du vérin de levage ainsi que le système hydraulique associé.
- ⇒ Guidage en translation : entre les éléments en translation.
- ⇒ Système de rotation : composé d'un moteur réducteur, poulie et des sangles.

II. Dimensionnement de la Structure de BEAM ROTATOR :

Notre structure est schématisée par un modèle de deux dimensions (2d) pour pouvoir le calculer à la main puis le vérifier par un logiciel approprié.

- ⇒ 1^{er} partie : dimensionnement de la structure de BEAMROTATOR ainsi que ses assemblages boulonnés et soudés.
- ⇒ 2^{ème} partie : Calcul du contre poids de la structure pour qu'il ait une stabilité.

On applique le théorème de CASTIGLIANO aux différentes parties du calcul.

La formule générale de l'énergie de déformation est :

$$U = \sum \frac{P_i^2}{2EA_i} L_i + \sum \frac{T_i^2}{2GJ_i} L_i + \sum \int \frac{M_i^2}{2EI_i} dx$$

1. Dimensionnement de la 1^{ère} partie

Le BEAM ROTATOR est composé de deux bras identiques. Chaque bras possède une course de 1000 mm et une charge maximale de 5000 kg. Avec une longueur normalement fermé de 3000 mm.

Alors on a associé à notre BEAM ROTATOR un modèle 2D comme suit :

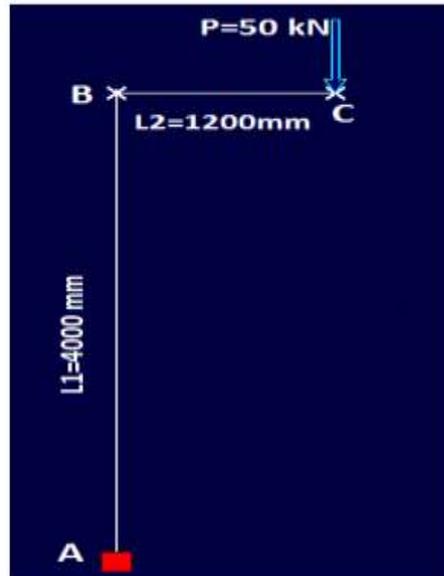


Figure 24: Modèle 2D de la première partie de BEAM ROTATOR

➤ **Dimensionnement du bâti :**

On applique le principe fondamental de la statique pour calculer les réactions aux nœuds.

$$\sum \vec{F} = 0$$

$$\Rightarrow \sum \vec{F}|_z = 0 \quad \text{ET} \quad \sum \vec{F}|_y = 0$$

$$\Rightarrow R_{Az} - P = 0 \quad \text{ET} \quad R_{Ay} = 0$$

$$\Rightarrow R_{Az} = P$$

$$\sum \vec{M}|_A = 0$$

$$\Rightarrow \vec{M}_A(C, \vec{x}) + \vec{M}(A, \vec{x}) = 0$$

$$\Rightarrow \vec{M}(A, \vec{x}) = -L_2 P \vec{x}$$

On applique la méthode énergétique pour calculer la flèche au point B et C.

⇒ **La flèche au point B**

- **Flèche verticale**

On a:

$$\delta_{Bv} = \frac{dU}{dQ_v}$$

$$U = \frac{(P + Q)^2}{2EA_1} L_1 + \int_0^{L_1} \frac{M^2}{2EI_1} dz + \int_0^{L_2} \frac{M^2}{2EI_2} dy$$

Pour une charge virtuelle $Q=0$:



$$\delta_{Qv} = \frac{dU}{dQ_v} = \frac{PL_1}{EA_1}$$

- **Flèche horizontale :**

$$\delta_{Bh} = \frac{dU}{dQ_h}$$

$$U = \frac{P^2}{2EA_1} L_1 + \int_0^{L_1} \frac{(PL_2 + Q_h z)^2}{EI_1} dz + \int_0^{L_2} \frac{(Py)^2}{EI_2} dy$$

Pour une charge virtuelle $Q = 0$:

$$\delta_{Qh} = \frac{PL_2 L_1^2}{2EI_2}$$

Pour dimensionner le poteau, on doit vérifier les 2 contraintes suivantes :

$$\sigma = \frac{My}{I} < \sigma_{pe} = \frac{\sigma_e}{s} ET \delta < \frac{L}{200}$$

On a: $M_{\max} = PL_2 = 60 \text{ kN.m}$

$$\sigma_v = \frac{P^2 L_1 L_2}{EI_1 A_1} \quad \text{Et} \quad \sigma_h = \frac{P^2 L_1^2 L_2^2}{2EI_1^2}$$

Donc :

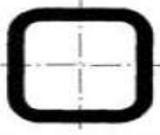
$$- I_1 A_1 > \frac{P^2 L_1 L_2}{E \frac{\sigma_e}{s}} = \frac{(5 \cdot 10^4) \cdot 1200 \cdot 4000}{210 \cdot 275 \cdot 10^3} \cdot 2 = 415,6 \cdot 10^6 \text{ mm}^6$$

$$- I_1 > \frac{PL_1 L_2}{\sqrt{\frac{2E\sigma_2}{s}}} = \frac{5 \cdot 10^4 \cdot 1200 \cdot 4000}{\sqrt{\frac{2 \cdot 210 \cdot 275 \cdot 10^3}{2}}} = 31,6 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$- I_1 > \frac{PL_2 L_1}{2E} \cdot 200 = 114,28 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Ci-dessous le tableau des valeurs standard de profilé carré creux (tableau 12)

Tableau 12: Les caractéristiques des profilés carrés de memotech

Produits sidérurgiques – formes, dimensions, caractéristiques									
	Épaisseur	Masse par mètre	Aire de la section	Moment d'inertie de torsion	Constante de torsion	Moment d'inertie de flexion	Module d'inertie de flexion	Rayon de giration	
	t	P	A	J	C	I	W	i	
Dimensions extérieures en mm	mm	kg/m	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm ⁴	cm ³	cm	
200 × 200	5	30	38,23	3772	361,7	2397	239,7	7,919	
200 × 200	6	35,7	45,45	4470	425,2	2814	281,4	7,869	
200 × 200	8	46,7	59,46	5807	544,2	3589	358,9	7,769	
200 × 200	10	57,2	72,91	7064	652,5	4286	428,6	7,667	
250 × 250	6	45,1	57,45	8862	680,9	5643	451,4	9,911	
250 × 250	8	59,2	75,46	11580	878,7	7264	581,1	9,811	
250 × 250	10	72,9	92,91	14180	1063	8761	700,9	9,711	
250 × 250	12	86,2	109,8	16650	1234	10140	811	9,609	
300 × 300	8	71,8	91,46	20280	1293	12850	856,7	11,85	
300 × 300	10	88,6	112,9	24930	1573	15600	1040	11,75	
300 × 300	12	105	133,8	29400	1837	18170	1211	11,65	
350 × 350	10	104	132,9	40070	2183	25300	1445	13,80	
350 × 350	12	124	157,8	47390	2559	29600	1691	13,70	

10 mm d'épaisseur et un moment quadratique de 156.10^6 mm^4 .

⇒ La flèche au point C :

$$U = \frac{p^2}{2EA_1} L_1 + \int \frac{M^2}{2EI_1} dz + \int_0^{L_2} \frac{M^2}{2EI_2} dy$$

$$\delta_c = \frac{dU}{dP} = \frac{PL_1}{EA_1} + \frac{PL_1L_2^2}{EI_1} + \frac{PL_2^3}{3EI_2}$$

Pour dimensionner le poteau, on doit vérifier la contrainte suivante :

$$\sigma = \frac{My}{I} < \sigma_{pe} = \frac{\sigma_e}{s}$$

On a $M_{\text{Max}} = PL_2$

D'où,

$$\sigma = \frac{PL_2}{I_2} \left(\frac{PL_1}{EA_1} + \frac{PL_1L_2^2}{EI_1} + \frac{PL_2^3}{3EI_2} \right) < \frac{\sigma_e}{s}$$

$$\Leftrightarrow \frac{532,5 \cdot 10^6}{I_2} + \frac{8,228 \cdot 10^{15}}{I_2^2} < 137,5$$

$$\Leftrightarrow 137,5 I_2^2 - 532,5 \cdot 10^6 I_2 - 8,228 \cdot 10^{15} > 0$$

Résolution de l'équation deuxième ordre :

$$\Delta = (532,5 \cdot 10^6)^2 + 4 \cdot 137,5 \cdot 8,228 \cdot 10^{15} = 4,8 \cdot 10^{18}$$

La solution est :

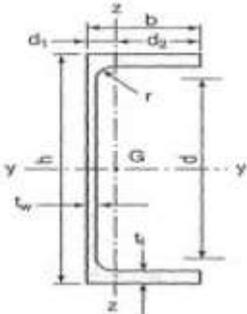
$$I_2 = 9,9 \cdot 10^6 \text{ mm}^4 \text{ ou } I_2 = -6 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

La valeur de $\frac{PL_2^3}{3EI_2}$ doit être inférieure à 6 mm.

$$\Rightarrow I_2 \geq \frac{PL_2^3}{18.E} = 22.8 \cdot 10^6 \text{ mm}$$

Voici ci-dessous les caractéristiques du profils UAP MEMOTECH

Tableau 13: Caractéristiques du profilés UAP MEMOTECH



Profils	Caractéristiques de calcul										Moment d'inertie de torsion
	I_x	I_x/V_x	i_x	-	-	I_y	I_y/V_y	i_y	-	-	J
	I_y	$W_{el,y}$	i_y	$W_{pl,y}$	A_{vz}	I_z	$W_{el,z}$	i_z	$W_{pl,z}$	A_{vy}	I_t
	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm ²	cm ⁴
UAP 200	1945,85	194,59	7,80	230,12	16,97	169,69	32,13	2,30	58,49	17,25	11,24
UAP 220	2709,93	246,36	8,64	289,90	18,83	222,31	39,68	2,48	72,78	20,00	14,40
UAP 250	4136,42	330,91	9,72	391,76	23,89	295,44	48,87	2,60	87,94	22,95	20,38
UAP 300	8170,18	544,68	11,81	639,31	30,64	562,07	79,88	3,10	146,23	32,00	36,30

La dimension minimale du profilé à choisir pour la structure est un **UAP 200**.

Remarque

- ⇒ Pour un assemblage plus facile.
- ⇒ Pour gagner de la longueur pour BEAM ROTATOR.
- ⇒ Pour une esthétique plus intéressante loin des formes standards.

A la place des profilés UAP 200, on a pris des tôles soudées avec les mêmes caractéristiques et les mêmes spécifications.

2. Dimensionnement de la 2^{ème} partie

Voici la figure 25 qui modélise en 2D la deuxième partie de BEAM ROTATOR:



Figure 25: Modélisation 2D de la deuxième partie de BEAM ROTATOR

Réduction de torseur au point A.

$$\{\tau_A\}_A = \begin{Bmatrix} 0 \\ R_A \end{Bmatrix}_A \quad \{\tau_B\}_A = \begin{Bmatrix} -PL_2 - Pa \\ -P \end{Bmatrix}_A \quad \{\tau_C\}_A = \begin{Bmatrix} R_C(a+b) \\ R_C \end{Bmatrix}_A$$

On applique le principe fondamental de la statique, on a :

$$\begin{aligned} \sum \vec{F} &= \vec{0} \\ \sum \vec{M}(A, \vec{x}) &= 0 \end{aligned} \quad \text{Implique} \quad \begin{aligned} R_A &= \frac{P(b-L_2)}{a+b} \\ R_C &= \frac{P(a+L_2)}{a+b} \end{aligned}$$

Pour que les résultats soient valides, il faut que les réactions aux appuis soient strictement positives

D'ou $R_A > 0$ implique que la distance $b > L_2$

D'après la dimension de la pièce, au maximum on a un rayon de la pièce de 750 mm.

Dans le régime de sécurité on va allonger la longueur b

D'où la valeur de $b = 750 + 200 + L_2 = 2150$ mm ET valeur de $a = 450$ mm

⇒ **Les réactions aux appuis :**

$$R_A = 18.27 \cdot 10^3 \text{ N} \quad \text{ET} \quad R_C = 31.7 \cdot 10^3 \text{ N}$$

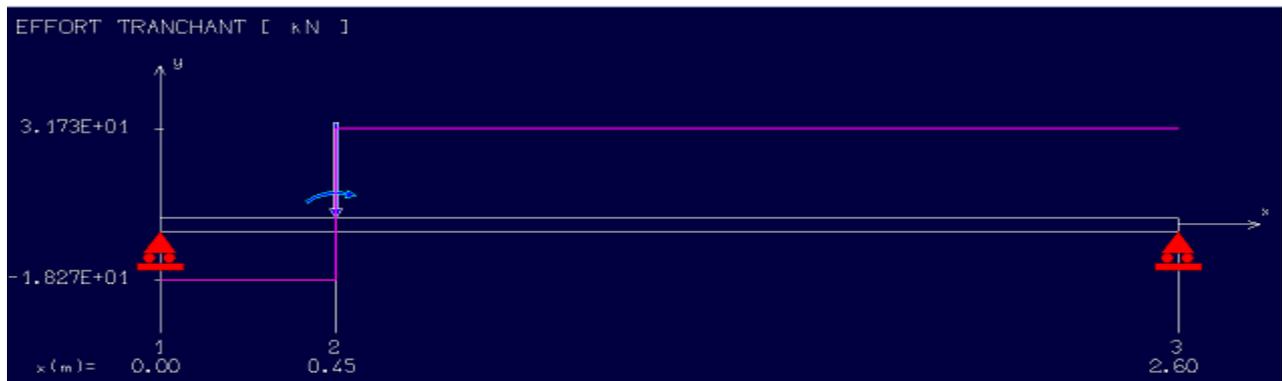


Figure 26: Modélisation 2D de l'effort tranchant pour le renversement.

Pour calculer la masse du contre poids au point A, on a choisi une barre carrée avec un coefficient égal 0,800.

On a $R_A = m g L = 18.27 \cdot 10^3 \text{ N}$ avec L (la longueur de barre) = 2100 mm.

m (masses de barre par unité de longueur)

D'où $m = 870 \text{ kg.m}^{-1}$ implique la surface de la barre doit être supérieure à 108750 mm^2

Donc la dimension de la barre est $350 \cdot 350$.

D'où $R_A = 20.58 \cdot 10^3 \text{ N}$

$$\delta B = \int_0^a \frac{m_1 \frac{dm_1}{dP}}{EI} dy + \int_0^b \frac{m_2 \frac{dm_2}{dP}}{EI} dy \quad \text{Avec } m_1 = \frac{P(b-L_2)}{L} y = \frac{19}{52} Py$$

$$\text{Et } m_2 = (P(a + L_2))/L y = \frac{33}{52} Py$$

D'où

$$\delta B = \left(\frac{361}{2704} P \frac{a^3}{3} + \frac{1089}{2704} P \frac{b^3}{3} \right) / EI = \frac{318.62 \cdot 10^6}{I}$$

On a le moment maximal est égal à 68.2kN.m.

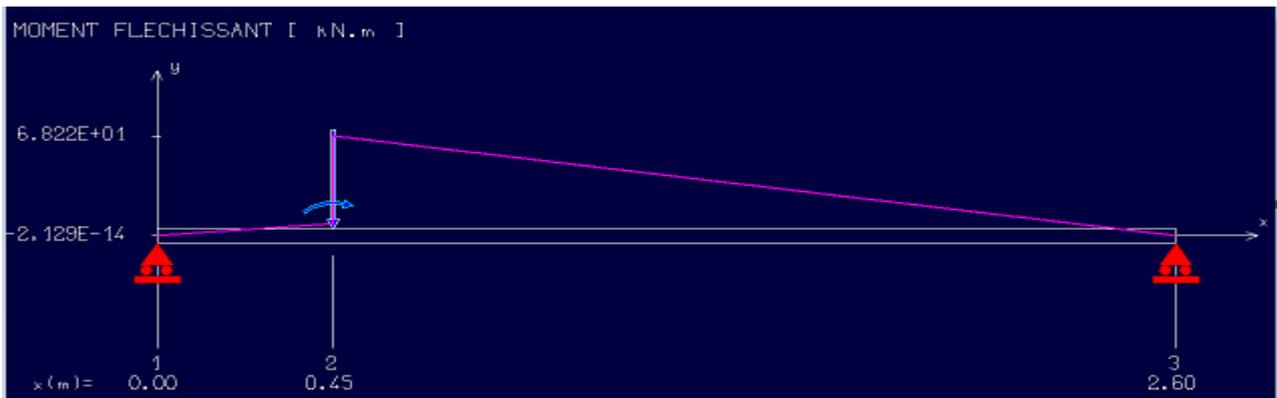


Figure 27: Modélisation 2D du moment fléchissant pour le renversement

On doit vérifier la condition suivante :

$$\sigma = \frac{My}{I} \leq \sigma/s$$

D'où

$$I \geq \sqrt{\frac{68,2 \cdot 2 \cdot 318.18 \cdot 10^{12}}{275}} = 12.57 \cdot 10^6 \text{ mm}^4.$$

Le choix de profilé doit respecter le type d'assemblage avec la première partie.



3. Vérfications des calculs par SOLIDWORKS

Sur le logiciel SOLIDWORKS on a schématisé notre modèle :

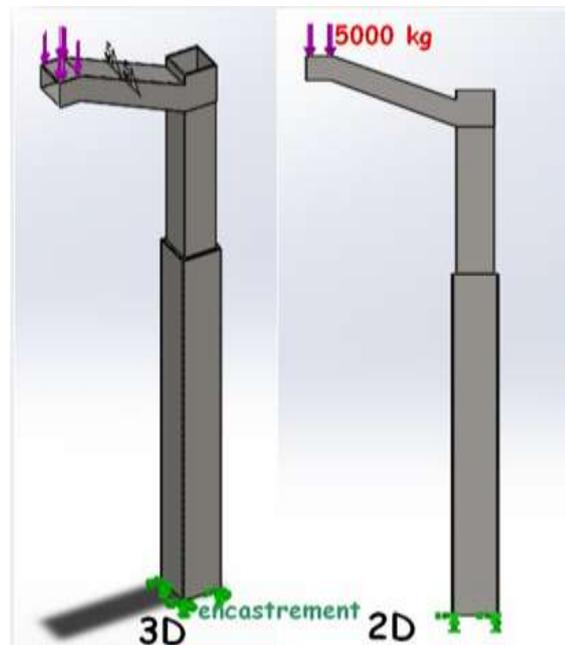


Figure 28: Modèle 2D 3D sur SOLIDWORKS

Le matériau de construction est JR 275.

