UNIVERSITÉ SIDI MOHAMMED BEN ABDELLAH - FÈS
FACULTÉ DES SCIENCES ET TECHNIQUES
DÉPARTEMENT DE GÉNIE MÉCANIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

Pour l'Obtention du

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

Étude et conception d'une machine de profilage des métaux

Soutenu le 28 juin 2013

Par :

Mr ER-RABIY MOHAMMED

Jury :

- Mr **A.TOUACHE** (FSTF)
- Mr **J. ABOUCHITA** (FSTF)
- Mr **A.EL BIYAALI** (FSTF)
- Mr **A.BENMIMOUN** (Novelli Pumps)
-

Encadrée par :

- Mr **A.TOUACHE** (FSTF)
- Mr **A.BENMIMOUN** (Novelli Pumps)

Année universitaire : 2012-2013

Sommaire :

Résumé 6

Abstract 7

ملخص 8

Liste de figures 9

Liste des tableaux 11

Remerciement 11

Dédicace 12

Introduction 13

Chapitre I: 14

Description générale et Présentation de la société Novelli Pumps 14

1. Historique du Groupe Zine 15

2. Organigramme du Groupe Zine Industrie 15

3. NOVELLI PUMPS 16

3.1. La fiche présentative du NOVELLI PUMPS 16

3.2. Organigramme de NOVELLI PUMPS 17

3.3. Les services de NOVELLI PUMPS 17

3.3.1 Service de production 17

3.3.2 Service planning 17

3.3.3 Service commercial 18

3.3.4 Service bureau d'étude 18

3.3.5 Service de process & méthode 18

3.3.6 Service qualité 18

3.3.7 Service logistique 19

3.3.8 Service technique 19

3.3.9 Service magasin 19

4. Description des pompes immergés *20*

4.1. Aperçu sur les composants des pompes immergées 21

Chapitre II: *23*

Cahier de charges et plan d'action *23*

1. Introduction *23*

2. Présentation de la problématique *23*

3. Définition de projet *24*

4. La démarche du projet *24*

5. Plan d'action du projet *25*

Chapitre III: *27*

Etude de Conception et réalisation d'un procédé de profilage des métaux (inox) *27*

1. Présentation des solutions possibles *27*

1.1. Les façons possibles de la résolution du problème 28

1.1.1 La première façon 28

1.1.2 La 2eme façon de faire 28

1.2. Avantages et inconvénients de la 1ere solution 28

1.2.1Avantages 28

1.2.2 Inconvénients 28

1.3 Avantages et inconvénients de la 2eme solution 29

1.3.1 Avantages 29

1.3.2 Inconvénients 29

1.4 Recherche et comparaison des solutions en générale 29

1.5 Opportunité de la machine de profilage des métaux 30

2. L'analyse fonctionnelle *31*

2.1 La profileuse des métaux 31

2.1.1Fonctionnelle 31

2.2 Présentation de la démarche 32

2.2.1A qui s'adresse l'A.F. ? 32

2.2.2 Quel est le but de l'A.F. ? 32

2.2.3Quand utiliser l'AF ? 32

2.2.4Pourquoi utiliser l'AF ? 32

2.2.5 Typologie des fonctions 32

2.3 Les étapes de l'analyse fonctionnelle 33

2.2.1Situation du problème : Production de protège-câble : 34

2.2.2Etude fonctionnelle du besoin 34

2.4 1er étape : la recherche des fonctions : 35

2.3.1Méthode RESEAU : 35

2.3.2Digramme de pieuvre : 36

2.3.3 Brainstorming 37

2.5 2éme étape : Ordonner les fonctions : 38

2.5.1L'application 39

2.6 3éme étape : caractériser les fonctions 40

2.7 4éme étape : la hiérarchisation des fonctions 43

3.1 Définition du QFD 46

3.2 Recherche des concepts et des solutions pour la conception finale : 48

Voila la 1ere conception faite au début par Catia est la suivante : *51*

Figure 13 : conception préliminaire faite sur Catia V5 ..... *52*

Chapitre IV: Présentation du procédé de profilage et calculs conceptuel 52

1. Mise en forme par profilage 53

1.2 Principe du profilage 53

1.2.1Les éléments d'une ligne de profilage 53

1.2.2Nombre et disposition des têtes 55

1.2.3Réglage des arbres en hauteur 55

1.2.4Vitesse d'entraînement 55

2. Règles de conception des outillages 55

2.1 Nombre de passes et écartement entre têtes 55

2.3 Rayon de pliage rapporté à l'épaisseur 56

2.4 Alignement des galets 57

2.5 Hauteur de retombée de bord 58

2.6 Largeur des plages non formées 58

2.7 Phénomènes de frottement 59

3.1 Calcul du moment 60

3.2 Calcul du force de mise en forme 61

3.3 Détermination le diamètre de l'arbre 65

3.4 Calcul la distance entre deux têtes consécutives 69

3.5 vitesse de rotation 72

3.7 Calcul de la puissance 73

3.8 Calcul du couple 73

3.9 Choix du moteur réducteur 73

3.10 Calcul du réducteur : 73

3.11 Guidage en rotation : Calcul des roulements 74

3.11 Calcul de la clavette 75

a) Vérification au cisaillement 76

b) Vérification au matage 76
3.12 Calcul des engrenages 78
3.13 Les différentes formes de galets sous Catia : 79
Conclusion générale *82*
Bibliographie *83*
Annexe *84*

Résumé

Dans un objectif de la recherche d'adaptation avec les nouvelles exigences des clients et la recherche sur l'excellence au quotidien, Panelli Pumps a commencé un nouveau procédé de fabrication des pompes émergées en inox et pour avoir que ce projet est devenu a 100% local il y a un petit élément qui est acheté de l'extérieur s'appelle protège-cabale électrique donc on a pensé que pour faire ca c'est le sujet de mon projet de fin d'étude .

Ce projet industriel s'inscrit dans cette optique et qui vise en particulier l'amélioration de l'usine et l'atelier en particulier.

En effet, pour mener ce projet, on a commencé par une analyse de l'existant pour bien comprendre les enjeux, puis on a identifié les variables par des analyses fonctionnels, avant de choisir les meilleures solutions et a la fin on a valide la solution avec les responsable de l'usine.

Abstract

In a research objective of adaptation to new customer requirements and research excellence every day, Panelli Pumps began a new process emerged pumps and stainless steel for this project became a 100% room there is a small item that is purchased from outside is called electric guard cabal so we thought to do that is the subject of my final project study.

This industrial project is in this context that aims in particular to improve the factory and workshop in particular.

In order to complete this project, we started with an analysis of the existing to understand the issues and variables were identified by functional analysis, before selecting the best solutions and the end was valid solution with the plant manager.