Remarque

On a des tôles en acier de construction JR 275 sur lesquelles est monté le nylon pour le guidage en translation, ce qui justifie la petite différence de calcul entre le logiciel et les calculs déjà développés.

⇒ **Vérification des contraintes :**

On remarque que le dimensionnement est correct, et on n'a pas atteint le domaine plastique. On reste sur le domaine élastique et les contraintes sont minimales sur l'ensemble de la structure (figure 29).

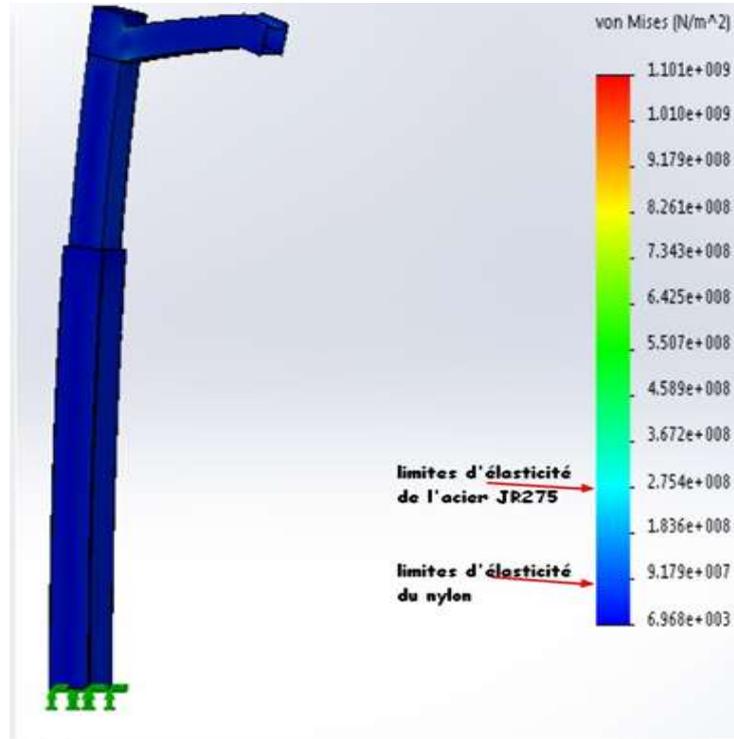


Figure 29: Vérification des contraintes par SOLIDWORKS

⇒ **Vérification du déplacement (flèche)**

SOLIDWORKS permet de vérifier la flèche trouvée (figure 30)

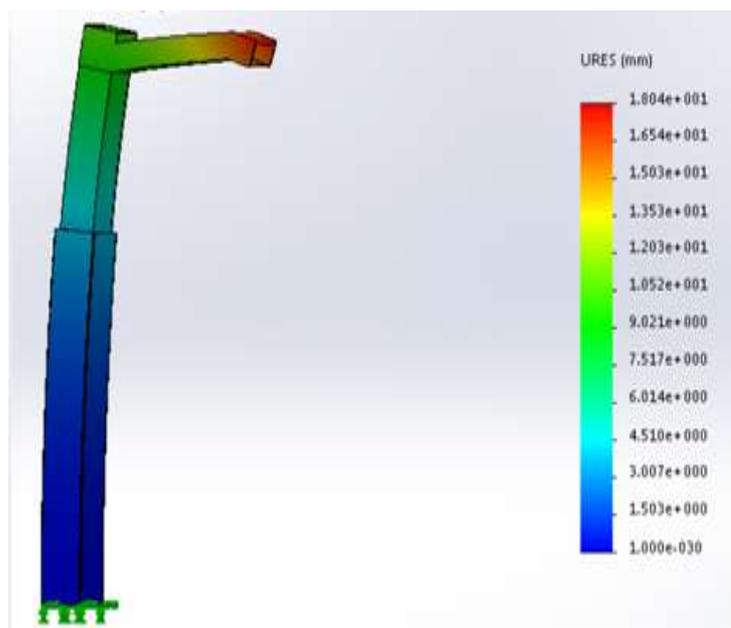


Figure 30: Vérification de la flèche par SOLIDWORKS



La flèche au point d'intersection entre le bras haut (UAP200) et le carré creux (300*300):

⇒ **Calcul théorique**

$$\delta = \frac{dU}{dP} = \frac{PL_1}{EA_1} + \frac{PL_1L_2^2}{EI_1} + \frac{PL_2^3}{3EI_2}$$

$$\delta t = 14.87 \text{ mm}$$

⇒ **Valeur de SOLIDWORKS :** $\delta s = 12 \text{ mm}$

⇒ **La différence :** $\Delta\delta = 2.87 \text{ mm}$

Point d'application de la charge :

⇒ **Calcul théorique**

$$\delta = \frac{dU}{dP} = \frac{PL_1}{EA_1} + \frac{PL_1L_2^2}{EI_1} + \frac{PL_2^3}{3EI_2}$$

$$\delta c = 19.27 \text{ mm}$$

⇒ **Valeur de SOLIDWORKS :** $\delta s = 18 \text{ mm}$

⇒ **La différence :** $\Delta\delta = 1.27 \text{ mm}$

Remarque :

La différence entre les valeurs théorique et les valeurs obtenues par SOLIDWORKS est due au renforcement du carré creux (300* 300) par le nylon et les tôles soudées pour le guidage en translation du système.

Conclusion :

Les calculs théoriques ont permis de dimensionner les bâtis de BEAM ROTATOR à l'aide de normes et la normalisation des profilés, ce qui a conduit à des résultats qui ont été vérifiés par les calculs et la simulation sur logiciel CAO SOLIDWORKS.

Certes ses tôles et profilés doivent être assemblées par différents procédés (soudages, boulonnages, rivetages....) choses qu'on va développer à la partie suivante.

III. Assemblages boulonnés

1. Caractéristique de l'assemblage boulonné au point d'intersection entre le bras haut et le carré creux (300*300)

On considère un assemblage rigide au point B.

Le choix des boulons est basé sur les épaisseurs des pièces à assembler (voir tableau 14), on a la somme des épaisseurs :

$$E_{profilé} + E_{tôle} = 20 \text{ mm} > 14 \text{ mm}$$

Tableau 14: Choix de boulons

Diamètre du boulon d (mm)	Tôles pour profilés d'épaisseur (mm)	Cornières de largeur d'aile (mm)	Ailes de U de hauteur (mm)	Ailes de profilé en H de dimensions nominales (mm)
8	2	30		
10	3	35		
12	4	40-45	80	
14	5	50	100 à 130	100 et 120
16	6	60	140 à 160	140
18	7	70	175 et 180	150 et 160
20	8	80-90	200 et 220	180
22	10 à 14	100-120	240 à 300	200 à 240
24	> 14	> 120		> 240

Donc le boulon que nous allons choisir est le boulon du diamètre ϕ 24.

Quel que soit le type du boulon, le jeu entre la tige boulon et le trou des pièces à assembler est le suivant :

$$d \leq 14 \text{ mm} \quad d_0 = d + 1$$

$$d \leq 24 \text{ mm} \quad d_0 = d + 2$$

$$d \geq 27 \text{ mm} \quad d_0 = d + 3$$

Donc le diamètre des trous des pièces à assembler est 26 mm.

On doit respecter aussi les pinces et les entraxes des boulons selon la norme (tableau 15) :

Tableau 15: Choix de l'entraxe entre boulons

PINCES LONGITUDINALES ET TRANSVERSALES, ENTRAXES MINIMUM ET MAXIMUM				
Distances et entraxes	Minimum	Maximum		
		Structures réalisées en aciers conformes à l'EN 10025 à l'exception des aciers conformes à l'EN 10025-5		Structures réalisées en aciers conformes à l'EN 10025-5
		Acier exposé aux intempéries ou autres influences corrosives	Acier non exposé aux intempéries ou autres influences corrosives	Acier utilisé sans protection
Pince longitudinale e_1	$1,2 d_0$	$4t + 40$ mm		Maximum de : 8t ou 125 mm
Pince transversale e_2	$1,2 d_0$	$4t + 40$ mm		Maximum de : 8t ou 125 mm
Distance e_3 pour les trous oblongs	$1,5 d_0$			
Distance e_4 pour les trous oblongs	$1,5 d_0$			
Entraxe p_1	$2,2 d_0$	Minimum de : 14t ou 200 mm	Minimum de : 14t ou 200 mm	Minimum de : $14t_{min}$ ou 175 mm
Entraxe $p_{1,0}$		Minimum de : 14t ou 200 mm		
Entraxe $p_{1,1}$		Minimum de : 28t ou 400 mm		
Entraxe p_2	$2,4 d_0$	Minimum de : 14t ou 200 mm	Minimum de : 14t ou 200 mm	Minimum de : $14t_{min}$ ou 175 mm

Nous avons le carré creux 300* 300 donc suivant la table le choix le plus judicieux qui correspond à notre assemblage est un entraxe :

$e_1 : 45$ mm

$e_2 : 80$ mm

Les deux valeurs respectent la norme euro code 3.

Voici ci-dessous une représentation du boulonnage du bras haut (figure 31).

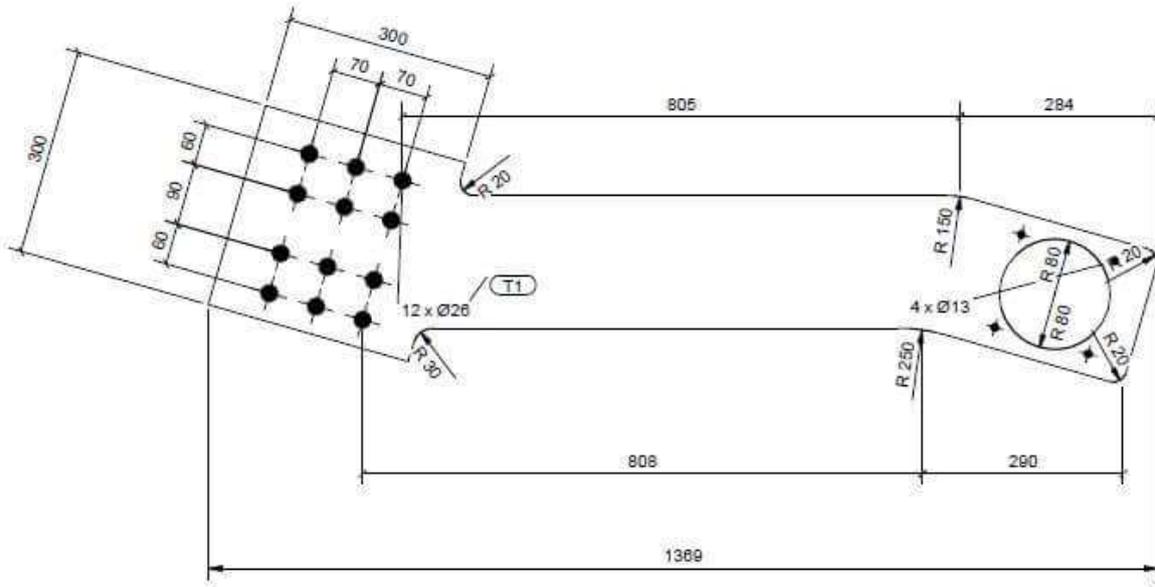


Figure 31: Représentation du boulonnage du bras haut

Le moment maximal au point B est :

$$M_{max} = PL_2 = 60 \text{ kN.m}$$

D'après la partie 1-8 de l'euro code 3, on doit avoir un moment résistant par la relation :

$$M_{j,Rd} = \sum h_r F_{v,Rd} \text{ Avec } M_{j,Rd} = \frac{M_{Max}}{2} = 30 \text{ kN.m}$$

On a fait 3 boulons par rang donc :

$$M_{j,Rd} = 3h_r F_{v,Rd} \text{ Avec } h_r = 210 \text{ mm}$$

Donc le moment résistant du boulon par range doit vérifier:

$$F_{v,Rd} \geq \frac{M_{j,Rd}}{3 * h_r} = 95,24 \cdot 10^2 \text{ daN}$$

Tableau 16: Choix du boulon

Diamètre de boulon d (mm)	8	10	12	14	16	18	20	22	24	
Diamètre du trou d ₀ (mm)	9	11	13	16	18	20	22	24	26	
Aire de la section brute du boulon A (mm ²)	50,3	78,5	113,1	153,9	201,1	254,5	314,2	380,1	452,4	
Résistance au cisaillement par boulon et par plan de cisaillement F _{v,Rd}	Classe									
	4.6	965	1510	2170	2960	3860	4890	6030	7300	8690
	5.6	1210	1880	2710	3690	4830	6110	7540	9120	10900
	6.8	1450	2260	3260	4430	5790	7330	9050	10950	13000
	8.8	1930	3020	4340	5910	7720	9770	12100	14600	17400
10.9	2410	3770	5430	7390	9650	12200	15100	18200	21700	

Le choix se porte sur un boulon de classe 6.8 d'un diamètre de 24 mm.

Voici une représentation du boulonnage en 3D (voir figure32):

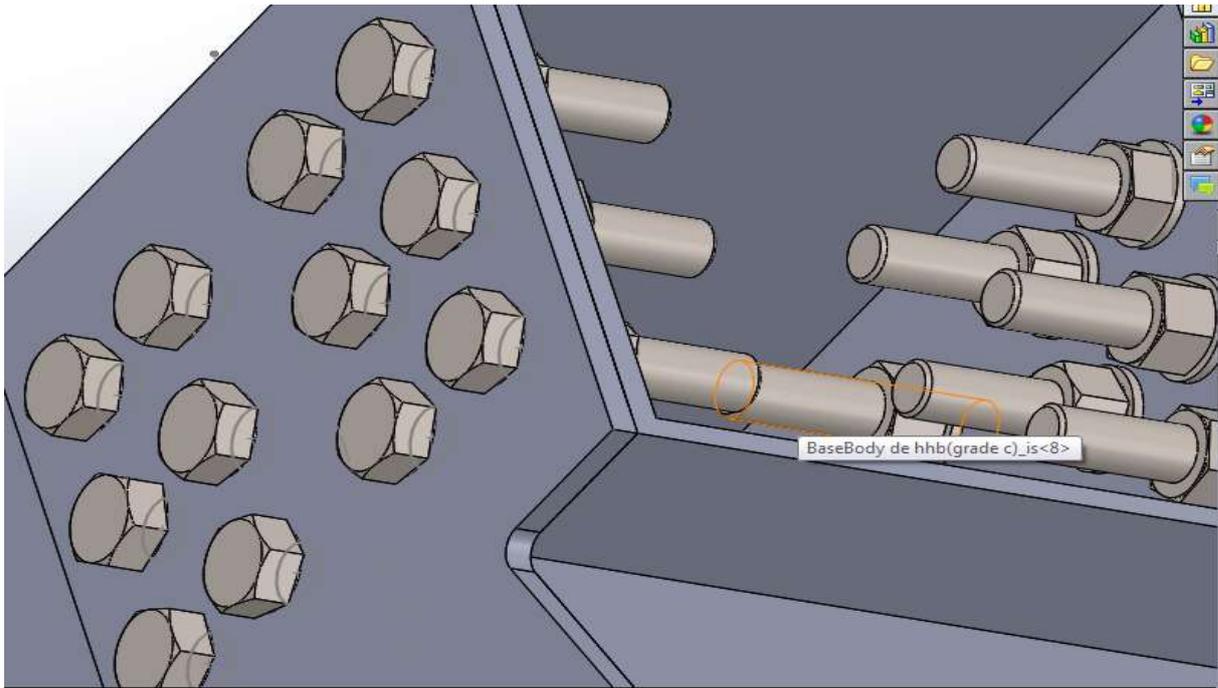


Figure 32: Représentation du boulonnage en 3D

⇒ **Calcul de la pression diamétrale :**

Formule de la pression diamétrale :

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 f_{ub} d t}{\gamma_{m2}}$$

La valeur du calcul est basée sur :

- les boulons de rives :

$$k_1 = \min \left(2.8 \frac{e_2}{d_0} - 1.7 ; 1.4 \frac{p_2}{d_0} - 1.7 ; 2.5 \right) = 1.26$$

- les boulons d'intérieurs :

$$k_1 = \min \left(1.4 \frac{p_2}{d_0} - 1.7 ; 2.5 \right) = 1.26$$

D'où

On a la même valeur du coefficient k_1 , ce qui implique une valeur de la force diamétrale égale à :

$$F_{b,Rd} = \frac{1,26 \cdot 600 \cdot 24 \cdot 18}{1,25} = 261,27 \text{ kN}$$

Donc la valeur de la pression diamétrale est supérieure à la valeur de la résistance au cisaillement par boulon.

D'où la contrainte est acceptable selon l'euro code 3 partie 1-8.

Ci-joint le tableau 17 de vérification du boulonnage:

Tableau 17: Vérification du boulonnage

Category	Criteria	Remarks
Shear connections		
A bearing type	$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$	No preloading required. Bolt classes from 4.6 to 10.9 may be used.
B slip-resistant at serviceability	$F_{v,Ed,ser} \leq F_{s,Rd,ser}$ $F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$	Preloaded 8.8 or 10.9 bolts should be used. For slip resistance at serviceability see 3.9.
C slip-resistant at ultimate	$F_{v,Ed} \leq F_{s,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$ $\sum F_{v,Ed} \leq N_{net,Rd}$	Preloaded 8.8 or 10.9 bolts should be used. For slip resistance at ultimate see 3.9. $N_{net,Rd}$ see 3.4.1(1) c).

La force existante sur les boulons est inférieure à la force diamétrale. Alors le choix des boulons est correct et vérifié.

2. Assemblage de la première partie avec la deuxième

Assemblage des tôles soudées contenant le nylon avec le bâti inférieur qui stabilise le système.

On a un moment maximal de $M_{max}=60$ kN.m

On a un profilé carré creux et un UAP 300, cet assemblage est moyennant une platine.

L'épaisseur de la platine est égale 10 mm donc l'épaisseur totale est supérieure à 14 mm.

Donc le choix du boulon est basé sur l'épaisseur, suivant le tableau de la 1ère partie alors le diamètre de boulon égal à 24 mm.

D'après la partie 1-8 de l'euro code 3, on doit avoir un moment résistant par la relation :

$$M_{j,Rd} = \sum h_r F_{v,Rd} \quad \text{Avec} \quad M_{j,Rd} = \frac{M_{Max}}{2} = 30 \text{ kN.m}$$

On a fait 3 boulons par rang donc :

$$M_{j,Rd} = \sum h_r F_{v,Rd} \quad \text{Avec} \quad h_r = 390 \text{ mm}$$

D' où le résultat du moment résistant du boulon par rang :

$$F_{v,Rd} \geq \frac{M_{j,Rd}}{3 * h_r} = 22,64 \cdot 10^2 \text{ daN}$$

Donc le choix du boulon d'assemblage est un boulon de diamètre 24 et de classe minimal de 6.8 (voir figure 33 et 34) suivant l'euro code 3 déjà explicité.