ملخص

بهدف البحث للتكيف مع متطلبات العملاء والتميز البحثي الجديد كل يوم بدأت شركة المضخات المغمورة في المياه بالحي الصناعي بن سودة مشروع بعملية جديدة للمضخات من الفولاذ المقاوم للصدأ ، لكي يصبح هذا المشروع محلي بدرجة كاملة المشكل الآن في الورشة هو بعض الأجزاء التي يتم شرائها من الخارج أمثال واقي السلك الكهربائي لكي يحمي هذا من الأضرار أثناء الاشتغال في الظروف المائية وأيضا عنصر أخر من نفس المادة المقاومة للصدأ ، ولكي نقوم بحل هذا المشكل هذا هو موضوع دراستي المشروع النهائي ، ادن هذا العمل الذي قمت به خلال هذه الفترة التي قدرت بأربعة أشهر وضعته في تقرير جامع ٠

في هذا السياق المشروع الصناعي يهدف على وجه الخصوص إلى تحسين مصنع وورشة العمل على وجه الخصوص ٠

من اجل اتمام هذا المشروع بدأنا بتحليل القائمة وفهم القضايا وتم تحديد المتغيرات عن طريق تحليل وظيفي قبل اختيار افضل الحلول وفي النهاية قمنا باخد الحل الامثل وقمنا بتطبيقه مع مدير المصنع ٠

Liste de figures

Figure 1:organigramme du groupe Zine industrie……15

Figure 2: organigramme NOVELLI PUMPS……17

Figure 3: électropompe immergée……21

Figure 4: constituants électropompe……21

Figure 5: nomenclature d'électropompe……23

Figure 6: électropompe en fonte……23

Figure 7: diagramme bête à cornes de la machine de profilage……37

Figure 8: Le diagramme SADT de la machine de profilage……38

Figure 9: Diagramme de pieuvre pour la machine de profilage……39

Figure 10: Diagrammes FAST explication……41

Figure 11: principe de QFD……49

Figure 12: graphe des importances des critères……51

Figure 13 : conception préliminaire faite sur Catia V5……55

Figure 14: Organisation d'une ligne de profilage……57

Figure 15 Profileuse : vue d'ensemble……58

Figure 16: tète de profilage :schéma général ……58

Figure 17: Fleur de profilage : exemple simple ……59

Figure 18: Retour élastique après pliage ……61

Figure 19: Ondulation d'une rive due au flambage local……62

Figure 20: Défauts de planéité du type « fibre »……62

Figure 21: Répartition des vitesses de la tôle et des galets…….……63

Figure 22: Différentiel de vitesse : une méthode de réduction ……..63

Figure 23: réduction de vitesse.....…63

Figure 24: a)exemple Relation contrainte-déformation et b) le modèle de rayon de courbure……....64

Figure 25: pliage d'une tôle avec un angle thêta …….….66

Figure 26: maillage de 3 éléments avec angle beta entre 2 nœuds.....66

Figure 27: maillage de5 éléments avec angle beta entre 2 nœuds ……67

Figure 28: modélisation de la l'arbre de rotation en tronçon AB……69

Figure 29: modélisation de la l'arbre de rotation en tronçon BG……71

Figure 30: diagrammes des efforts et des moments pour AB et BG……..……73

Figure 31: relation entre contrainte tangentielle et limite élastique …….……74

Figure31 : modélisation de la tôle entre deux consécutive……75

Figure 32: visualisation de la distance entre deux têtes de profilage……79

Figure 33 : roulement type avec les charges radiales et axiales….....81

Figure 34 : roulement type avec les charges radiales et axiales.....82

Figure 35 : types de clavette ……83 Figure 36 : clavette sous catia V5 …… ;……86

Figure 37 : engrenage sous catia V5……...87

Figure38 : galet supérieur pour un angle de 30° ……...88

Figure 39: galet inferieur pour un angle de 30° ……88

Figure 41: galet inferieur pour un angle de 60°……89

Figure 40: galet supérieur pour un angle de 60°……89

Figure 42 : galet supérieur pour un angle de 90° ……..90

Figure 43:galet inferieur pour un angle de 90°……..90

Liste des tableaux

Tab. 1 : Définition du projet….....26

Tab. 2 : planning du projet…… ……..……27

Tab.3: Importance critères……...32

Tab.4: solutions générales……32

Tab 5 : diagramme FAST pour la machine de profilage……41

Tab.6: caractérisation des fonctions……45

Tab.7 : poids pour la pondération des fonctions……47

Tab.8 : hiérarchisation des fonctions……..48

Tab.9 : les poids pour la matrice QFD……..50

Tab.10 : classification des fonctions critiques trouvées……..50

Tab.11 : Importance des critères de choix des concepts……52

Tab.12 : la Matrice morphologique des concepts……53

Tab.13 : les cordonnes et les angles β_i pour les trois étapes de formages……67

Tab.14: valeurs des efforts tangentiels et normaux appliqués sur la tôle……..68

Tab.15: valeurs du diamètre par 1ere méthode……...73

Tab.16: valeurs du diamètre par 2eme méthode……..74

Tab.17: valeurs de la puissance pour les 3 angles……..78

Tab.18: valeurs du couple pour les 3 angles……...79

Remerciements

Au terme de ce travail, nous tenons à exprimer nos sincères remerciements notre profonde gratitude à toutes les personnes ayant contribué de près ou de loin au bon déroulement de notre stage.

Nos remerciements vont particulièrement à **Mr. Zine**, directeur générale de groupe Zine qui nous a accordé ce stage, et surtout un chaleureux remerciement a **Mr. Benmimoun** directeur général qui est a la fois mon encadrant de **stage de PFE** et tous les employés de l'entreprise qui, en mettant à notre disposition certains documents, leurs temps et leurs savoir-faire ont contribué à notre formation et à la réalisation de ce rapport.

Nous tenons également à remercier **Mr. Abdelhamid Touach**e notre enseignant de l'FST de Fès qui n'a ménagé aucun effort pour nous encadré durant la période de notre stage.

En fin, nous présentons nos remerciements à tous **les professeurs** de département **GM** qui ont participé d'une manière ou d'une autre, à l'accomplissement de ce travail.

Dédicaces

A Mes chers parents, qui avaient tout sacrifié pour mon bien-être sans pour autant en attendre le moindre remerciement en reconnaissance de l'aide indéfectible morale et matérielle durant toute ma vie estudiantine ils ont fait beaucoup pour moi le long de ces longues années par leurs patience remarquable pour atteindre mes objectifs personnels et professionnels .

A mes frères et mes sœurs
A toute ma grande famille.
A tous mes enseignants pour leurs efforts et leur amabilité.
A notre cher professeur Mr. ABDELAH ELBARKANY.
A tous les amies de mon cursus estudiantine
A tous les étudiants et les amies de la faculté des sciences et technique de Fès et en particuliers les étudiants de la 3eme année de la filière d'ingénieures conception mécanique et innovation.

Introduction

La société Novelli Pumps est l'une de trois sociétés de groupe Zine dont l'activité principale est la production des pompes immergées, pour cela elle produit deux types de pompes, la première type est à la base de moulage et la deuxième est à la base d'inox.

Dans un objectif de la recherche d'adaptation avec les nouvelles exigences des clients et la recherche sur l'excellence au quotidien, Novelli Pumps a commencé un nouveau procédé de fabrication des pompes émergées en inox et pour avoir que ce projet est devenu a 100% local, il y a un problème au niveau des éléments qui sont acheté de l'extérieur comme le protège-cabale.

Le sujet de notre projet de fin d'étude «étude et conception d'une machine de profilage des métaux ».Le présent travail retrace l'ensemble de notre expérience passé chez Novelli Pumps au cours de nos 4 mois de projet.

L'étude réalisée qui fait l'objet du présent rapport s'articule autour de quatre chapitres :

Le premier chapitre, présente une synthèse d'une recherche bibliographique sur le patrimoine général de l'entreprise, son activité principale et son processus de production.

Le deuxième chapitre donne le contexte de projet, le cahier de charge et plan d'action durant cette durée de mon stage

Le troisième chapitre, englobe la boucle de l'analyse fonctionnelle en générant les concepts par la matrice morphologique.

Le quatrième chapitre est contient les calculs de dimensionnement pour notre machine de profilage c'est le chapitre le plus fort dans notre rapport, il va nous servir à faire la conception le plus optimum possible pour cela nous avons calculé (les efforts, le diamètre minimale, les puissances, le couple moteur, les clavettes, calcul des roulements et les engrenages).

Chapitre I:
Description générale et Présentation de la société Novelli Pumps

1. Historique du Groupe Zine

Le Groupe ZINE INDUSTRIE est une entreprise familiale crée en 1984, elle fondée par Mr. Fouad Zine Filali et son frère Mr. Mostafa Filali, Ce Groupe ZINE INDUSTRIE est composée de trois sociétés :

- ZINELEC qui est créé en 1984 et spécialisée dans les domaines de l'ingénierie électrique et hydraulique.
- ZINCO crée en 1990, c'est une entreprise qui intervient sur les activités suivantes :
  - Réalisation des ouvrages travaux de génie civil.
  - Fabrication et commercialisation despote au béton et produit d'accompagnements en béton.
- NOVELLI PUMPS crée en 1994, c'est une entreprise spécialisée dans la fabrication d'électropompes immergées et de surface, et dans la réalisation de stations de pompage.

2. Organigramme du Groupe Zine Industrie

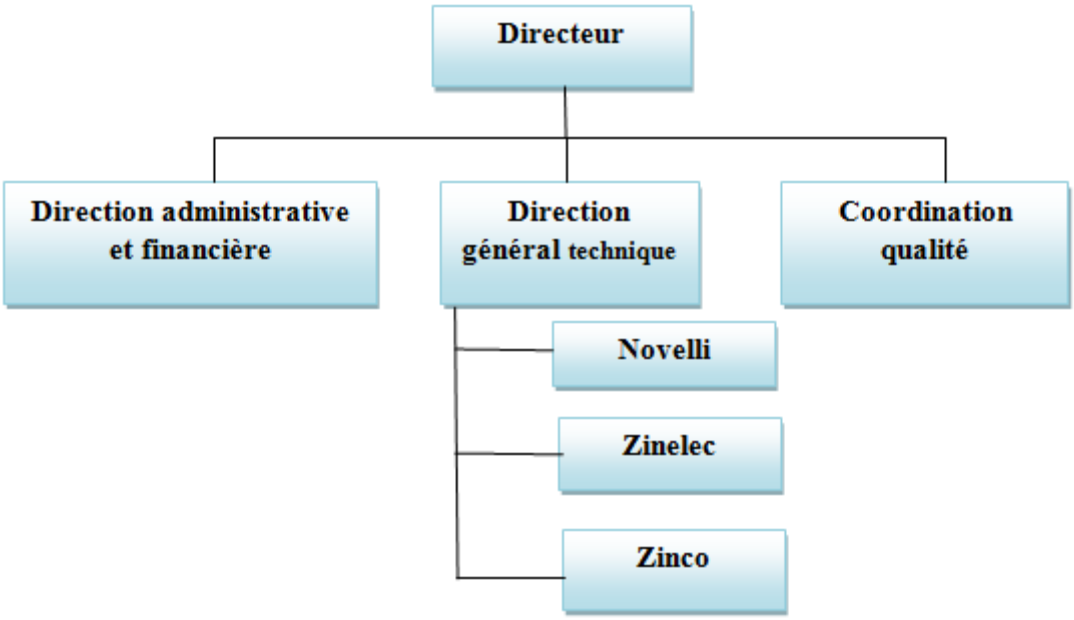


Figure 1:organigramme du groupe Zine industrie.

3. NOVELLI PUMPS

NOVELLI PUMPS fait partie de groupe ZINE INDUSTRIE est dirigée par Mr. Abdellah BENMIMOUNE. C'est une société à responsabilité limité d'un capital de 5.000.000 dirhams qui a était créé en 1994. Au début, elle avait le nom de PANELLI MAROC et était en collaboration avec une société ITALIENNE nommée PANELLI ALESSENDRIA.

NOVELLI PUMPS spécialisée dans le pompage de l'eau, s'est installé à Fès, et affiche une grande fierté à être une société 100% Marocaine opérant dans un secteur de haute technologie. Elle est certifiée ISO 9001/2000, et compte parmi ses clients L'office Nationale de L'eau Potable. Par ailleurs, cette unité propose aussi une gamme de produits adaptés aux applications surpression pour les réseaux d'irrigation localisée, elle vise également l'international, en exportant ses produits vers une dizaine de pays. Aussi, elle participe à différents salons et foires, par exemple le Salon International de L'agriculture de Meknès ou NOVELLI PUMPS a été décorée du prix de la meilleure technologie dans le pompage de l'eau.

le secret de son succès est sans doute l'amélioration continue basée sur une remise en question permanente des processus de conception, de production et de commercialisation impliquant directement l'ensemble du personnel et s'appuyant sur l'écoute du client. Reste à signaler que l'entreprise en question est installée dans le quartier industriel BENSOUDA. Et elle emploie plus de 50 personnes à plein temps. Elle produit différentes familles pompes émergées :

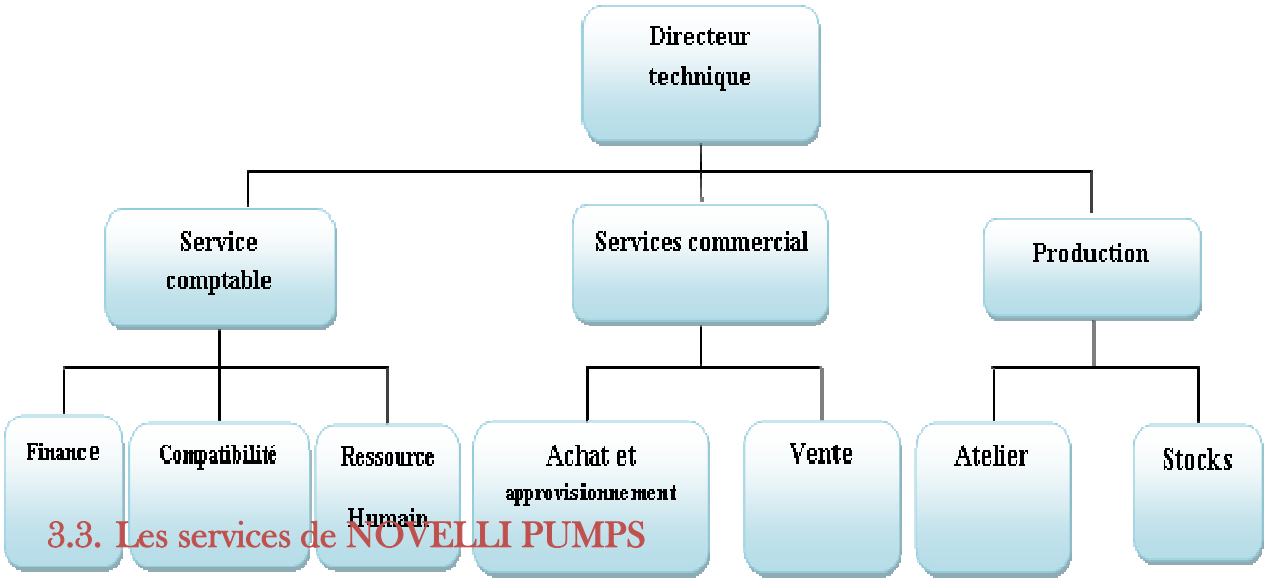
- pompes émergées pour fourrage.
- pompes émergées pour puits.
- pompes émergées d'irrigation.
- pompes émergées des stations de pompages.