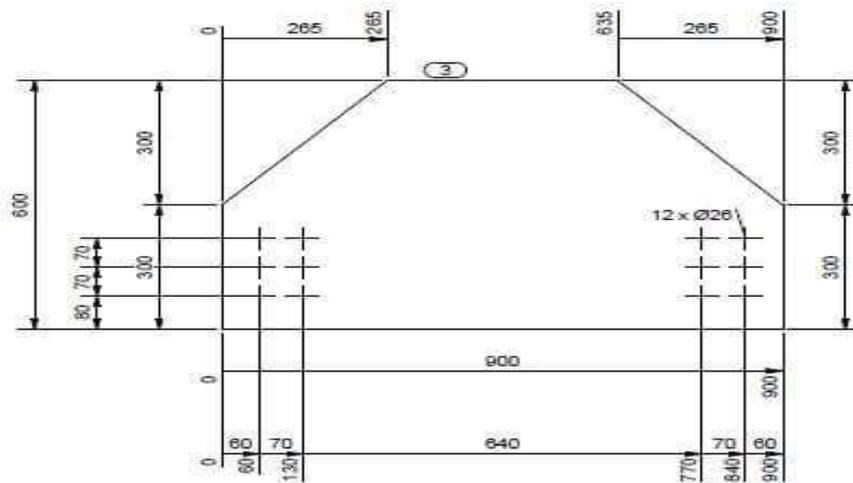


Figure 33: Représentation en 2D du boulonnage de fixation bas

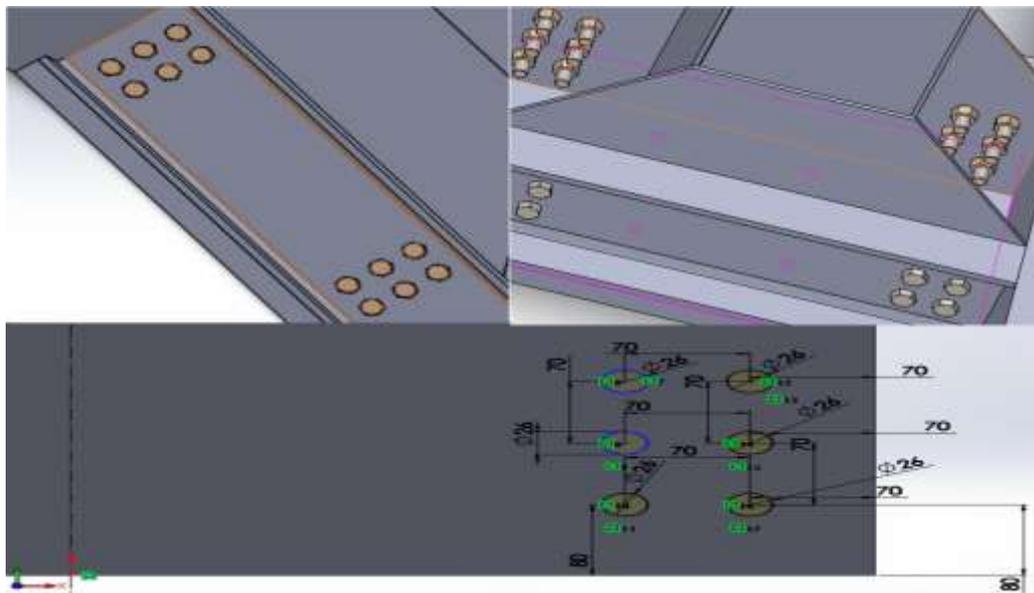


Figure 34: Représentation en 3D du boulonnage de fixation bas

IV. Dimensionnement du vérin :

Le dimensionnement du vérin est basé sur deux critères principaux :

- Le choix de mode de la fixation : c'est une fixation rotule - rotule avec la valeur du facteur de flambement $k = 2$
- La course du vérin $c = 1000$ mm

La longueur de flambement est $L_c = 2 * 1000 = 2000$ mm

Pour choisir la tige du vérin, on se base sur l'abaque suivant (voir la figure 35).

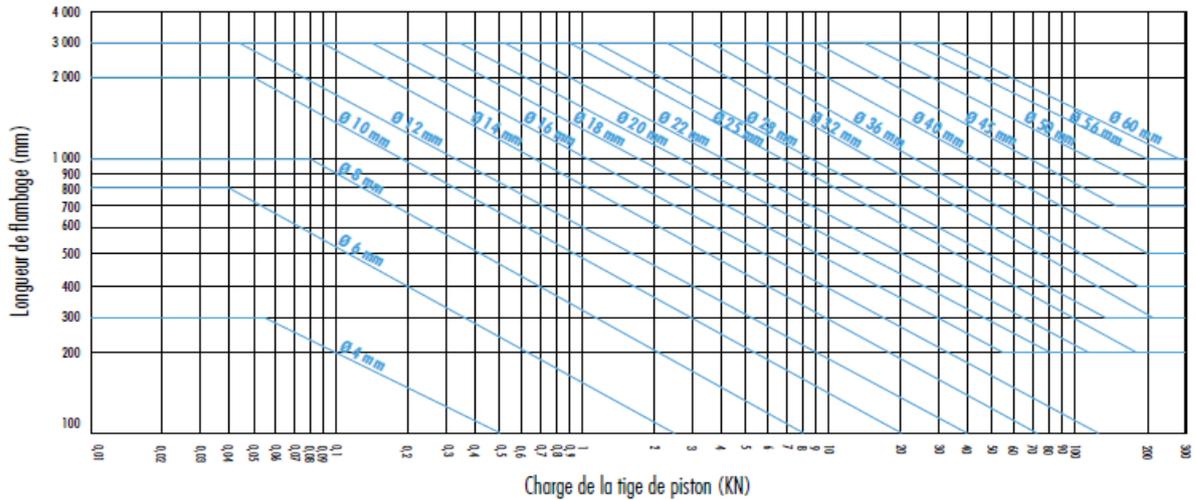


Figure 35: Abaque de choix de la tige du vérin

D'après l'abaque, le diamètre minimal de la tige est : $d_{tige}=56 \text{ mm}$

Pour le choix du cylindre du vérin on se base sur le tableau suivant:

Tableau 18: Choix du cylindre du vérin

Diamètre d'alésage	50		63		80		100		125	
Diamètre de tige	32	36	40	45	50	56	63	70	80	90

Vérification de dimension de la tige du vérin par calcul:

On a choisi un vérin de diamètre égal à 70 mm, course=1000 mm et le mode de fixation rotule-rotule.

$$\text{Calcul de la surface : } S = \pi d_{tige}^2 / 4 = 3848.45 \text{ mm}^2$$

$$N_L = F/S = 1.3 \text{ daN/mm}^2$$

$$\text{Longueur de flambement : } l_f = k (\text{course} + 1.3 d_{tige}) = 2182 \text{ mm}$$

$$\text{Coefficient d'élanement : } \lambda = 4 \frac{l_f}{d_{tige}} = 124.68$$

$$\text{Contrainte critique: } n_{ce} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} = 13.33 \text{ daN/mm}^2$$

$$\mu = \frac{n_{ce}}{S} \cdot N_L = 6.83 > 1.5$$

$$k_1 = \mu - 1/\mu - 1.3 = 1.055$$

$$N_L k_1 = 1.37 \text{ daN/mm}^2 < R = \frac{\sigma_e}{S} = 20 \text{ daN/mm}^2$$

Le choix du vérin est vérifié.

Choix de la pression :

$$P = \frac{F}{d_{alesage}} = 64 \text{ bar / Piston}$$

Choix de la vitesse de la tige :

$$v = 1/30 \text{ m/s}$$

La puissance nécessaire :

$$P = Fv = 5.104 * 1/30 = 2.25 \text{ cv}$$

Le débit nécessaire :

$$Q = v * S = 0.2618 \text{ m}^3/\text{s}$$

D'où :

La pression de la centrale hydraulique doit être supérieure à deux fois la pression par piston mais il ne faut pas négliger les pertes de charge dans les flexibles, donc on a :

$$P_{central} = 180 \text{ bar}$$

Et la puissance nécessaire pour la centrale $P = 5.5 \text{ cv}$



Figure 36: Représentation du vérin en 3D SOLIDWORKS

V. Choix du moteur :

Dans notre projet le moteur va jouer un rôle très important au niveau de la rotation de la charge à une vitesse très petite et un couple très important. La transmission est avec une poulie (voir figure37).

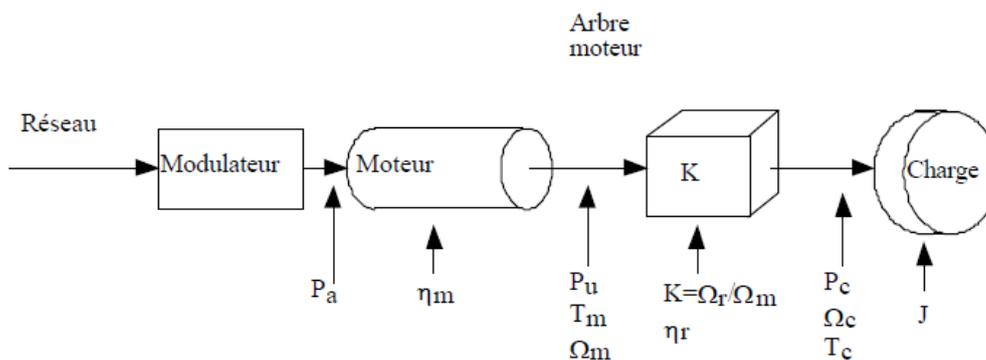


Figure 37: Transmission de puissance



1. Définition de la charge et le couple de la charge

Le choix de poulie qui va transmettre la puissance pour la rotation de la charge est basé sur une caractéristique importante c'est la charge, parce que on a un tonnage élevé. Donc la poulie doit supporter la charge de 5 tonnes.

D'après une recherche sur internet sur les fournisseurs des poulies de levage, on trouve que la poulie a un diamètre primitif minimal de 200 mm.

Donc pour transmettre ce mouvement, le couple est :

$$\vec{F} = M_c * g = 5.10^4 N$$

$$T_c = F * R_p = 5000 N.m$$

$$\Omega_c = 6.5 \text{ tr/min}$$

D'où

$$P_c = 4.43 \text{ KW}$$

2. Choix du réducteur

Le choix du réducteur est basé sur la vitesse de rotation d'entrée et de sortie, d'où le rapport de réduction :

$$K = \Omega_c / \Omega_m$$

En basons notre calcul sur une vitesse de rotation du moteur :

$$\Omega_m = 1443 \text{ tr/min}$$

On a l'estimation du rapport de la réduction égale :

$$K = 1/222$$

Rendement du réducteur est égal à :

$$\eta_r = 0,9$$

3. Calcul du couple moteur

Le couple du moteur a un facteur important pour le choix du moteur :

$$P_u = \frac{P_c}{0.9} = 4,92 \text{ kW}$$

Donc

$$T_m = \frac{P_u}{\Omega_m} = 32,6 \text{ N.m}$$

VI. Système en rotation

1. Dimensionnement de l'arbre

Dans cette partie de calcul, on va dimensionner le diamètre de l'arbre suivant trois méthodes.

On a un couple de charge égal

$$T_c = 5000 \text{ N.m}$$

On va utiliser un acier XC45 « C45 » avec les propriétés suivantes :

Limite d'élasticité $R_e=580 \text{ MPa}$

Limite de traction $R_m=750 \text{ MPa}$

D'après les valeurs qui sont utilisées dans la pratique, on a le facteur de sécurité « FS » est compris entre 1,25 et 1,5.

On a :

$$FS = 1,5$$

➤ **Etude suivant la valeur de la torsion :**

On a:

$$\zeta_{max} = \frac{T_c d_{arbre}}{I_0} \leq \frac{\sigma_s}{s} \quad \text{Avec} \quad I_0 = \frac{\pi d_{arbre}^4}{32}$$

$$\text{Et } \sigma_s = R_e/2$$

D'où

$$d_{arbre} \geq \sqrt[3]{32 \frac{T_c \cdot FS}{\pi R_e}} = 50,88 \text{ mm}$$

Donc le diamètre d'arbre qui résiste la torsion égal au minimum 51 mm.

➤ **Etude suivant le code ASME**

$$S_p = b (0,18 R_m ; 0,30 R_e)_{min}$$

$$\text{Ou } b = \begin{cases} 1 & \text{sans concentration de la contrainte} \\ 0,75 & \text{avec concentration de la contrainte} \end{cases}$$

Donc :

$$S_p = 1. (0,18.750 ; 0,30.580) = 135 \text{ MPa}$$

D'après le code ASME la valeur du diamètre de l'arbre :

$$d_{arbre} = \left\{ \frac{5.1}{S_p} ((C_m M)^2 + (C_t T)^2)^{1/2} \right\}^{1/3}$$

Avec: M est le moment fléchissant maximal et T le couple de torsion

Et les valeurs de charge C_m et C_t sont données par le tableau suivant:

Tableau 19: Les valeurs de charge C_m et C_t

Chargement	C_m	C_t
Arbre stationnaire		
Charge appliquée lentement	1,0	1,0
Charge appliquée rapidement	1,5 – 2,0	1,5 – 2,0
Arbre de transmission ou de renvoi		
Charge constante ou appliquée lentement	1,5	1,0
Chocs mineurs	1,5 – 2,0	1,0 – 1,5
Chocs majeurs	2,0 – 3,0	1,5 – 3,0

Dans notre cas, on a un arbre de transmission avec une charge constante donc les valeurs de charges sont :

$$C_m=1.5 \text{ et } C_t= 1$$

La valeur minimale du diamètre de l'arbre est :

$$d_{arbre} = 69,8 \text{ mm Avec } M = 5,103 \text{ N.m}$$

➤ **Code WESTINGHOUSE :**

Calcul de la limite d'endurance S_e :

$$S_e = k_a k_b k_d k_e k_f S_e'$$

Avec:

$k_a=0.8$ pour une pièce usiné

$k_b=0.75$ $d > 50$ code ASME

$k_c=0.814$

$k_d=1$ température ambiante

$$S_e' = 0.5 R_m \text{ Pour } R_m < 1400 \text{ MPa}$$

Donc la valeur de la limite d'endurance est :

$$S_e = 183.15 \text{ MPa}$$

La valeur du diamètre d après la théorie de cisaillement maximal.

$$d_{arbre} = \left\{ \frac{32 FS}{\pi} \left[\left(\frac{T}{R_e} \right)^2 + \left(\frac{M}{S_e} \right)^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/3}$$

$$d_{arbre} = 75.9 \text{ mm}$$

➤ **Théorie de VON MISES-HENCKY**

⇒ 1^{er} étape : calcul du facteur

On a :

$$\sigma'_a = \frac{32 M}{\pi d^3} \quad \text{Et} \quad \sigma'_m = \frac{16\sqrt{3}T}{\pi d^3}$$

D'où

$$\frac{S_a}{S_m} = \frac{\sigma'_a}{\sigma'_m} = \frac{2}{\sqrt{3}} = 1.155$$

⇒ **2^{ème} étape : calcul de la résistance moyenne S_m .**

Il est utile d'obtenir une solution en employant une méthode algébrique uniquement, pour ce faire, nous pouvons exprimer la limite de $S_e - S_u$ du diagramme de Goodman par la relation :

$$S_a = -\frac{S_e}{R_m} S_m + S_e \quad \text{Avec} \quad S_a = 1,155 \cdot S_m$$

La valeur de la résistance moyenne est égale :

$$S_m = 130,9 \text{ MPa}$$

⇒ **3^{ème} : calcul du diamètre de l'arbre**

On a:

$$FS = \frac{S_m}{\sigma'_m}$$

D'où $\sigma'_m = 87,27 \text{ MPa}$

Donc la valeur du diamètre est :

$$d_{\text{arbre}} = \left[\frac{16 \sqrt{3} T}{\pi \sigma'_m} \right]^{1/3}$$

$$d_{\text{arbre}} = 79,65 \text{ mm}$$

Conclusion

Le diamètre minimal de l'arbre est 80 mm.

2. Dimensionnement de la clavette

On a une force de charge égale :

$$F = 5 \cdot 10^4 \text{ N}$$

Pour dimensionner une clavette, on doit calculer la contrainte en compression et la contrainte en cisaillement :

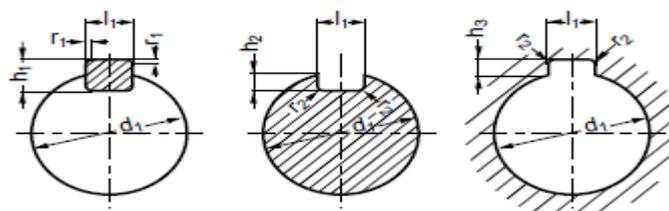


Figure 38: Représentation graphique du clavetage

Tableau 20: Table des caractéristiques de la clavette

d_1	l_1 JS 10	h_1	h_2	h_3	r_1	r_2
$6 \leq d_1 \leq 8$ de 6 à 8	2	2	$1,2 + 0,1$	$1 + 0,1$	0,2	0,2
$8 < d_1 \leq 10$ de 8 à 10	3	3	$1,8 + 0,1$	$1,4 + 0,1$	0,2	0,2
$10 < d_1 \leq 12$ de 10 à 12	4	4	$2,5 + 0,1$	$1,8 + 0,1$	0,2	0,2
$12 < d_1 \leq 17$ de 12 à 17	5	5	$3,0 + 0,1$	$2,3 + 0,1$	0,3	0,2
$17 < d_1 \leq 22$ de 17 à 22	6	6	$3,5 + 0,1$	$2,8 + 0,1$	0,3	0,2
$22 < d_1 \leq 30$ de 22 à 30	8	7	$4,0 + 0,2$	$3,3 + 0,2$	0,5	0,2
$30 < d_1 \leq 38$ de 30 à 38	10	8	$5,0 + 0,2$	$3,3 + 0,2$	0,5	0,3
$38 < d_1 \leq 44$ de 38 à 44	12	8	$5,0 + 0,2$	$3,3 + 0,2$	0,5	0,3
$44 < d_1 \leq 50$ de 44 à 50	14	9	$5,5 + 0,2$	$3,8 + 0,2$	0,5	0,3
$50 < d_1 \leq 58$ de 50 à 58	16	10	$6,0 + 0,2$	$4,3 + 0,2$	0,5	0,3
$58 < d_1 \leq 65$ de 58 à 65	18	11	$7,0 + 0,2$	$4,4 + 0,2$	0,5	0,3
$65 < d_1 \leq 75$ de 65 à 75	20	12	$7,5 + 0,2$	$4,9 + 0,2$	0,7	0,5
$75 < d_1 \leq 85$ de 75 à 85	22	14	$9,0 + 0,2$	$5,4 + 0,2$	0,7	0,5
$85 < d_1 \leq 95$ de 85 à 95	25	14	$9,0 + 0,2$	$5,4 + 0,2$	0,7	0,5
$95 < d_1 \leq 110$ de 95 à 110	28	16	$10 + 0,2$	$6,4 + 0,2$	0,7	0,5
$110 < d_1 \leq 130$ de 110 à 130	32	18	$11 + 0,3$	$7,4 + 0,3$	1,1	0,8
$130 < d_1 \leq 150$ de 130 à 150	36	20	$12 + 0,3$	$8,4 + 0,3$	1,1	0,8

Pour un diamètre d'arbre de 80 mm les dimensions de la clavette sont :

$$h_1 = 14 \text{ mm et } l_1 = 22 \text{ mm}$$

– **Contrainte de cisaillement :**

$$\frac{F}{Ll_1} \leq \frac{R_e}{2 \cdot s}$$

$$Ll_1 \geq 606 \text{ mm}^2$$

Donc :

$$L \geq 27,54 \text{ mm}$$

– **Contrainte de compression :**

$$\frac{2F}{Lh_1} \leq \frac{R_e}{s}$$

$$Lh_1 \geq 606 \text{ mm}^2$$

Donc

$$L \geq 43,28 \text{ mm}$$

– **Donc les dimensions de la clavette sont :**

$$h_1 = 14 \text{ mm} \quad l_1 = 22 \text{ mm} \quad L = 45 \text{ mm}$$

3. Choix du roulement



Figure 39: Représentation en modèle 2D de l'arbre et des paliers

Les charges maximales au niveau du roulement:

$$R = 25 \text{ kN et } R = 50 \text{ kN}$$

Le choix du roulement dépend de la vitesse, la direction de la charge et l'intensité de l'effort.