3.1. La fiche présentative du NOVELLI PUMPS

RAISON SOCIALE	: NOVELLI PUMPS
FORME JURIDIQUE	: SARL
DATE DE CREATION	: 1994

DIRECTEUR D'USINE	: Mr. ABDELAH BENMIMOUN.
NOMBRE D'EFFECTIF	: 20 à 30 employés environ.
BRANCHE D'ACTIVITE	: industries (les pompes immergées)
ADRESSE	: Lots 32/33 Quartier Industriel Bensouda 30000 Fès | Maroc
TELEPHONE	: + 212 535655769.
FAX	: + 212 535726141.
SITE WEB	: http://www.novellipumps.com

3.2. Organigramme de NOVELLI PUMPS



3.3. Les services de NOVELLI PUMPS

Figure 2: organigramme NOVELLI PUMPS.

La mission principale du service production de *Novelli Pumps* est d'assurer la production des pompes émergées tout en suivant les paramètres d'essai et d'utilisation.

3.3.2 Service planning

Le service planning est une phase intermédiaire entre le service commercial et le service de production, il accompli les tâches suivantes :

- L'organisation de la planification des commandes.
- L'établissement des ordres de fabrication.
- Le traitement des commandes urgentes.

- La programmation des quantités à fabriquer.
- La planification des commandes transférées des autres unités.
- La réception de la matière première d'inox et les moteurs Franklins.
- Le traitement des surplus.

3.3.3 Service commercial

Parmi les tâches occultées au service on trouve :

- L'assurance de vente et de la publicité des produits.
- La réalisation de l'étude de marché.
- L'établissement du prix de vente.

3.3.4 Service bureau d'étude

Le bureau d'études au sein de Pannelli Pumps est le centre des études des maquettes, échantillons, formes et des clichés. Parmi les principales missions du bureau est la création suite aux demandes reçues par le service commercial des maquettes et des prototypes qui seront envoyés par la suite aux clients et validés.

3.3.5 Service de process & méthode

Le bureau des méthodes au sein de Pannelli Pumps est considéré comme l'interface entre la ligne de production et le bureau d'étude. Il est chargé de concevoir et de fournir les outils utiles à la production afin d'améliorer la productivité globale de l'entreprise, d'améliorer les conditions de travail et de fournir les outils d'analyse nécessaire aux études de coûts standard, c'est-à-dire :

- Vérifier, avec le bureau d'étude, la faisabilité et la fabricabilité des produits, de mettre en œuvre les moyens de production nécessaires (machines, opérateurs, matériels...).
- Définir les temps nécessaires à la production.
- Définir les coûts de production.
- Optimiser les temps/coûts de production.

3.3.6 Service qualité

Les principales tâches du service qualité du Pannelli Pumps est de veiller sur la :

- Qualité des produits finis : Pour se vendre les produits de l'entreprise doivent être conformes aux exigences des consommateurs en termes de sécurité et de qualité de vie.
- Qualité externe : incluant
  - Le contrôle des moteurs Franklins.
  - Le contrôle des matières consommables.

3.3.7 Service logistique

La logistique au sein de Pannelli Pumps se présente sous forme d'activités qui permettent de mettre à disposition aux clients (le cas où une demande existe) la bonne quantité de produits à moindre coût au moment et à l'endroit voulu. Le service permet aussi de :

- Accueillir les matières premières.
- Suivre administrativement les opérations de maintenance lourde.

3.3.8 Service technique

Le service Technique de Pannelli Pumps a pour mission principale:

- d'assurer la maintenance et l'installation de tous les équipements;
- de veiller sur le bon fonctionnement des équipements de production en respectant les normes de qualité;
- d'assurer l'étude et la réalisation des projets de rénovation des machines de production.

3.3.9 Service magasin

Parmi les activités du service magasin du Pannelli Pumps :

- La réception physique : réception de la matière première arrivée.
- La réception informatique : après a réception physique, le magasinier doit introduire au SIGIP (réseau permet de gérer informatiquement les flux de production) toutes les informations concernant la matière première arrivée.

4. Description des pompes immergés

L'électropompe immergée est une machine idéalement conçue pour chercher l'eau à une profondeur ou il est impossible de l'aspirer depuis la surface.

Figure 3: électropompe immergée.

Une pompe immergée est constituée de trois parties distinctes :

- le moteur, qui fournit la puissance nécessaire au pompage.
- La transmission, qui transmet cette puissance à la partie hydraulique.
- La partie hydraulique, qui transmet cette puissance à l'eau pour la déplacer (l'aspirer et ou la refouler), ça se passe au niveau de plusieurs étages de diffuseurs et turbines.

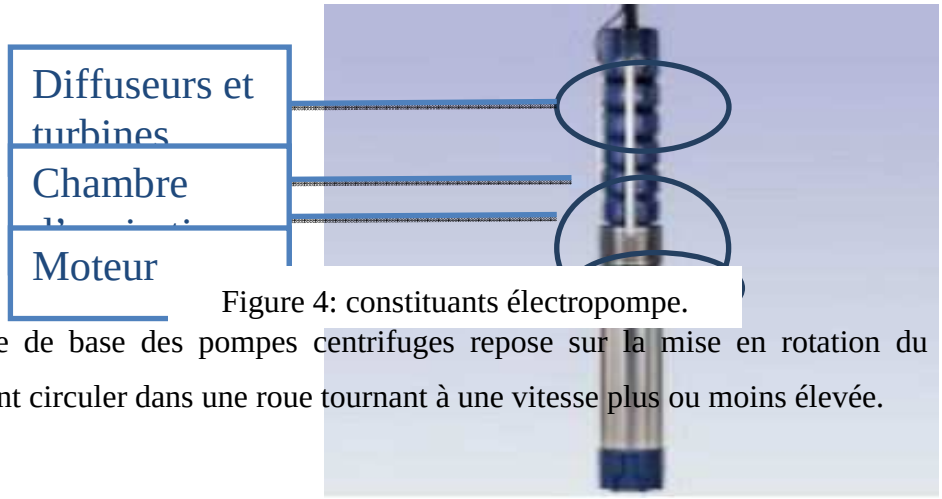


Figure 4: constituants électropompe.

Le principe de base des pompes centrifuges repose sur la mise en rotation du fluide à pomper en le faisant circuler dans une roue tournant à une vitesse plus ou moins élevée.

Le fluide est admis au centre de la roue avec une pression dite pression d'aspiration. Lors de sa mise en rotation et de son déplacement vers la périphérie de la roue, sa vitesse et son énergie cinétique augmentent. La pression dynamique augmente également. A la périphérie de la roue, le fluide est canalisé vers la tuyauterie de refoulement par le biais d'une volute (Corps de clapet), et son ralentissement transforme une partie de la pression dynamique acquise en pression statique.

La pompe immergée dispose en plus d'un diffuseur, dont le but est de diriger les veines fluides vers la volute en minimisant les pertes de charge. En hydraulique, la perte de charge correspond à la dissipation, par frottements, de l'énergie mécanique d'un fluide en mouvement sous forme de chaleur. Cette énergie doit être compensée afin de permettre au liquide de se déplacer. On l'exprime couramment sous la forme d'une pression (on l'appelle aussi delta P), bien qu'elle soit en fait représentative d'une dissipation d'énergie et qu'elle apparaisse dans l'équation de Bernoulli comme une hauteur de colonne d'eau.

4.1. Aperçu sur les composants des pompes immergées

L'électropompe immergée est constituée d'un moteur, d'une chambre d'aspiration et de plusieurs étages de diffuseurs +turbines.

- Un moteur électrique pour fonctionnement avec pompes immergées radiales ou semi-axiales, en puits, dans des réservoirs ou en booster pour système de pressurisation. MATERIELS: fonte, bronze marine, acier inoxydable AISI 316.
- Une chambre d'aspiration pour aspirer l'eau des puits et le transmettre à l'ensemble turbine-diffuseur.
- L'ensemble turbine-diffuseur est constituée de :
    - Une turbine qui est l'élément mobile de la pompe. Elle communique au liquide une partie de l'énergie cinétique transmise par l'arbre par l'intermédiaire de ses aubes (ailettes).
    - Un diffuseur qui est le corps de pompe, et constitue l'élément fixe de cette dernière. Il est destiné à recueillir le liquide qui sort de la roue, et à le diriger, soit vers l'orifice de refoulement, soit vers l'entrée de la roue suivante, selon

que la pompe est mono ou multicellulaire. De plus, il transforme en pression une partie de la vitesse. La forme principale du corps dépend du type de pompe (mono ou multicellulaire).

1. Accouplement
2. Arbre
3. Chambre d'aspiration
4. Crépine
5. Clavette
6. Diffuseur
7. Bague d'usure
8. Coussinet
9. Turbine
10. Entretoise
11. Joint de clapet
12. Clapet
13. Corps de clapet
14. Protège câble
15. Circlips
16. Vis de fixation

Figure 5: nomenclature d'électropompe.

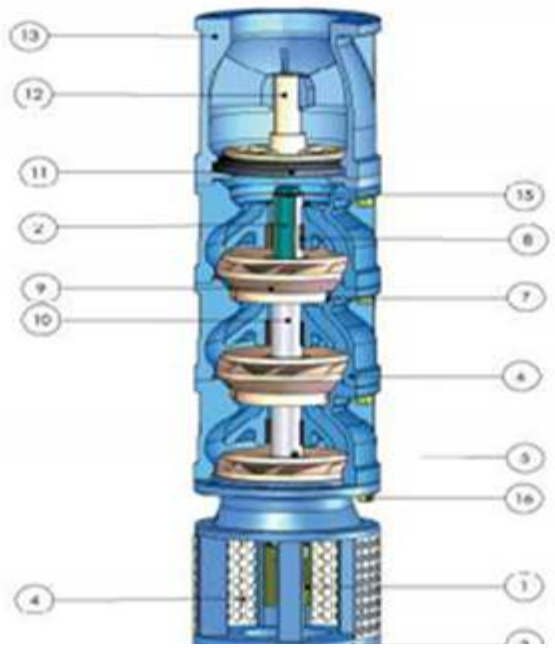


Figure 6: électropompe en fonte.

Chapitre II: Cahier des charges et plan d'action

1. Introduction

Obtenir les résultats attendus, et répondre aux exigences, sont les atouts principaux de toute démarche efficace permettant d'obtenir des résultats tangibles. Le but de ce chapitre est de présenter la problématique du projet, le cahier des charges, la démarche suivie pour répondre au besoin de l'ensemble des parties prenantes du projet et le plan d'action.

2. Présentation de la problématique

Dans le cadre de développement et d'amélioration de la société Novelli Pumps, pour être flexible avec le changement des nouvelles exigences des clients et pour assurer la compétitivité ; les responsables ont pensé à ajouter un autre type de pompe immergés ; c'est la pompe en inox. Cela implique directement la conception et l'implémentation d'un nouveau processus de production.

Le service production a commencé le travail avec ce nouveau procédé cependant le bureau d'étude, dans le cadre d'une politique d'amélioration et de développement continue, travail sur le volet optimisation du nouveau processus.

Les premières étapes pour optimisés ce procédé se penchent sur des éléments qui sont achetés de l'extérieur, essentiellement les tirants et les protège-câble. Donc l'idée c'est de les fabriquer en interne. L'objectif est de concevoir un procédé capable de produire ces éléments avec un prix de revient le plus minimal possible.

La problématique à laquelle nous devons répondre est : la conception et la réalisation d'une profileuse des métaux en feuille. Après l'analyse des processus de production et la compréhension du fonctionnement de la Société Novelli Pumps, notre mission consistait à trouver la meilleure solution et de dresser par la suite un plan d'action à mettre en place afin de réaliser et vérifier la validité de cette conception sur le terrain.

3. Définition de projet

Trouver les causes racines, choisir les solutions optimales pour un problème ou une situation nécessite la compréhension du problème. Dans ce sens, la méthode QQOQCP permet d'avoir sur toutes les dimensions du problème, des informations élémentaires suffisantes pour identifier ses aspects essentiels.

Tab.1 : Définition du projet

QQOQCP	
Quoi	Activité : conception de la profileuse des métaux Produit : protège-câble et tirant pour la pompe immergée
Qui	Les clients : ONEP, propriétaires des fermes
Ou	Atelier du Panelli Pumps
Quand	Du 07/03/2013 au 15/06/2013
Comment	étude de la demande Recherche des variables critiques et les causes Recherche des solutions
Pourquoi	Amélioration de la qualité du procédé

4. La démarche du projet

La démarche adoptée pour la réalisation du projet se compose de quatre phases :

- Phase 1 : *'c'est la phase de l'avant-projet'* ou la **phase d'intégration et définition du thème de projet** dans laquelle on effectue un constat général et une visualisation complète de l'état actuel du projet et la définition du cahier de charges.
- Phase 2 : *'c'est la phase du projet'* ou **phase de recueil des informations** dans laquelle on essaye à comprendre le nouveau principe du procédé et aussi on formalise la voie du client et ses exigences.
- Phase 3 : *'c'est la phase après projet' ou* **phase de conception et de réalisation de profileuse** dans laquelle on va rechercher et classer les variables critiques, identifier les problèmes en recherchant ses solutions et en fin on va étudier et trouver les meilleurs solutions.
- Phase 4 : *'ou la phase de validation du projet'* ou **validation de la conception avec les responsables de la société** dans laquelle on teste, simule et valide le fonctionnement normale, avec un estimation de gain aussi cette phase contient une formation qu'on va faire pour les personnels de l'atelier pour s'adapter le mieux avec le processus et la nouvelle machine.

5. Plan d'action du projet

En se basant sur le cahier des charges précité, on a élaboré un plan d'action en tenant compte du temps alloué pour ce projet.