Le choix du roulement selon le type de la charge (voir figure 40)

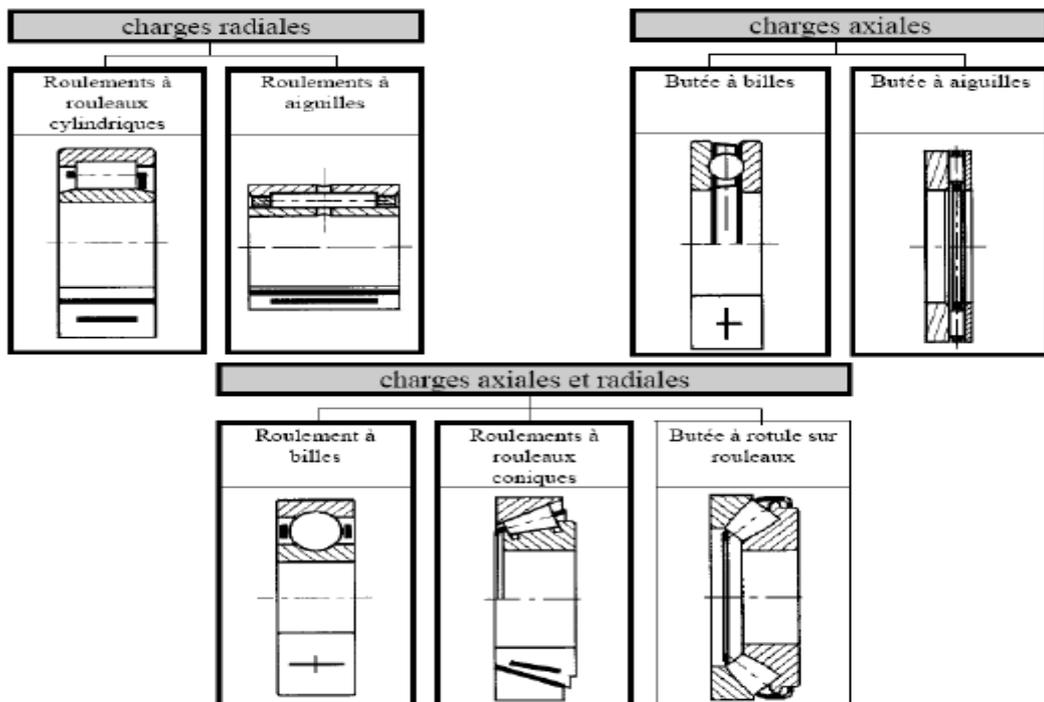


Figure 40: Types des roulements

Dans notre cas, on choisit des roulements à billes.

Le 2^{ème} critique est l'intensité de la charge. On a besoin des roulements avec un diamètre intérieur minimal de 80 mm et une valeur de charge : 25 kN et 50 kN.

⇒ 1^{er} étape du choix du roulement est le calcul de charge dynamique

Nous sommes dans un cas particulier d'une charge qui s'applique radialement sur le roulement donc la charge dynamique est égal :

$$P = F_r$$

⇒ 2^{ème} étape : calcul de la charge statique équivalente et la capacité.

– La charge statique :

La formule de la charge statique dépend a des coefficients normalise d'où :

$$P_0 = X_0 Fr + Y_0 Fa$$

Les valeurs de X_0 et Y_0 (tableau 21) :

Tableau 21: Tableau des caractéristiques des roulements à billes

Valeurs normalisées des coefficients X_0 et Y_0 (NF ISO 76)						
type de roulements		roulement à 1 rangée		roulement à 2 rangées		
		X_0	Y_0	X_0	Y_0	
roulements à billes	à contact radial	0,6	0,5	0,6	0,5	
	à rotules	0,5	$0,22 \cdot \cotg \alpha$	1	$0,44 \cdot \cotg \alpha$	
	à contact oblique	$\alpha = 15^\circ$	0,5	0,46	1	0,92
		$\alpha = 20^\circ$	0,5	0,42	1	0,84
		$\alpha = 25^\circ$	0,5	0,38	1	0,76
		$\alpha = 30^\circ$	0,5	0,33	1	0,66
		$\alpha = 35^\circ$	0,5	0,29	1	0,58
		$\alpha = 40^\circ$	0,5	0,26	1	0,52
$\alpha = 45^\circ$	0,5	0,22	1	0,44		
roulements à rouleaux	à rouleaux coniques	0,5	$0,22 \cdot \cotg \alpha$	1	$0,44 \cdot \cotg \alpha$	
	à rotules	0,5	$0,22 \cdot \cotg \alpha$	1	$0,44 \cdot \cotg \alpha$	

Donc:

$$P_0 = 0,6 Fr$$

Dans l'étape du choix, il faut vérifier ce critère important :

$$P_0 s_0 < C_0$$

Avec: $0.5 < s_0 < 0.8$ cas de faible exigences

$0.8 < s_0 < 1.2$ cas d'exigences normale

$1.2 < s_0 < 2.5$ cas d'exigences sévères

Dans notre cas on a :

La charge statique est :

$$P = 50 \text{ kN et } P_0 = 30 \text{ kN}$$

On a un diamètre minimal de l'arbre est égal à 80 mm.

Suivant un tableau normalisé (tableau 22) des roulements à bille.

Tableau 22: Gamme des roulements à billes

exécution normale										exécution particulière usuelles						
dimensions principales				vitesse limite tr/min graisse	série de base	épaulements en mm		charges de base		flasques		joints		rainure et segment d'arrêt		
d mm	D mm	B mm	r mm			d _a maxi	D _L mini	C daN	C ₀ daN	d'un coté	des 2 cotés	d'un coté	des 2 cotés	D _s	e _s	L
70	110	20	1	6 000	10	79,8	101,0	3 600	2 850	*	*	*	*	116,6	2,36	5,33
	125	24	2,5	5 000	02	84,0	111,8	6 200	4 400	*	*	*	*	134,7	2,72	6,88
	150	35	3,5	4 500	03	91,8	128,7	10 400	6 800	*	*	*	*	159,7	2,72	7,72
	180	42	4	3 600	04	99,7	150,3	14 400	10 300	*	*	*	*	192,9	3,00	8,79
75	115	20	1	5 600	10	84,8	106,0	3 950	3 350	*	*	*	*	121,6	2,36	5,33
	130	25	2,5	4 800	02	87,4	117,2	6 600	4 950	*	*	*	*	139,7	2,72	6,88
	160	37	3,5	4 000	03	98,3	137,2	11 300	7 700	*	*	*	*	169,7	2,72	7,72
	190	45	4	3 400	04	107,2	157,7	15 300	11 400	*	*	*	*	202,9	3,00	8,79
80	125	22	1	5 300	10	91,4	114,4	4 750	3 950	*	*	*	*	134,7	2,72	5,69
	140	26	3	4 500	02	95,6	126,2	7 300	5 300	*	*	*	*	149,7	2,72	7,72
	170	39	3,5	3 800	03	104,9	145,6	12 300	8 600	*	*	*	*	182,9	3,00	8,79
	200	48	4	3 200	04	117,0	167,0	16 300	12 500	*	*	*	*	212,9	3,00	8,79
85	130	22	1	5 000	10	96,4	119,4	4 950	4 300	*	*	*	*	139,7	2,72	5,69
	150	28	3	4 300	02	102,6	137,9	8 300	6 400	*	*	*	*	159,7	2,72	7,72
	180	41	4	3 400	03	111,4	154,1	13 300	9 700	*	*	*	*	192,9	3,00	8,79
	210	52	4	3 000	04			16 400	13 400	*	*	*	*			

⇒ Calcul de la durée de vie équivalente

On prend un choix de 2 roulements à bille de la série 02 avec un diamètre 80 mm.

Pour calculer la durée de vie pour un seul roulement, on utilise l'équation suivante :

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^n \text{ Et } L_{10H} = \frac{L_{10} \cdot 10^6}{60 \cdot N}$$

Avec :

- C : capacité de charge dynamique
- P : charge dynamique équivalente
- L₁₀ : durée de vie en million tours
- L_{10H} : durée de vie en heure de fonctionnement
- n=3 pour les roulements à bille
- N : la vitesse de rotation en tr/min

Dans notre cas, on a un seul type de roulement avec 2 charges dynamiques différentes.

P₁=50 kN et P₂=25 kN

Donc :

$$L_{1,10} = 3.375 \text{ et } L_{2,10} = 27$$

Pour calculer la durée de vie équivalente, on utilise l'équation suivante :

$$L_{E10} = \left[\sum \left(\frac{1}{L_{i10}} \right)^{1.5} \right]^{-1/1.5}$$

D'où

$$L_{E10} = 3.279$$

$$L_{E10H} = 10930 \text{ Heures}$$

Après ce calcul, il faut vérifier que cette valeur de la durée de vie est acceptable à partir du tableau 23 :

Tableau 23: Durés de vie du roulement choisi

Durées de vie indicatives de quelques paliers à roulements		
mode d'emploi	exemples d'emploi	durée de vie L_{10H}
usages intermittents	électroménager, outillages électroportatifs, automobiles, appareils de manutention et de levage, moteurs d'avions...	1 000 à 15 000
fonctionnant 8 heures par jour	véhicules industriels, machines-outils, machines agricoles, machines de production...	15 000 à 35 000
service en continu 24 heures 24	convoyeurs, compresseurs, certaines machines de production, ventilateurs, moteurs stationnaires	35 000 à 60 000
machines dont la fiabilité est très importante	machines à papier, machines textiles, navires, services des eaux, barrages...	100 000 à 200 000

Dans notre cas, on a un dispositif du levage, donc notre choix de roulement est acceptable. Ci joint la modélisation du roulement sur Solidworks.

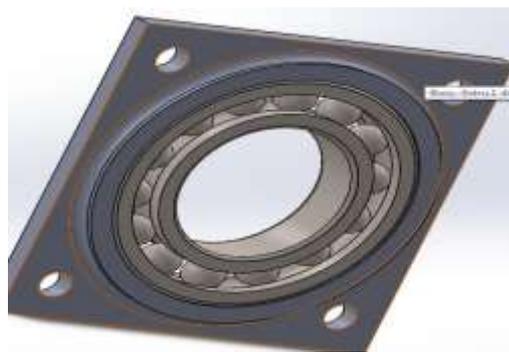


Figure 41: Palier avec roulement à billes adéquat en 3D

⇒ **Lubrification du roulement :**

La lubrification facilite les mouvements, diminue les frottements internes et protège contre la corrosion.

L'organigramme (figure 42) permet une première approche dans le choix d'un mode de lubrification.

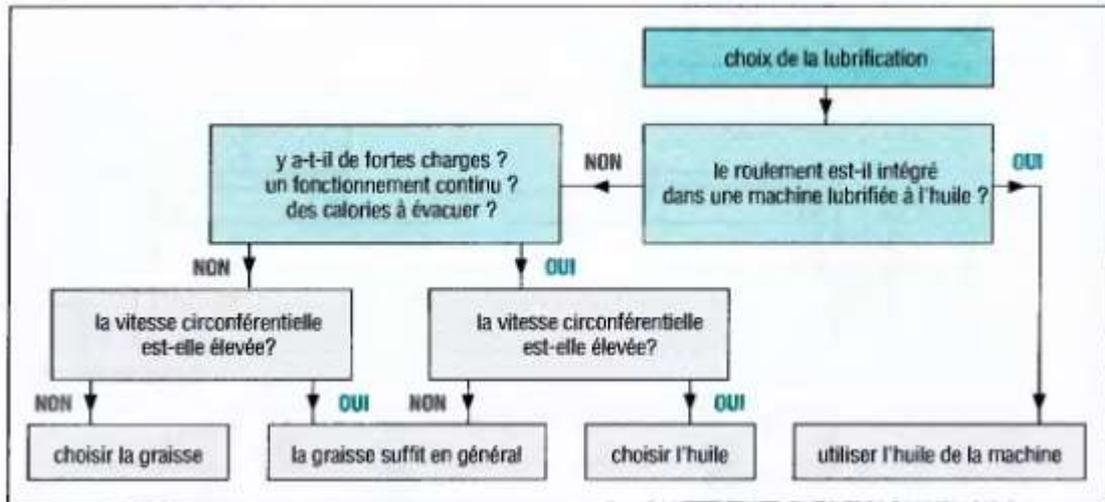


Figure 42: Choix de la lubrification du roulement

Dans notre cas on choisit la graisse parce qu'on a une petite vitesse.

VII. Guidage en translation

Voici les différentes formes du coussinet (voir figure 43).

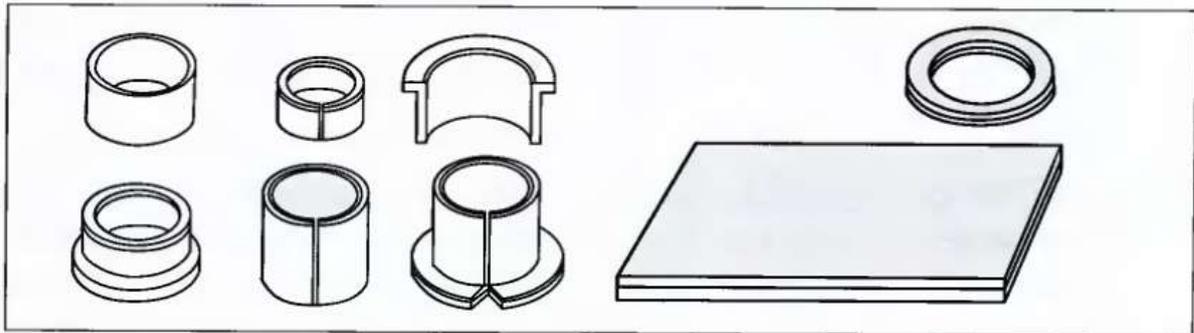


Figure 43: Formes de nylon disponible

On a 3 grandes familles de coussinet :

- **Coussinet autolubrifiant** : ils sont fabriqués en métal fritté à base de bronze, poreux, avec incorporation de lubrifiant .on a une variante de solutions suivant le cas de fonctionnement, fonctionnant à sec jusqu'à des vitesses périphériques de 6 m/s , solutions tout carbone ou graphite supportant des vitesses élevées jusqu'à 13 m/s.
- **Coussinets composites type glacier** : ils peuvent fonctionner à sec ou avec un léger graissage au montage sous des vitesses périphériques inférieur à 3 m/s. ce type de coussinet est constitué de trois couches différentes. La base est une tôle d'acier roule recouverte d'une couche de bronze fritte. La surface flottante peut être en résine acétal ou PTEE avec addition d'un lubrifiant solide : plomb, graphite...
- **Coussinet polymères (Nylon, PTFE, acétal...)** : ils sont constitués d'un seul matériau polymère homogène, qui peut être de PTFE, Nylon, acétal. Ils sont utilisés lorsqu'il est nécessaire d'avoir une grande résistance chimique. Ils sont insensibles aux poussières.



Nous avons choisi un coussinet en polymère « nylon ».

Le dimensionnement de notre coussinet est basé sur :

- Pression diamétrale moyenne
 - Vitesse
 - Nature de l'état de surface du matériau en contact, le facteur de rugosité doit être entre 2 et 4 μm .
- ✓ Le type de frottement.

Chaque type de frottement correspond à un coefficient (tableau24) :

Tableau 24: Coefficient de frottement

Genre de lubrification	Coefficient de frottement μ
Fonctionnement à sec	0,35
Lubrification initiale	0,12
Lubrification à la graisse	0,09
Brouillard d'huile	0,09
Lubrification à l'eau (mixte)	0,04
Lubrification à l'huile (mixte)	0,04

Dans notre cas, on a choisi le type de fonctionnement à sec.

- Calcul de la pression diamétrale :

$$P = \frac{F}{L \cdot d} = 28.57 \text{ N/cm}^2$$

- Produit $P \cdot v$ admissible

On a une vitesse de déplacement égal à 0.033 m/s. D'où :

$$P \cdot v = 0.95 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- Calcul de l'épaisseur minimale :

$$P \cdot v \leq 37,5 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\Delta T}{\mu} \left(\frac{1}{s} + \frac{8,33}{L} \right)$$

Avec :

ΔT : La différence de température.

μ : coefficient de frottement

s : l'épaisseur du nylon

D'où :

$$s \geq 10.6 \text{ mm}$$

Donc, on a choisi l'épaisseur du nylon de 20 mm.

- Calcul de la variation de la température :

$$\Delta T = \frac{P \cdot v \cdot \mu}{37,5 \cdot 10^{-3} \left(\frac{1}{s} + \frac{8,33}{L} \right)}$$

$$\Delta T = 133 \text{ }^\circ\text{C}$$

On a augmenté la variation de température pour que la durée de vie n'ait aucune valeur puisque la variation est supérieure à 80 $^\circ\text{C}$.



Disponibilité du nylon dans le marché :

Tableau 25: Standardisation de la plaque du nylon

Tubes		
	Diamètre intérieur minimum	8 mm
	Diamètre extérieur maximum	2 000 mm
	Longueurs standard	340, 500 et 670 mm
Plaques		
	Epaisseur minimum	1 mm
	Epaisseur maximum	50 mm
	Largeur maximum	600 mm
	Longueur maximum	2 000 mm

VIII. Assemblage soudé :

Dans l'atelier de soudage STROC, on utilise le métal d'apport ER70S-3 avec les caractéristiques suivantes :

- Limite d'élasticité : $R_e=420$ MPa
- Limite de la traction : $R_m=515$ MPa
- Limite de cisaillement : $R_{pg}=0.5 R_e=210$ MPa

Pour le calcul de l'épaisseur minimale du cordon de la soudure on emploie les tableaux 26 et 27.

Tableau 26: Types de soudures

Cas	Exemples	Contraintes	
		Représentation	Formules
traction			$\sigma = \frac{F}{S} = \frac{F}{a.L}$
cisaillement			$\tau = \frac{F}{S} = \frac{F}{a.L}$ $= \frac{F}{0.707.h.L}$ $L = AB + CD$
cisaillement avec traction			$\tau = \sigma = \tau_0 = \sigma_0$ $\tau = \frac{F}{h.L} \quad (L = AB + CD)$ <p>Mohr</p> $\tau_{max} = \frac{1.12 F}{h.L}$ <p>approximation usuelle</p> $\tau_{max} = \frac{1.414 F}{h.L} = \frac{F}{0.707.h.L}$
torsion			$\tau = \frac{M_f}{I_{wG} \cdot 0.707 h}$
flexion		<p>plan neutre</p>	$\tau = \sigma = \frac{M_f}{I_{wz} \cdot 0.707 h}$ <p>Mohr τ et σ → σ_{max} τ_{max}</p>

Tableau 27 : Tableau de calcul des soudures 1

Caractéristiques des cordons de soudures assimilés à une ligne		
soudures	torsion	flexion
	$I_{wG} = \frac{d^3}{12}$	$I_{wz} = \frac{d^3}{12}$
	$I_{wG} = \frac{d(3b^2 + d^2)}{6}$	$I_{wz} = \frac{d^3}{6}$
	$I_{wG} = \frac{b(3d^2 + b^2)}{6}$	$I_{wz} = \frac{bd^2}{2}$

-1^{er} partie haute : on a le cas du cisaillement avec une application de la charge de $F=50$ kN

$$\tau = \frac{F}{0.707 hl} \leq Rpg/s$$

D'où:

$$h \geq \frac{F \cdot s}{0.707 \cdot l \cdot Rpg} = 0,84 \text{ mm}$$

-2^{eme} partie : on a le cas de la flexion.

On calcule le moment de flexion au point de la soudure par la relation :

$$y = \frac{Mx^2}{2EI}$$

On a la flèche égale à 5 mm donc :

$$Mf = 41,8 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$\sigma = \frac{Mf}{\left(\frac{Iuz}{V}\right) \cdot 0,707 \cdot h} \leq Rpg/s$$

$$h \geq \frac{Mf \cdot s}{\left(\frac{Iuz}{V}\right) \cdot 0,707 \cdot Rpg}$$

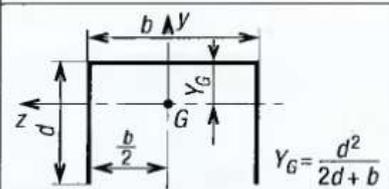
$$\text{Avec : } Iuz = \frac{d^3}{6} = 20,8 \cdot 10^6 \text{ mm}^3 \text{ et } V = 185 \text{ mm}$$

Donc:

$$h \geq 3,34 \text{ mm}$$

-3^{eme} partie :

Tableau 28: Tableau De Calcul Des Soudures 2

	$Iu_G = \frac{(b+2d)^3}{12} - \frac{d^2(b+d)^2}{(b+2d)}$	$Iuz = \frac{2d^3}{3} - 2d^2 y_G + (b+2d) y_G^2$
---	--	--

$$\text{Calcul } Yg = \frac{d^2}{2d+b} = 229,3 \text{ mm} \text{ Avec } d = 600 \text{ mm et } b = 370 \text{ mm}$$

Donc :

$$Iuz = 61,45 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

On applique la relation de la flexion :

$$\sigma = \frac{Mf}{\left(\frac{Iuz}{V}\right) \cdot 0,707 \cdot h} \leq Rpg/s$$



D'où :

$$h \geq \frac{Mf.s}{\left(\frac{luz}{V}\right) \cdot 0,707.Rpg}$$
$$h \geq 3.11mm$$

CHAPITRE 2 :

Modélisation Solidworks et TEKLA structure

Dans ce chapitre, nous allons présenter les modèles de STROC BEAM ROTATOR sur un logiciels CAO pour la visualisation et la vérification des calculs et de la conception. Tekla structure est un logiciel qui permet la représentation et la communication avec les machines de l'usine.

I. Modélisation solidworks

BEAM ROTATOR est modélisé sur solidworks dans son intégralité tôlerie assemblage boulonné et soudé, son système motoréducteur va permettre la rotation des profilés, système hydraulique qui assure le positionnement des profilés verticalement.

La partie inférieure (figure 44) se décompose d'un contre poids carré plein 350*350 peint en vert qui assure la stabilité de la structure. Cette dernière est soudée avec la tôle de base qui contient les perçages permettant la fixation de la platine de vérin (avec liaison rotule). Sur la tôle de base peinte en mauve est assemblé les 2 profilés UAP 300 peint en jaune (assemblage soudé), les deux UAP 300 on y monte des platines qui ferons l'interface entre la partie bas et les tôles soudés. Ces dernières peint en bleu sont assemblés avec des boulons et l'assemblage soudé avec les tôles du support des profilés carrés 300*300.

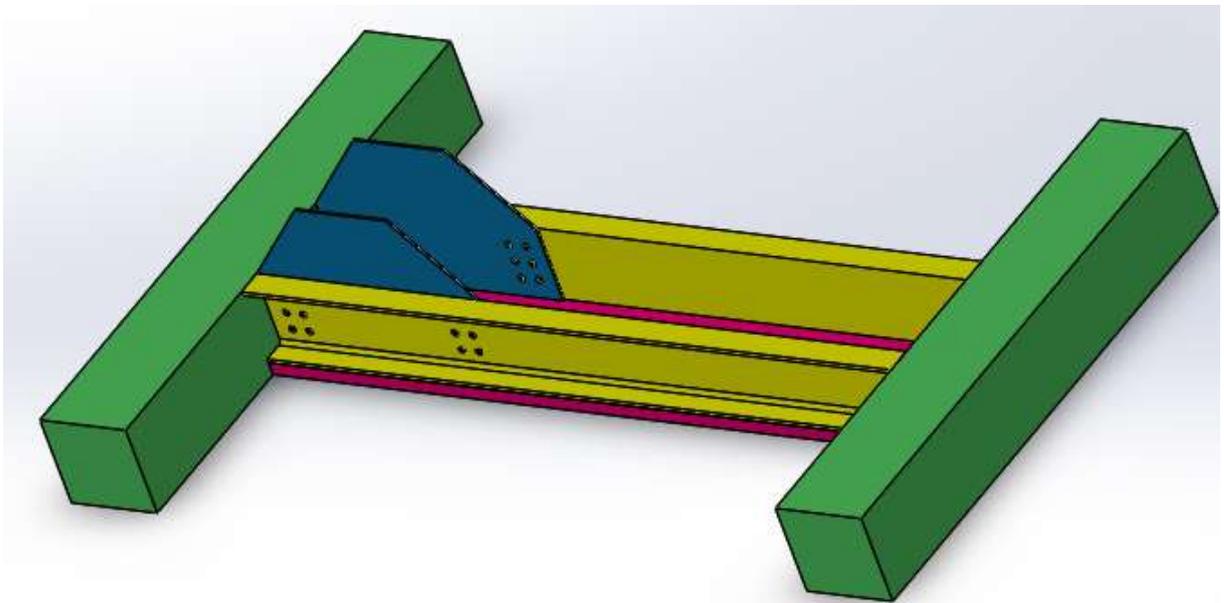


Figure 44: Partie inférieure de STROC BEAM ROTATOR

Puis on va fixer la platine inférieure du vérin peinte en rouge sur la tôle inférieure du bâti bas. Le vérin sera fixé par une liaison rotule (figure 45). Le carré creux 300* 300 on sera monté la platine supérieur peinte en jaune. A ce point on va assembler les tôles 350 épaisseur 10mm, 2800 mm en hauteur (figure 46) avec la soudure bout à bout entre eux et sur les platines montées boulonnés sur le bâtis bas.

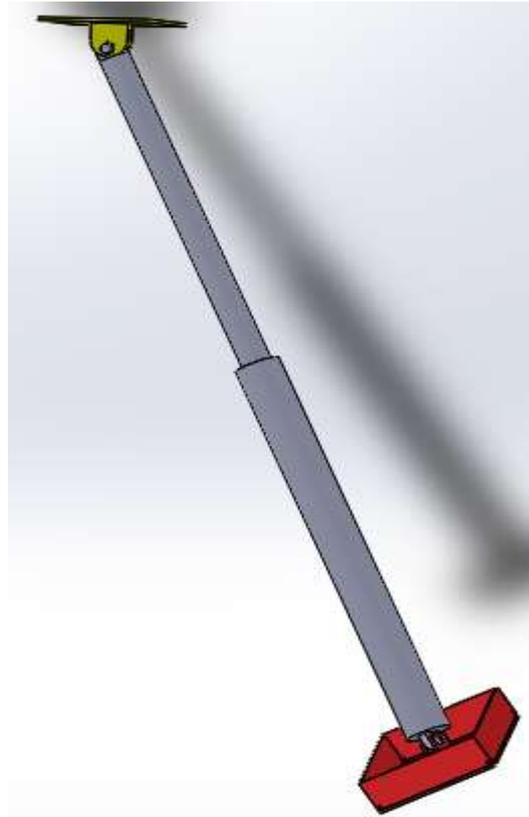


Figure 45: Modélisation du vérin et ses platines en rotule

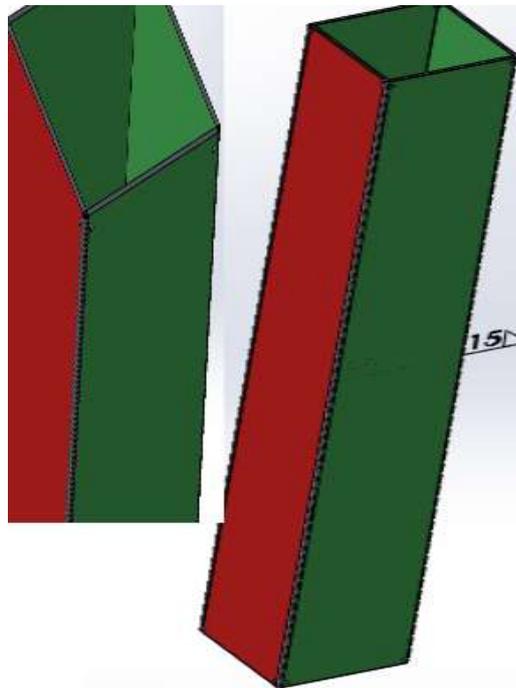


Figure 46: Les tôles sur lesquelles est monté le nylon 101 assemble par soudage

Remarque:

- Les carrés pleins 350*350 seront remplacé par des carrés creux qui sera remplis avec di béton armé. On économisera jusqu'à 15 000 DH.
- On a une fixation latérale des plaques de 350 soudés avec la platine inférieure du vérin moyennant deux boulons (figure 47).

- Sur les plaques soudées on colle le nylon 101 qui est un élément de guidage en translation.

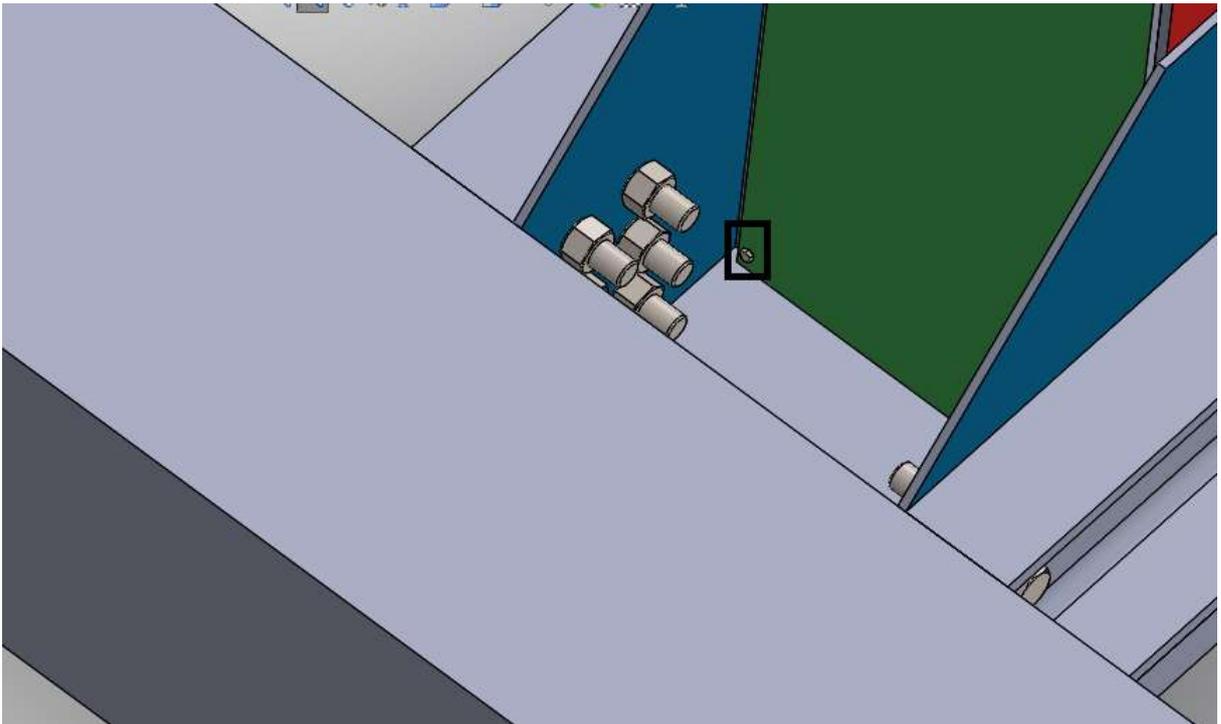


Figure 47: Modélisation de la fixation du platine vérin

A ce stade, on est arrivé à BEAM ROTATOR sans bras haut, mais on a prévu le perçage sur le carré creux qui va nous permettre l'assemblage boulonnées avec les bras de haut (figure 48)