Tab.2: planning du projet

		Tache	prédécesseur	Durée (Jours)	Date début	Date Fin
Phase 1		**Phase d'intégration et définition du thème de projet**		**15**	**07/03/2013**	**21/03/2013**
	A	Se familiariser avec le processus de production		**6**	**07/03/2013**	**12/03/2013**
	B	Découvrir les différents services de Novelli Pumps	**A**	**6**	**13/03/2013**	**18/03/2013**
	C	Définir de près le cahier de charges du projet	**B**	**3**	**19/03/2013**	**21/03/2013**

Phase 2	**Phase de recueil des informations**			**20**	**22/03/2013**	**10/04/2013**
	D	Comprendre le nouveau principe du procédé des pompes en inox	**C**	**10**	**22/03/2013**	**31/03/2013**
	E	Formaliser la voix du client et ses exigences	**D**	**10**	**01/04/2013**	**10/04/2013**
Phase 3	**Phase de conception et de réalisation de profileuse**			**50**	**11/04/2013**	**30/05/2013**
	F	Rechercher et classer les variables critiques	**E**	**5**	**11/04/2013**	**15/04/2013**
	G	Identifier les problèmes	**F**	**10**	**16/04/2013**	**25/04/2013**
	H	rechercher des solutions	**J**	**10**	**26/04/2013**	**05/05/2013**
	I	Etudier les meilleures solutions	**H**	**25**	**06/05/2013**	**30/05/2013**
Phase 4	**Validation de la solution meilleure et optimale**			**16**	**31/05/2013**	**15/06/2013**
	J	Validation de la conception avec les responsables de la société	**I**	**5**	**31/05/2013**	**04/06/2013**
	K	Estimation des gains non quantifiables	**J**	**5**	**05/06/2013**	**09/06/2013**
	L	Former les personnes avec la nouvelle machine de profilage au sein de la société	**K**	**6**	**10/06/2013**	**15/06/2013**

UNIVERSITÉ SIDI MOHAMMED BEN ABDELLAH - FÈS
FACULTÉ DES SCIENCES ET TECHNIQUES
DÉPARTEMENT DE GÉNIE MÉCANIQUE

Chapitre III:
Etude de Conception et réalisation d'un procédé de profilage des métaux (inox)

1. Présentation des solutions possibles

Avant de commencer à faire les analyses fonctionnelles et la vraie conception avec les calculs mécaniques on va présenter quelle sont les possibilités qu'on a pour réaliser le protège-câble et le tirant et après on va prioriser la solution la plus adéquates en termes de facteurs économiques, difficulté de réalisation et autre

Pour produire ces éléments on a pour cela 2 manière de faire soit par :

1.1. Les façons possibles de la résolution du problème

1.1.1 La première façon

- Utiliser une machine de découpage pour couper les tôles sous formes voulus.
- Utiliser une machine de cisaillages pour obtenir les longueurs voulus.
- Utiliser une machine plieuse pour avoir la forme en U voulu.

1.1.2 La 2eme façon de faire

après le découpage de la tôle, on va utiliser un nombre pair de galets successive sur la même ligne de production en commençant par une forme de galet qui est concave d'un angle de 20° après on va tendre à faire augmenter la concavité c.-à-d. l'angle entre les paires de cylindres jusqu'à avoir la forme en U qui est notre forme finale voulue pour le protège câble donc l'idée c'est passer d'un pair a autre de galet en faisant ajouter 10 degré donc on a au total 8 pair de cylindre.

Pour le tirant on va utiliser un nombre de pair de galet successif sur la même ligne, le pair de galet est formé d'un cylindre male et l'autre qui est femelle, la tôle passe entre le pair de galet après le découpage de la tôle, de 2 a 3 passe on peut obtenir la pièce finale.

1.2. Avantages et inconvénients de la 1ere solution

1.2.1Avantages

- Plus de précisions.
- Avoir des compétences sur d'autres types de technologie des machines qui sont nouvelles dans le marché

1.2.2 Inconvénients

- Solution trop cher en termes de cout.
- Procédure trop long.
- Travail sur un stock résiduel.

- Plus de mains d'œuvre.
- Possibilité de recrutement des personnelles qualifiés
- Rupture de stock en cas d'arrêts des machines ou le ne respect des délais de livraisons.
- Nécessité des formations des operateurs pour travailler sur les nouvelles machines.
- problèmes de maintenance.

1.3 Avantages et inconvénients de la 2eme solution

1.3.1 Avantages

- Solution moins cher donc on a gain en argents et en temps.
- Travail sur commande donc il n'y a pas de stock.
- Moins de main d'œuvre et d'opérateurs.
- Il n'y a pas des problèmes de maintenance.

1.3.2 Inconvénients

- Manque de maitrise de la 2eme solution.
- Possibilité d'avoir du non conforme donc problème de qualité implique des problèmes avec les exigences clients.

1.4 Recherche et comparaison des solutions en générale

- Premièrement pour limiter l'étude, on va essayer de converger la recherche sur des solutions générales avant d'entrer dans les détailles : Pour choisir les meilleures solutions on va se basé sur les critères suivants :

Tab.3: Importance critères

Critère	**Importance**	
	K	
	1	**5**
Le coût	Coûteux	peu coûteux

La difficulté technique	Maximum	**Minimum**
Le stock dans l'atelier	Minimum	**Maximum**

Tab.4: solutions générales

Critère	Importance K	
	1	5
Le coût	Coûteux	peu coûteux
Difficulté technique	Facile	Difficile
Stock	Simple	Majeur

Solution	**Solution 1**	**Solution 2**	**Solution 3**
Critère de choix	Acheter des machines pour réaliser les 2 éléments des pompes	Concevoir une machine du profilage des métaux en inox	Changer la sous-traitance avec laquelle on travaille
Le cout	1	5	2
Difficulté technique	3	3	3
Le stock	4	3	4
Evaluation	8	11	9

Donc on va adopter la 2eme solution qui le minimum en ce qui concerne le cout.

1.5 Opportunité de la machine de profilage des métaux

La machine de profilage est un mécanisme qui est en train de naitre sous nos yeux, après une durée déterminée nécessaire pour la conception et la réalisation qui est calculée, il sera ainsi possible de produire les éléments qu'on a besoin (protège-câble et tirant) ainsi que d'autres nécessaire dans l'usine.

La machine de profilage des métaux est une technique qui permet de produire un objet réel à partir d'une tôle donnée puis en déposant en faisant passée entre la chaine de couple de galets, et a la fin on obtient la pièce terminée.

Dans notre projet nous allons essayer de faire la conception et la réalisation de cette machine avec un optimum de cout.

Après on peut pencher et penser vers la création d'une société qui est spécialiste dans le domaine des profilages des métaux (inox, fer, ……).

On ce qui concerne la technologie dans notre projet elle est accessible et disponible, on essaye d'appliquer l'analyse fonctionnelle pour bien comprendre les différentes fonctionnalités pour chaque éléments de notre machine en choisissant la plus adaptées a notre objectifs de travail et avoir un système complet.

Tout ce qu'on aura besoin existe sur le marché pour faire notre projet, on possède de savoir, de la motivation, des outils aussi de la supervision de mes chers encadrant (de société, et faculté).

2. L'analyse fonctionnelle

Notre objectif est de transformer les besoins en des critères mesurables qu'on peut comparer et agir sur eux.

2.1 La profileuse des métaux

La solution de la profileuse est quasi-totalement automatique: elle se compose d'une chaine de couple de galet, d'un système de transmission de puissance, d'un bloc dérouleuse pour nous donner la matière première qui est l'inox.

La profileuse est facile à installer et à utiliser et offre une qualité homogène pour une parfaite reproductibilité des produits pour notre pompe. Produits avec de l'inox, les modèles créés sur La profileuse reproduisent de manière fidèle vos conceptions, quelle que soit leur forme ou leur fonction.

2.1.1Fonctionnelle

- La profileuse est utilisable dans un environnement de travail de production. Son encombrement est réduit.
- Les pièces issues de cette machine sont fonctionnelles immédiatement, et ne nécessitent pas précaution de manipulation particulière. Il est notamment inutile de porter des gants ou de laisser passer une période de refroidissement.