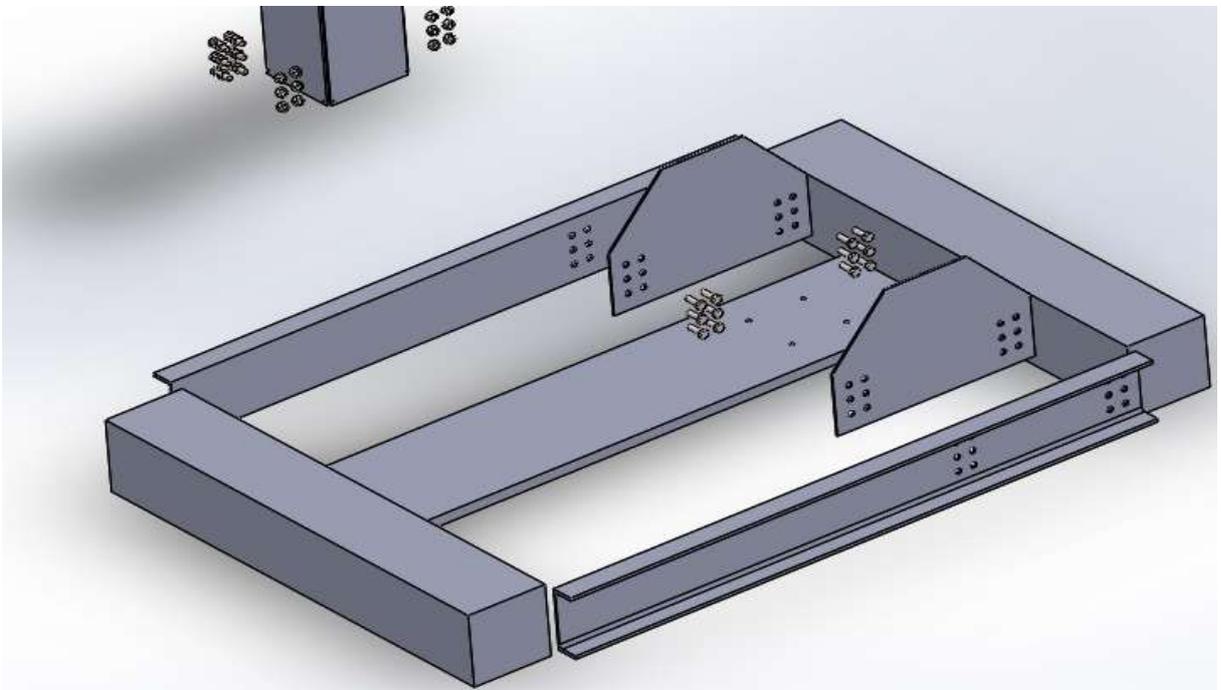


Figure 48: Vue éclaté de la partie inférieure de BEAM ROTATOR

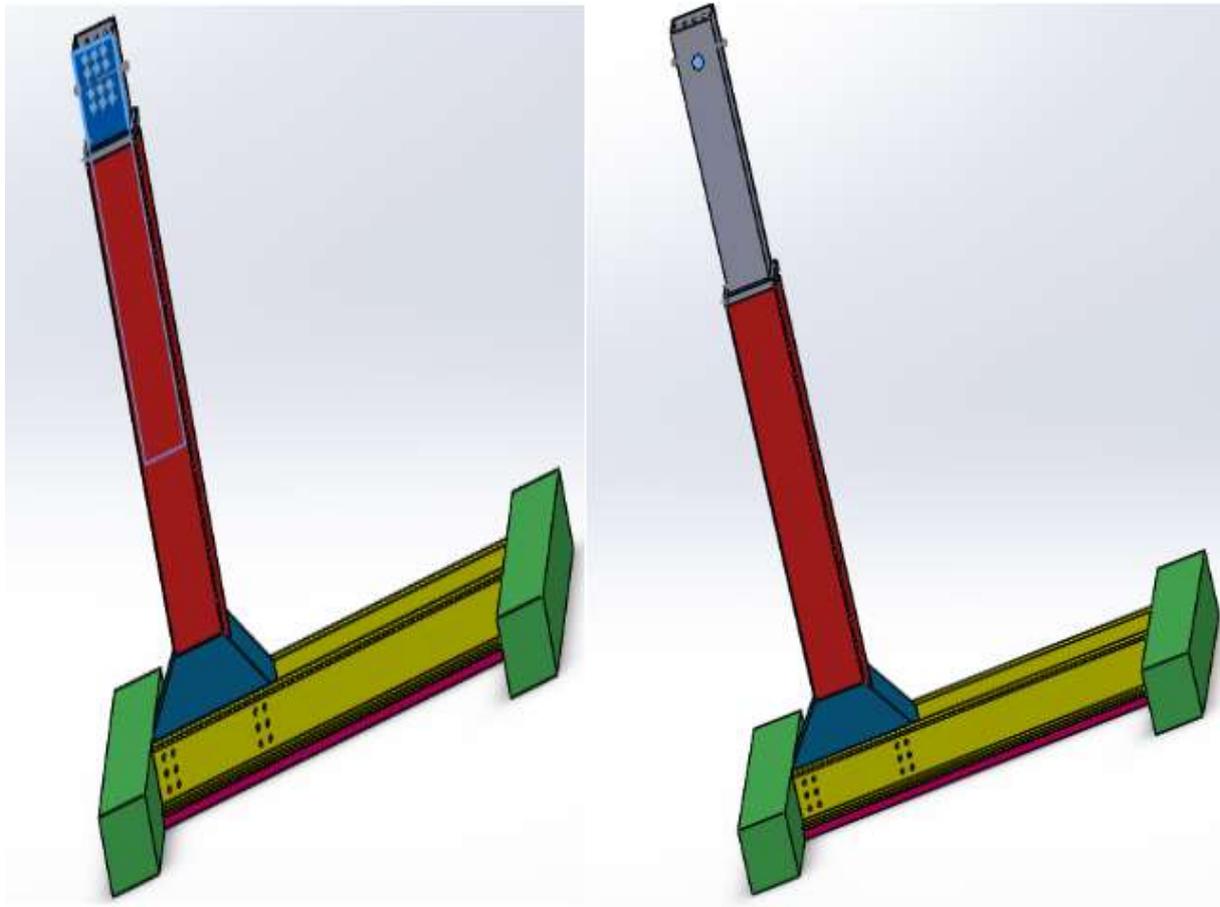


Figure 49: BEAM ROTATOR sans bras haut

Le bras haut est composé des tôles soudées pour deux raisons principales. Premièrement gagner sur sa hauteur dans les environs de 400 mm en lui donnant un angle de 70 degré. Deuxièmement lieu, pour avoir une esthétique plus agréable et s'éloigner des formes figées.

L'assemblage du bras haut se fait suivant quatre rangs de trois boulons classe 6.8 sur les deux côtés. Les cinq tôles qui forment le bras sont soudées, vu qu'on a prévu un perçage qui va épouser l'arbre moteur. La vue éclatée sur la figure 50 explique d'avantage cet assemblage.

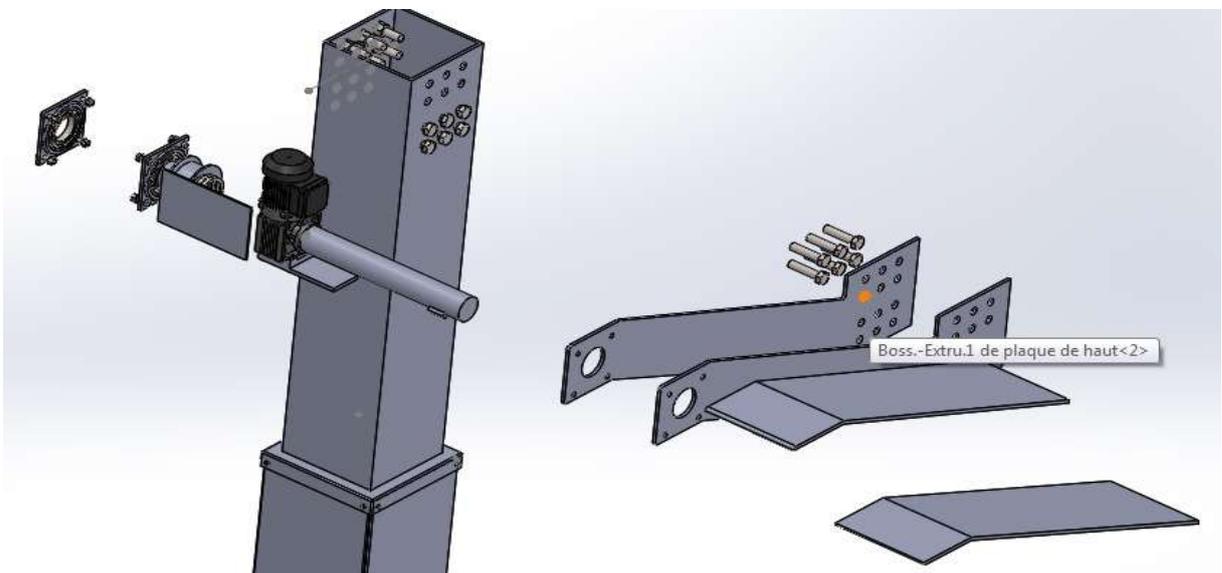


Figure 50: Vue éclaté du bras haut



La rotation du profilé est assurée par un motoréducteur qui a un grand couple et une petite vitesse angulaire. Donc, le système de rotation (figure 51) est composé d'un motoréducteur sur lequel est monté un arbre claveté pour avoir une transmission de puissance par obstacle. Le positionnement est assuré par deux bagues et un écrou encoche. Le guidage de l'arbre est assuré par des paliers avec roulement à billes montés sur les tôles du bras de BEAM ROTATOR par boulons.

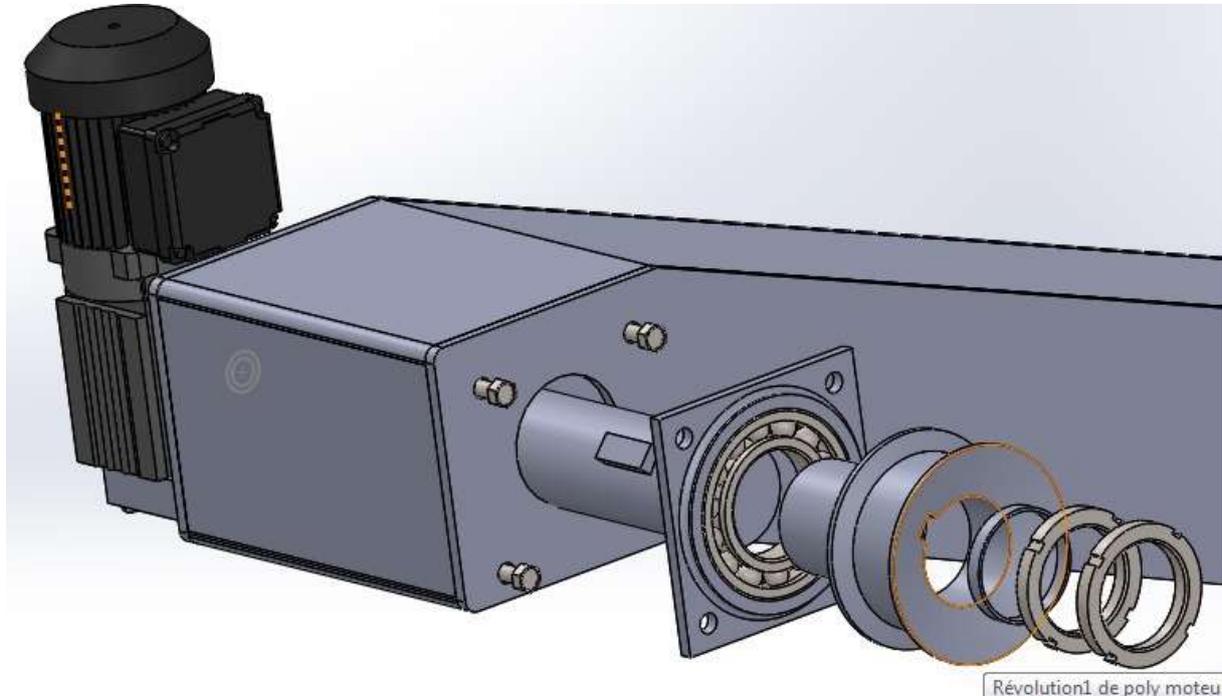


Figure 51: Vue éclatée du moteur et sa chaîne de transmission de puissance

A ce stade, on a développé les principaux organes de BEAM ROTATOR, leurs assemblages et leurs modélisations sur Solidworks (figure 52).

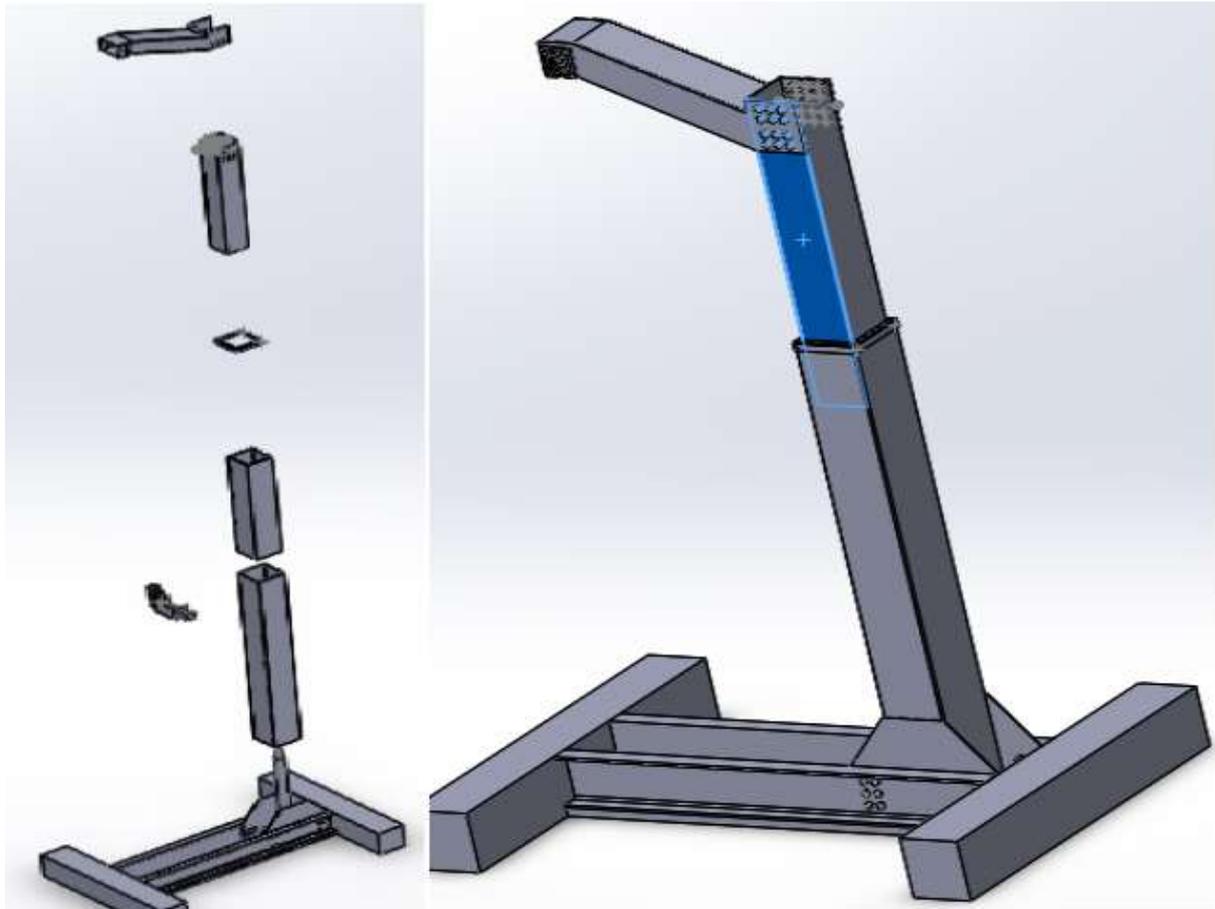


Figure 52: Bras de BEAM ROTATOR vue assemblée et éclatée

Il suffit de mettre les deux bras et installer la pièce sur les sangles et actionner les motoréducteurs en série pour assurer la rotation du profilé. Hydrovérin a assuré le système hydraulique avec la synchronisation et la manette de commande avec trois boutons :

- Bouton de montée.
- Bouton de décente.
- Bouton d'arrêt d'urgence.

Les trois boutons sont sur la centrale hydraulique positionnée au milieu entre les deux bras de la machine.

La figure 53 représente la vue d'ensemble sur la modélisation de Beam Rotator sur Solidworks.

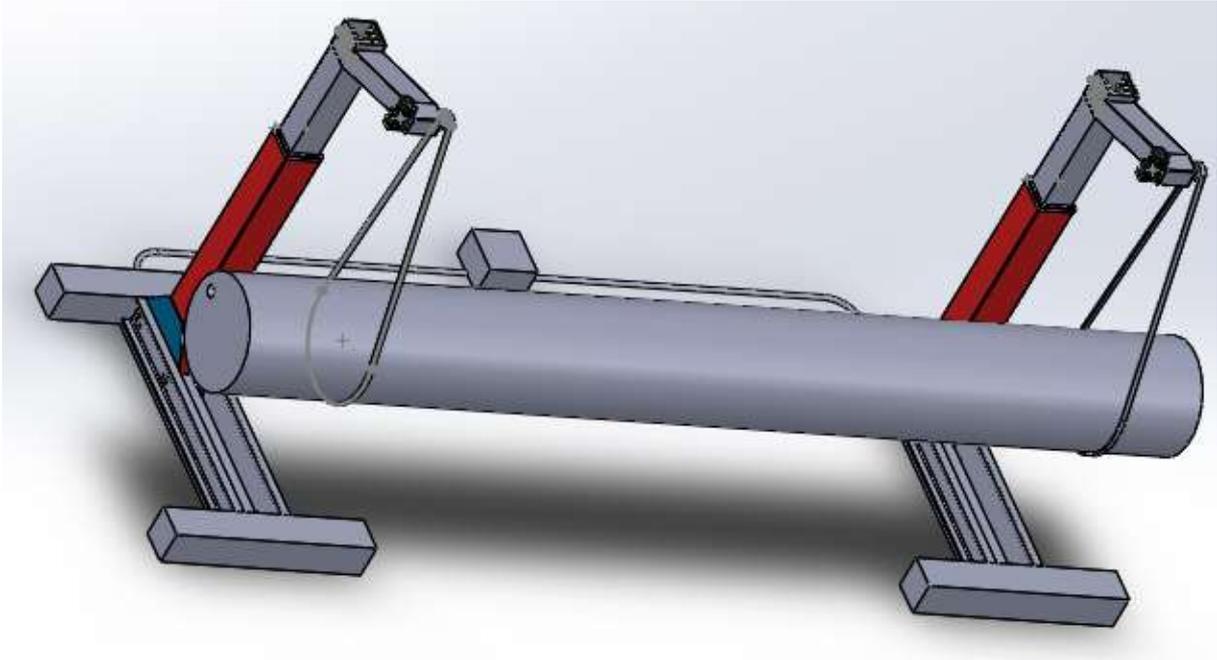


Figure 53:BEAM ROTATOR

La mise en plan des pièces principales de Stroc Beam Rotator sont sur L'ANNEXE 3.

La simulation de BEAM ROTATOR sur solidworks (ANNEXE 4) montre le positionnement de la pièce (diamètre 1500 mm et longueur de 10 mètre) en faisant une rotation de 360 degrés durant 28 secondes avec les vérins en position ouverte (cas critique).

II. Modélisation Tekla structures

Tekla structures est le logiciel employé par STROC pour le dessin des structures et l'obtention des plans d'assemblages et de définition de chaque élément de la structure. Ce dernier nous permet d'avoir des fichiers DXF facilitant le découpage et le débitage des tôles et des barres sur VORTMAN et l'oxycoupeuse.

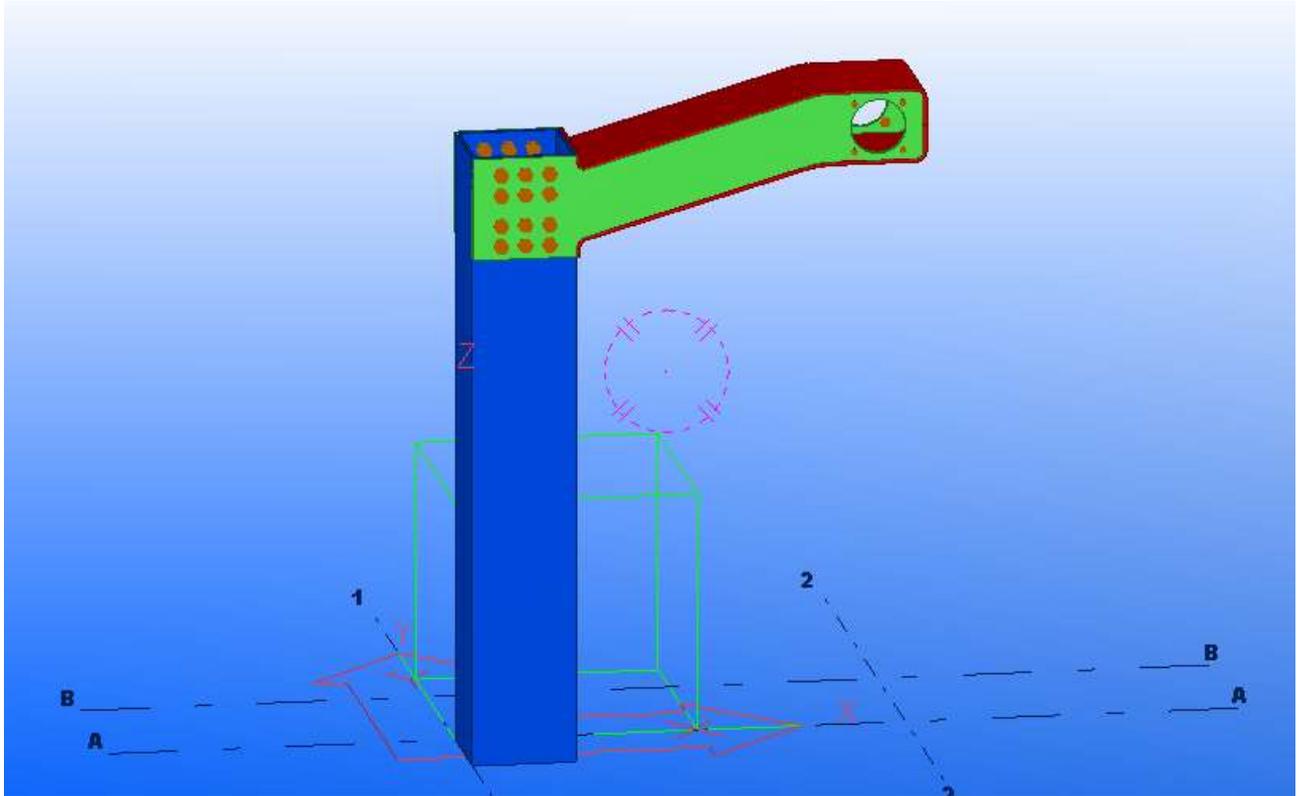


Figure 54: Visualisation des lignes de construction sur Tekla structure

On a repris sur Tekla la structure de Beam Rotator avec les mêmes dimensions et le même assemblage boulonné et soudé. Le vérin et le couvercle dépendent de l'incapacité de Tekla concernant la modélisation.