2.2 Présentation de la démarche

2.2.1A qui s'adresse l'A.F. ?

L'AF s'adresse aux concepteurs de produits. Le mot produit peut ici prendre des sens très divers. Il peut s'agir d'un objet matériel ou immatériel (produit industriel, objet technique, programme informatique, service à la personne, services financiers…).

2.2.2 Quel est le but de l'A.F. ?

Le but de l'AF est d'optimiser la conception ou l'amélioration de produits en s'appuyant sur les fonctions que doit réaliser le produit. Une fois les fonctions du produit identifiées et caractérisées, l'équipe de conception peut mesurer son état d'avancement et de réussite par rapport à des critères objectifs.

2.2.3Quand utiliser l'AF ?

L'AF n'a de sens que si elle est menée au début d'un projet.

2.2.4Pourquoi utiliser l'AF ?

L'AF permet d'éviter certains pièges classiques de la conception (aveuglement, manque d'objectivité, mauvaise gestion des priorités). Dans les faits les premières étapes de l'AF sont générales et concernent tous les acteurs d'un même projet. C'est seulement dans un deuxième temps que l'AF devient technique, et oriente les concepteurs vers des solutions techniques. L'AF rend ainsi possible un dialogue entre tous les intervenants d'un projet (quels que soient leurs domaines de compétence).C'est un gage d'objectivité et de créativité dans la conduite du projet.

2.2.5 Typologie des fonctions

- ✓ Définition d'une fonction :

L'expression des fonctions est normalisée par l'AFNOR : une fonction se compose d'un verbe ou d'un groupe verbal caractérisant l'action, et de compléments représentant les éléments du milieu extérieur concernés par la fonction. La définition d'une fonction est donnée par la norme AFNOR X50-151 : « Action d'un produit ou de l'un de ses constituants exprimée exclusivement en termes de finalité ».

- ✓ Fonctions de service :

Actions demandées à un produit ou réaliser par lui afin de satisfaire un partie du besoin d'un utilisateur, s'obtient par la question : qu'est ce que le produit doit faire ou réaliser pour satisfaire l'utilisateur.

✓ Fonctions techniques :

Ce sont des actions d'un constituant en vue de permettre la réalisation des fonctions de service.

✓ Fonction principale :

C'est la fonction qui satisfait le besoin. Elle assure la prestation du service rendu. C'est la raison pour laquelle le produit a été créé.

✓ Fonction contraintes :

D'après la norme AFNOR X50-151* : « Une contrainte c'est une limitation à la liberté de choix du concepteur-réalisateur d'un produit ». Les contraintes participent à définir le besoin en recensant les conditions qui doivent être impérativement vérifiées par le produit, mais qui ne sont pas sa raison d'être.

2.3 Les étapes de l'analyse fonctionnelle

Lors d'une démarche d'analyse fonctionnelle, les concepteurs (au sens large) du produit doivent suivre les étapes suivantes :

- rechercher les fonctions.
- ordonner les foncions.
- caractériser les fonctions.
- hiérarchiser les fonctions.

2.2.1Situation du problème : Production de protège-câble :

Apres le découpage de la tôle en forme voulue leurs passages devant les paires de couples de galets nous donnent les formes finales soit le protège-câble ou soit le tirant.

Recherchons le moyen de satisfaire ce besoin.

- Recherche d'une solution :

Pour assurer un fonctionnement correct de la machine de profilage, cette dernière doit être gérée comme suit : Lorsque les tôles découpées arrivent, la machine étant éteinte. Après des réglages préalables, le machiniste appuie sur le bouton de déclenchement initial pour démarrer la production. Une fois la production a démarré, les tôles découpées positionnant a l'entrée de la machine, Les étapes de production se poursuivent, jusqu'à l'arrivée aux dernières étapes qui est l'obtention des produits finaux. Lorsque l'opération d'empilage qui se fait manuellement est terminée, le cycle peut recommencer.

2.2.2Etude fonctionnelle du besoin

- Enoncé du besoin (bête à cornes) :

Généralement, le diagramme « bête à cornes » permet de définir *l'idée principale soit le besoin du client.*

Dans le cas de la machine de profilage, la verbalisation associée au diagramme « bête à cornes », peut être définie par

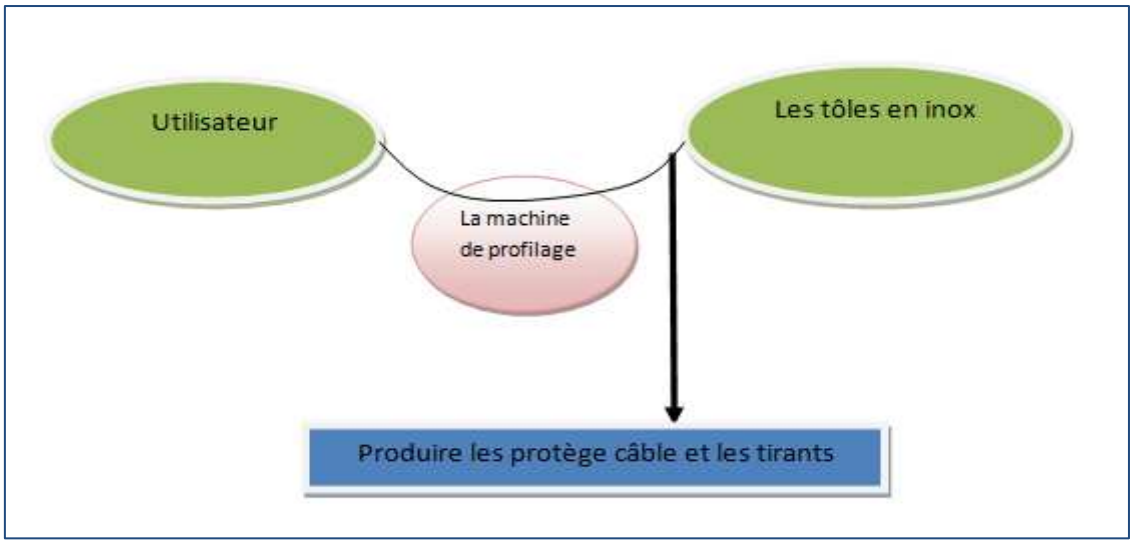


Figure7- diagramme bête à cornes de la machine de profilage

‘‘ Le produit ‘le protège câble ou le tirant ’ rend service au client interne, en agissant sur la matière d’œuvre ‘les tôles d’inox’, pour satisfaire le besoin ’’.