Pour la modélisation sur Tekla, on doit dessiner des lignes de construction (figure 54).

Tekla structure ne possède pas de modélisation en translation entre deux élément, d'où la séparation de la potence haute (figure 56) et basse (figure 55).

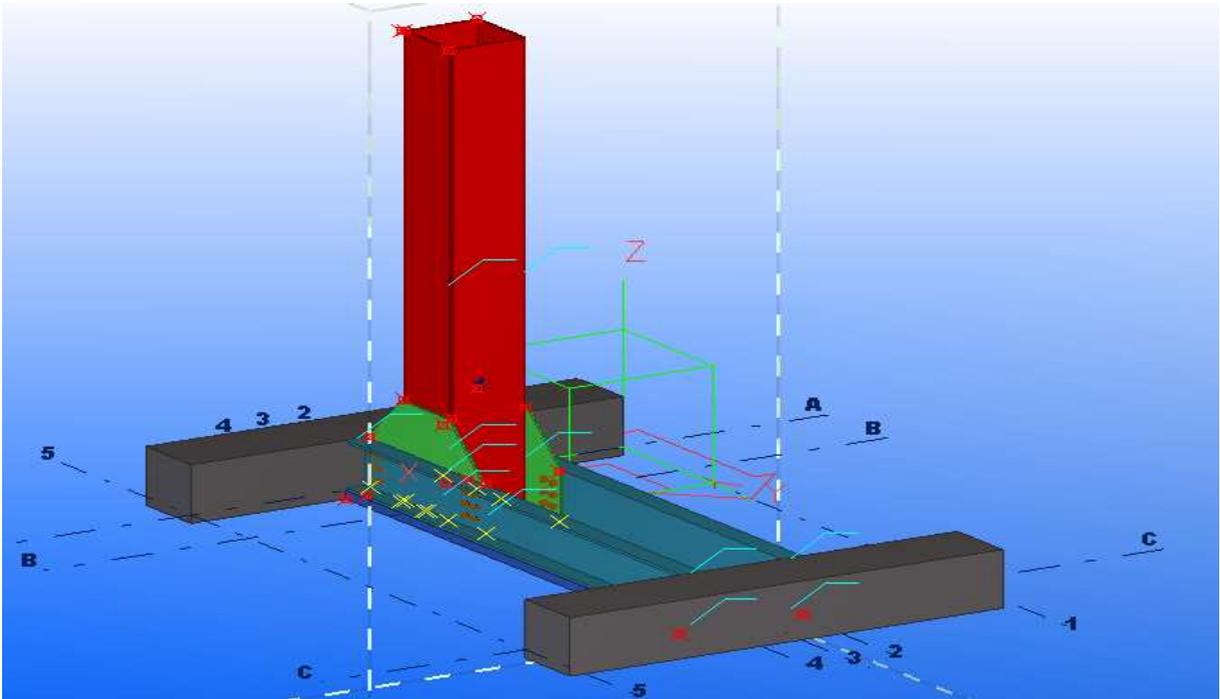


Figure 55: Potentiel inférieure de BEAM ROTATOR

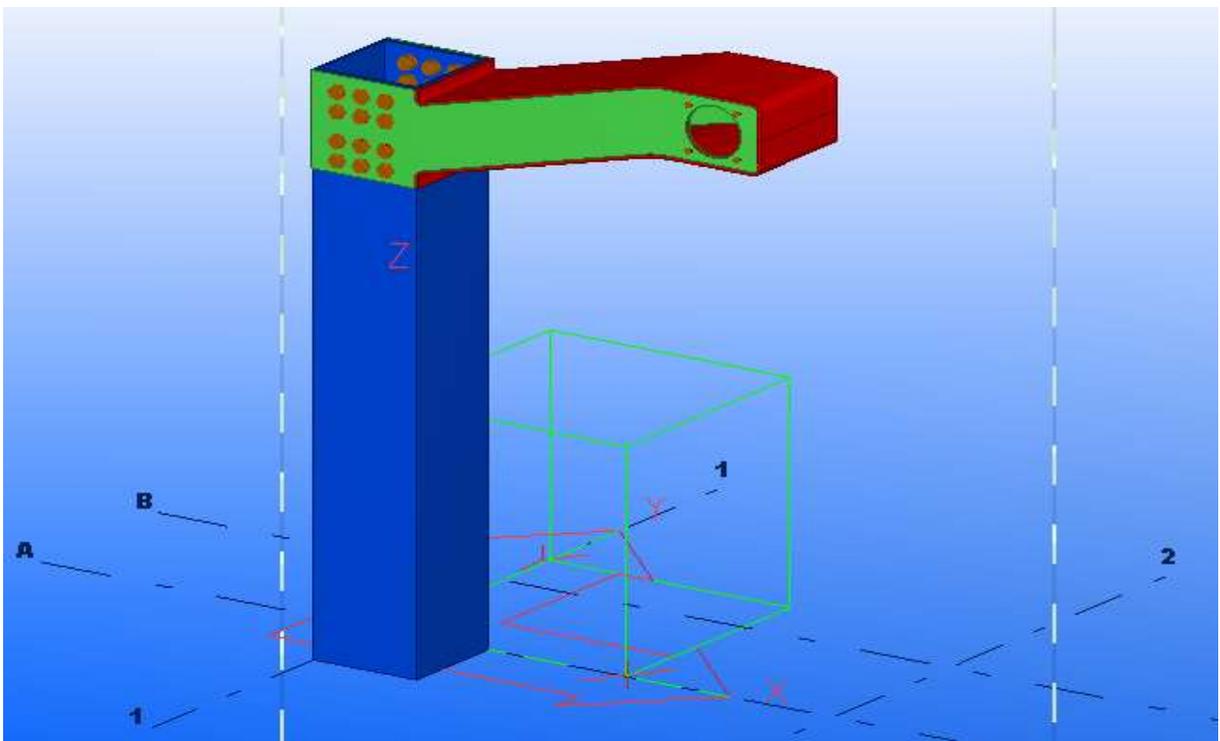


Figure 56: Potentiel supérieure de BEAM ROTATOR

Les plans de définition et les plans d'assemblage de Tekla structure sont sur L'ANNEXE2.

Partie 4 :

Evaluation économique du projet

Le budget constitue la contrainte majeure dans l'atteinte des objectifs du projet. Bien que les industriels s'entendent sur l'importance de respecter les limites budgétaires du projet, il est très fréquent que celles-ci deviennent difficilement contrôlables en cours de réalisation.

C'est pourquoi, une évaluation technico économique s'est avérée nécessaire. Cette partie donc sera consacrée à estimer le prix et faire une comparaison avec le produit chez les fournisseurs.

I. Estimation de la valeur BEAMROTATORSTROC

1. Structure métallique

Les valeurs du poids des profilés sont basées sur un fichier TEKLA (voir figure 57)

Distribution	1	2	POUTRE	UAP300	2600	S275JR		119.6
Assemblage	<input checked="" type="checkbox"/>							
Expédition	<input type="checkbox"/>							
		Repère	Qté	Nom	Désignation	Long.	Qualité	Finition
		CROQUIS DE DEBIT						
					Nom du projet:		Dessinateur:	
					BEAM ROTATOR		CMI FST	
					N° d'affaire:		Date création:	
				09-001		31.05.2016		
						Indice révision:		

Figure 57: Nomenclature des pièces en fichier TEKLA

Le tableau suivant représente le calcul du poids de BEAM ROTATOR:

Tableau 29: Calcul du poids de BEAM ROTATOR

Potence Inferieur	POIDS (KG)	Somme
4*UAP 300	119.6	478.4
8*PL10*350	76.9	615.2
4*PL10*600	36.1	144.4
2*PL50*596	608.2	1216.4
4*BL350*350	2019.4	8077.6
Total		10532

Potence Supérieur	Poids	Somme
2*Tube C300*300	159.5	319
4*PL12*400	25.5	102
4*PL324*10	29.5	118
Total		539

Donc la somme totale du poids de la structure est :

$$Masse = 10532 + 539 = 11071 \text{ Kg}$$

D'où la valeur budgétaire sachant que la valeur d'un kilo est 7 DH :

$$77497 \text{ DH}$$

2. Installations hydraulique :

Notre installation hydraulique se compose de :

- ✓ 2 vérins hydrauliques doubles effet ;
- ✓ Centrale hydraulique ;

- ✓ Tableau électrique de commande ;
- ✓ Flexible.

Dans ce cas, nous avons contacté un fournisseur local « HYDROVERIN » qui s'installe à BOUSSOUKORA.

Donc la valeur estimée (voir tableau 30) de notre installation est :

45518 DH

Tableau 30: Devis hydro-vérin

Code	Désignation	Unité	Quantité	prix unit,brut	montant H.T	rem %	montant H,T
	Centrale hydraulique			-	-		-
	Puissance 5.5 CV				-		-
	Debit HLP 45				-		-
	Reservoir: 40L				-		-
	Pression: 180 Bars				-		-
	Distributeur électrique, clapets, niveau		1	18 980,00	18 980,00		18 980,00
					-		-
	Verin hydrauliques F 5 T				-		-
	Course: 1000 mm		2	5 510,00	11 020,00		11 020,00
					-		-
	Tableau électrique de commande		1	3 600,00	3 600,00		3 600,00
					-		-
	Flexibles hydrauliques lg: 6 m				-		-
	avec limiteurs de débit 3/8		4	1 083,00	4 332,00		4 332,00
					-		-
	Délai: 4 à 5 Semaines				-		-
					-		-
	Paiement: 50% à la commande, le solde				-		-
	à l'enlèvement				-		-
					-		-
	Sincères salutations				-		-

code	Base	Taux	Montant
	37 932,00	20%	



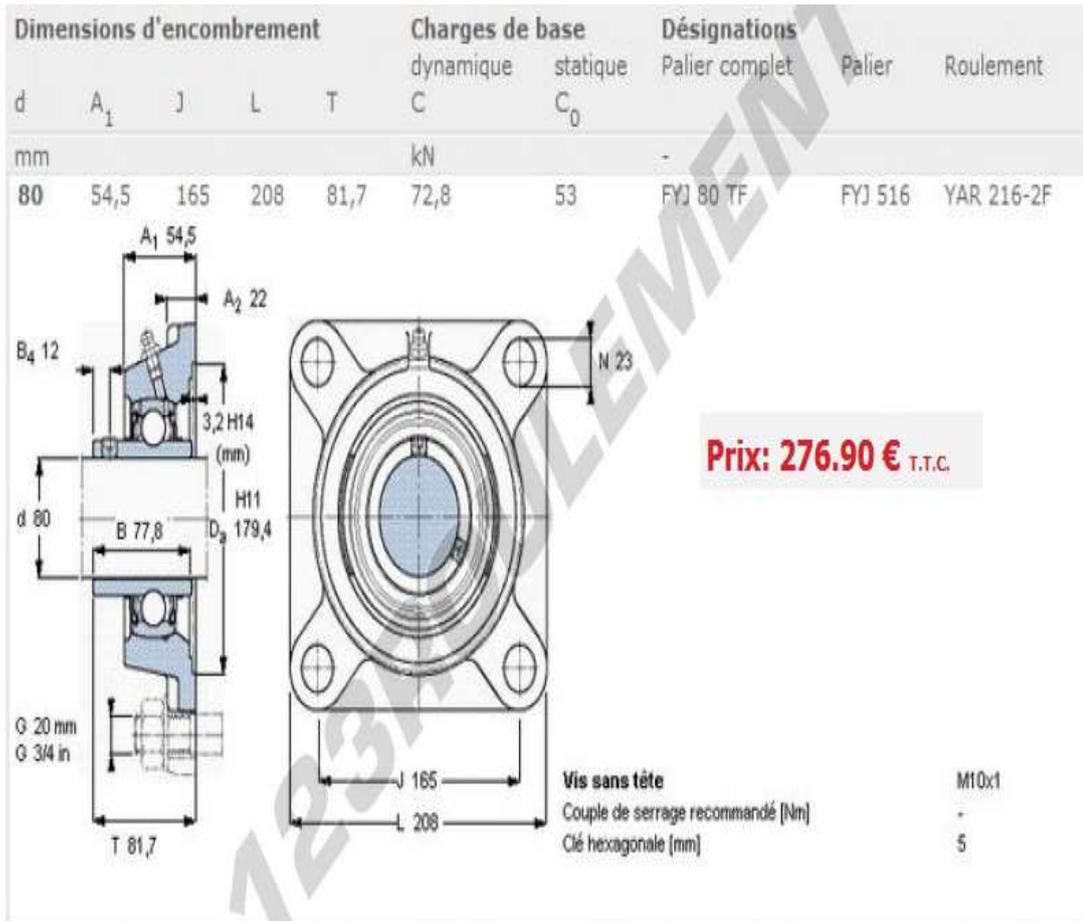
	MONTANT HT	TVA	TOTAL TTC
	37 932,00	7 586,40	45 518,40

3. Guidage en rotation

Dans notre système de guidage en rotation, on a besoin de 4 roulements et 4 paliers. On a choisi un fournisseur mondial SKF qui s'installe au Maroc (tableau 31).

Tableau 31: Palier à roulement à billes

Dimensions d'encombrement					Charges de base		Désignations		
d	A _i	J	L	T	dynamique C	statique C ₀	Palier complet	Palier	Roulement
mm					kN		-		
80	54,5	165	208	81,7	72,8	53	FYJ 80 TF	FYJ 516	YAR 216-2F



Le prix des 4 paliers avec roulements est : 1107.6 euro (12161.5 DH)

Choix de la poulie : fabrication spéciale dans l'atelier STROC ainsi que l'arbre moteur.

4. Choix de sangle :

Pour un levage supérieur à 5 tonnes, on trouve une sangle de levage de 6 tonnes (figure 58) avec les caractéristiques suivantes :

- L'épaisseur est environ 2,2 mm.
- La largeur est 50 mm.

Le prix est proportionnel à la longueur. C'est-à-dire un mètre vaut à 1.86 euro.

Nom Du Produit	Prix HT
Sangle POLYESTER bleue largeur 50 mm CR 6t	1.86 €



Figure 58: Les sangles

La longueur utile pour chaque sangle est définie par la formule de la courroie :

$$L = 2 * C + \frac{\pi}{2}(D + d) + \frac{(D - d)^2}{4C} = 7,4 \text{ m}$$

La longueur utile pour les 2 sangles est 14.8m. D'où la valeur estime est : 27.52euro (303DH)

5. Moteur et réducteur :

Le choix du moteur s'est porté sur un moteur réducteur de type C avec les caractéristiques explicité au tableau 31 et la figure 59. Le calcul déjà développé à la partie3 paragraphes V. L'étude nous a donné les caractéristiques suivantes:

- $P_u = 5.5 \text{ kw}$
- $N_2 = 6.5 \text{ tr/min}$
- $C = 6519 \text{ N.m}$
- $Poid = 232 \text{ kg}$
- $K_1 = 559 \text{ mm}$
- $K_0 = 380 \text{ mm}$
- $g = 260 \text{ mm}$

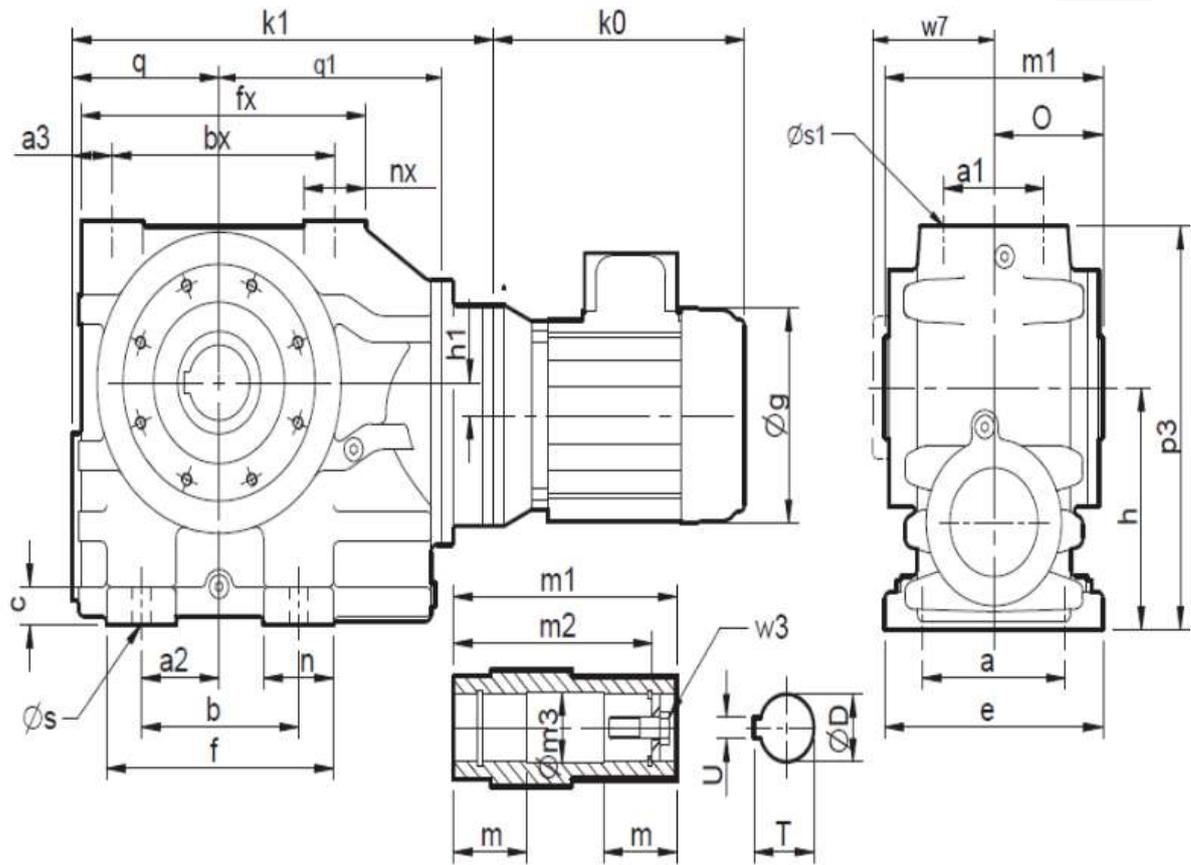


Figure 59: Schéma moteur de rotation de profilés

Tableau 32: Tableau des dimensions du motoréducteur

Type	a	a1	a2	a3	b	bx	c	e	f	fx	h	h1	n	nx	o	p3	q	q1
C0721	150	100	75	35.5	135	215	28	185	202	280	180	26	67	63	109	302	143	220
C0821	200	120	92	43	180	250	35	250	260	326	225	28	80	71	125	375	168	255
C0921	250	135	115	50	235	290	40	305	320	380	280	40	85	85	150	457	195	300

Type	s	s1	w7	D	m	m1	m2	m3	T	U	w3
C0721	18	M20 x 2.5 x 34	125	60	79	218	188	60.5	64.6	18	M20 x 2.5, 80
C0821	22	M20 x 2.5 x 34	143	70	90	250	220	70.5	75.1	20	M20 x 2.5, 80
C0921	26	M24 x 3.0 x 45	169	90	107.5	300	265	90.5	95.6	25	M24 x 3.0 x 110
C1021	26	M24 x 3.0 x 45	198	100	132.5	350	313	100.5	106.6	28	M24 x 3.0 x 110

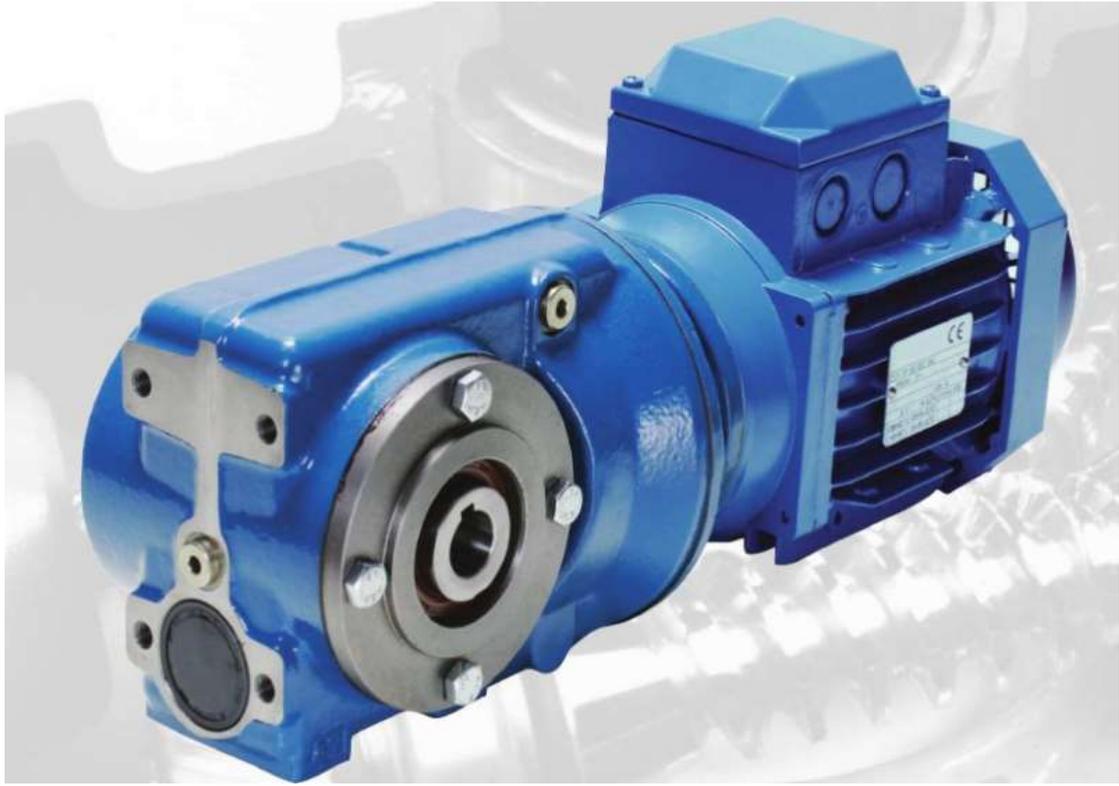


Figure 60: Photo réelle du motoréducteur

La proposition de prix est 920euroa peu près 10000 DH pour ce motoréducteur (figure 60).

6. Guidage en glissière

Notre besoin pour satisfait une liaison glissière avec le nylon est de 4 plaques de 350*1800 (mm) avec le prix d'un m² 449 euro. Et qui vaut 4939 DH.

- ✓ La somme de la surface des plaques nécessaires est :

$$\text{Surface de plaque} = 4 * 350 * 1800 = 2.52 \text{ m}^2$$

- ✓ Le budget estimé pour la réalisation du cette liaison est :

$$\text{Surface de plaque} * \text{prix du m}^2 = 2.52 * 4939 = 12446.3 \text{ DH}$$

Le prix du nylon nécessaire est de 12 446 DH.

Conclusion :

Le montant nécessaire pour réaliser notre projet est :

157226 DH

Les détails du calcul sont exprimés au tableau 33.

Tableau 33: Inventaire des éléments de BEAM ROTATOR et leur prix

Equipment	Cout en DH
Elément structural	77497
Installation hydraulique	45518.40
Palier avec roulement	12161.50
Moteur + réducteur	10000
Sangle	303
Nylon	12446.30
Somme	157926.2

II. Comparaison entre STROC BEAM ROTATOR et les produit similaires :

Nous avons contacté un ensemble de fournisseurs qui commercialisent les positionneurs de profilé :

- ✓ JMT Rotator,
- ✓ FastRotator,
- ✓ STIERLI-BIEGER.

Qui nous ont fourni différents devis pour leurs produits, voici un exemplaire de devis sur la figure 61.

Lomboser S.A.
Zona ind. De Vagos 93
3840 385 Vagos
Portugal
Tel.: (+351) 234790010
Mob.: (+351) 961052190



PRICE	: EURO 25.600,00 (Ex-Works - Portugal)
SALES & ASSEMBLY CONDITIONS	: Our offer is subject to change and based on the conditions in this offer and the General Conditions
PRICE	: net, excluding VAT
DELIVERY	: 8 weeks after down payment
PAYMENT	: 40% at order; 50% before delivery; 10% after delivery
OWNERSHIP	: The machine remains the property of the seller until full payment by the customer.
PACKING	: Not included, not normally required
MOTOR VOLTAGE	: 400 Volt ± 5%, 50 Hz, 3 ~/PE
COLOR TREATMENT	: all parts are standard painted in the colors: Black/Grey/Yellow (RAL 7021 / RAL 7035 / RAL 1028)
DELIVERY, ASSEMBLY & START	: Not included

Figure 61: Extrait de devis fastrotator 8tonnes

Le tableau ci-dessous représente la comparaison en terme de capacité, hauteur, course et prix entre notre produit et ceux disponibles sur le marché.

Tableau 34: Comparaison entre STROC BEAM ROTATOR et les produits de référence

Fabriquant	Modèle	Capacité (tonne)	Hauteur maximal (mm)	Prix
STIERLI-BIEGER	Stierli-Rotator 2000-6	6	4371	48 800 euro 536 800 DH
	Stierli-Rotator 2000-12	12	4371	55 990 euro 615 890 DH
JMT	Jmt 678	4	2402.5 Course de 700 mm	16 500 euro 181 500 DH
FAST ROTATOR	Fr 1006	6	3460 course de 850	20 400 euro 268 400 DH
	Fr 1508	8	3641 Course de 1150	25 600 euro 281 600 DH
STROC	Stroc beam rotator	10	4112	157 926 DH

STROC BEAM ROTATOR dépasse tous les autres en termes de hauteur, ce pendant en terme de capacité il est au milieu entre Stierli-Rotator 2000-12 et Fr 1508

Tandis que pour le prix, il bat tous les records en s'éloignant des prix de vente proposés sur le marché.

Remarque :

Les prix des trois fournisseurs n'incluent pas la livraison, le montage et autres frais, avec une garantie produit d'un an.

III. Gains direct et indirect en cas d'implantation de BEAM ROTATOR

Au cours de notre visite à l'atelier de soudage, la durée estimée pour positionner ou changer le profilé entre la demande du chariot et l'exécution des tâches est base sur 2 critères :

- ✓ La disponibilité de charriot élévateur.
- ✓ Le temps d'exécution de la tâche.

D'où la durée moyenne trouvée de 6 à 8 minutes.

Pour un travail en série, on pose le temps de chargement du profilé de 15 minutes et on considère une valeur moyenne de positionnement de 8 minutes.

Donc le temps mort dans une seule tâche est 24 minutes 8×3 (face). Et pour notre Beam Rotator on peut maximiser le temps d'une seule tâche à 3 minutes.

Exemple :

Un profilé de 6 m avec une longueur du cordon de soudure égal 3 m. On estime la durée pour souder un 1 m par le procédé MIG est 2min.

On suppose : quand on a 10 profilés.

- Le temps d'exécution de la tâche est :

$$(Nbprofilé * Trotation) + (Nbprofilé * Tsoudage) + (Nbprofilé * Tchangeement)$$

Donc on a un gain de 210 minutes (3 heures et demi) comme montre le tableau 35 ci-dessous.

Tableau 35: Comparaison entre la méthode employé et Beam Rotator en termes de temps

Avec la méthode classique	Avec Beam Rotator
240	30
180	180
150	150

On aboutira à un gain annuel de 1092 heures qui correspond à un gain budgétaire de 14196 DH. L'opération de positionnement entraîne des fois l'arrêt du personnel ainsi que la manutention qui est primordiale dans d'autre unité de l'usine, donc on prend un coefficient de 2.

Donc les coûts directs et indirects sont estimés à 28 392 DH.

Voici le schéma représentant l'atelier de soudage et la disposition des STROC BEAM ROTATOR. On a besoin de trois machines ce qui est un investissement de près de 470 000 DH. Sur chaque poste, on aura des gains en productivité, qualité de livraison, l'ergonomie de travail... La valeur du gain chiffrable sur les 3 postes est de 85 176 DH annuelle. Donc, en 5 ans et demi on va rembourser notre investissement.

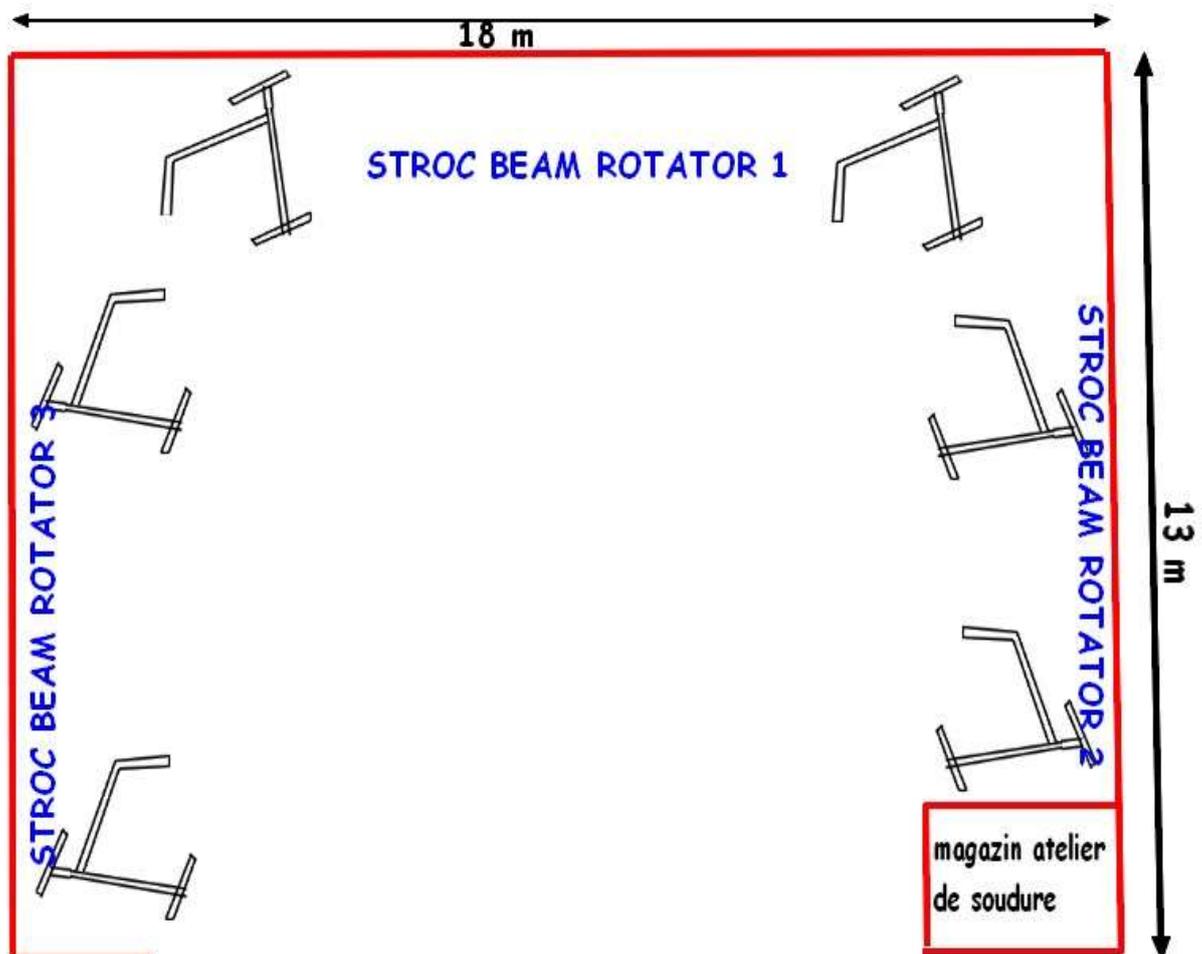


Figure 62: Disposition des STROC BEAM ROTATOR à l'atelier de soudure

Conclusion :

Notre projet sera réalisé avec un peu près la moitié de produit chez les fournisseurs.

Ainsi que l'élimination de coût important occasionné par les moyens de rotation employée. Maintenant on a augmenté la productivité de l'atelier de soudure avec de meilleure condition de travail et respect de la sécurité.

Conclusion et perspectives

Ce projet de fin d'études a été élaboré dans le but de faire une étude de conception et dimensionnement d'un retournage de profilés « STROC BEAM ROTAOR » pour le soulèvement, le déplacement et le positionnement des profilés et les éléments à soudés. Pour ce faire, nous avons utilisé une méthode de gestion de projet normalisée, en l'occurrence l'analyse du besoin et l'analyse fonctionnelle.

En premier lieu et dans le but de fixer une conception de la machine, nous avons effectué une étude préliminaire de son fonctionnement et nous avons proposé de multiples solutions. Ensuite nous avons fait une sélection basée sur des critères techniques et économiques pour faire le meilleur choix qui va répondre aux besoins de l'entreprise.

En second lieu, nous sommes passés à l'étape qui converge vers l'étude mécanique et structure du système. En effet, nous avons commencé par le choix des mécanismes de levage, de guidage en rotation et translation, de renversement...

Au niveau de la partie CAO/DAO, nous avons fait une modélisation de l'ensemble du système en utilisant le logiciel SOLIDWORKS 2015.

Finalement, nous avons fait une étude technico-économique pour évaluer le coût d'acquisition de la machine, ainsi nous fait une comparaison avec les produits déjà existants. Certes, on a pu arriver à une réduction de la moitié de prix d'acquisition d'un produit. L'économie est donc à la hauteur de 150 000 DH. C'est un montant qui permet de construire une autre machine. Puisque on va éliminer les coûts directs et indirects occasionnés par le procédé existant. Par conséquent l'amélioration de l'ergonomie de travail qui va influencer sur la qualité de livraison et la réduction du temps de réalisation.

Donc, on a pu faire une analyse de la problématique de l'atelier de soudage pour aboutir à un projet qui nous a permis de mettre en évidence nos compétences acquises et développer de nouvelles qualités. Puis, on apporte une valeur ajoutée en proposant une solution technologique concurrente, principalement en termes de rapport (qualité/prix) toute proposant une bonne solution vers la moitié du prix.

En guise de perspectives, nous proposons ce qui suit :

- La certification de la conformité du système aux normes de sécurité auprès d'un cabinet extérieur spécialisé ;
- L'étude de la partie électrique et commande de la machine ;
- Etablir les plans de maintenance et d'entretien ;
- La finalisation des gammes de fabrication à partir du dessin réalisé de BEAM ROTATOR ;
- La fabrication en série de STROC BEAM ROTATOR pour le compte d'autre entreprise.
- Etude d'un STROC BEAM ROTATOR spécifique pour l'assemblage en chantier.

Bibliographie

- *Document interne de STROC INDUSTRIE*
- *Eurocode 3 - Calcul des structures en acier - Partie 1-8 : calcul des assemblages*
- *Memotech structure métalliques casteilla*
- *Règles CM 66 et additif 80. Règles de calcul des constructions en acier.*
- *Technique de l'ingénieur-vérin hydraulique par Robert AFFOUARD*
- *FEDERATION EUROPEENE DE LA MANUTENTION, règles pour le calcul des appareils de levage,*
- *EUROCODE 3 : Partie 1-1 Calcul des structures en acier et document d'application nationale*
- *Livre d'élément de machine – Gilbert DDROUIN*
- *Guide Du Dessinateur Industriel – Chevalier*
- *Guide des sciences et technologies industrielles*
- *Francis ESNAULT et Patrick BENETEAU, Hydrostatique 1,2 Transmission de puissance, cours et applications, ellipses.*