- Validation du besoin (SADT) :

Une fois le besoin est défini, ce dernier doit être modélisé en vue d’une éventuelle validation. Pour cela, on recourt à un concept de base, simple, basé sur un formalisme graphique et textuel facile, qui s’appel le *SADT : Structured Analysis and Design Technic.*

Le diagramme SADT est une structure hiérarchisée par niveau permettant une clarification et une décomposition analytique de la complexité d'un système. Dans le cas de la machine de profilage, le diagramme SADT associé, peut être décrit comme suit :

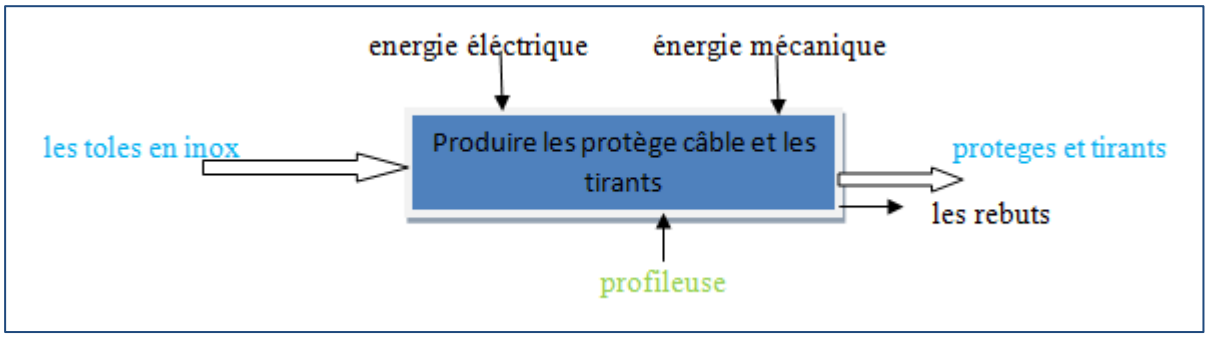


Figure 8- Le diagramme SADT de la machine de profilage

- Identification des fonctions de service (diagramme des interactions) :

Lorsque le besoin est validé, il est nécessaire d’identifier les relations existantes entre le produit et son environnement afin d’identifier les *fonctions de service*, qui vont permettre de satisfaire ce besoin.

La recherche des fonctions de services se fait à l’aide du *diagramme pieuvre*.

2.4 1er étape : la recherche des fonctions :

2.3.1Méthode RESEAU :

Pour effectuer la recherche des fonctions d’une profileuse, trois outils furent utilisés dans la Méthode RESEAU. Rappelons que la méthode RESEAU propose les outils de recherche de

Fonctions suivants :

- **R** : Recherche Intuitive.
- **E** : Examen de l'environnement (méthode des interacteurs).
- **S**: Sequential Analysis of Functional Element (SAFE).
- **E** : Examen des efforts et des mouvements.
- **A** : Analyse d'un produit de référence.
- **U** : Utilisation des normes et des règlements.

Pour la recherche des fonctions, il existe plusieurs méthodes qui ont pour objectif de citer le maximum des fonctions d'un produit, parmi ces méthodes on trouve le diagramme de pieuvre, on peut aussi se baser sur l'intuitivité (on peut faire un brainstorming).

2.3.2Digramme de pieuvre :

L'outil "diagramme pieuvre" est utilisé pour analyser les besoins et identifier les fonctions de service d'un produit. Le diagramme "pieuvre" met en évidence les relations entre les différents éléments du milieu environnant et le produit. Ces différentes relations sont appelées les fonctions de service qui conduisent à la satisfaction du besoin.

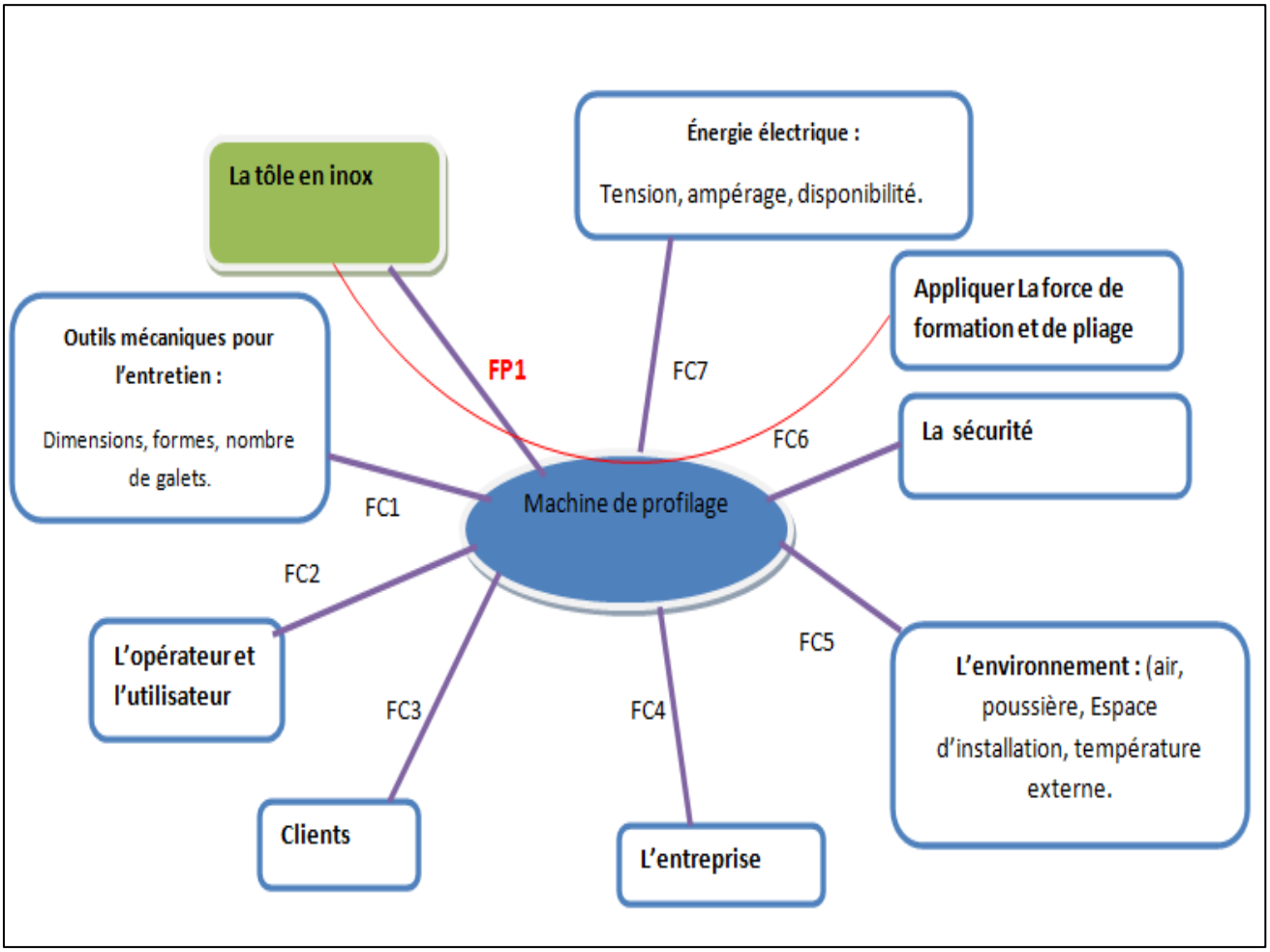


Figure 29- Diagramme de pieuvre pour la machine de profilage

FP1 : déformer et plier la tôle en inox.

FC1 : faire un entretien souple du mécanisme.

FC2 : manipuler facilement.

FC3 : respecter les attentes des clients.

FC4 : minimiser le coût de production (minimiser, le temps de production, les pertes …).

FC5 : Résister à l'environnement.

FC6 : garantir la sécurité des personnes et des biens.

FC7 : fonctionner sur l'énergie du réseau RADEEF.

Avec FP : fonction principale et FC : fonction contrainte

2.3.3 Brainstorming

Le brainstorming est une technique de génération des idées qui stimule la réflexion et la créativité lors de la recherche de solutions pour un problème donné, il s'agit de produire le plus idées possible, dans un minimum de temps sur un thème donné et sans critiquer, sans juger. Pour chercher les fonctions techniques, j'ai pratiqué avec mon encadrant la Brainstorming

Les fonctions relevées :

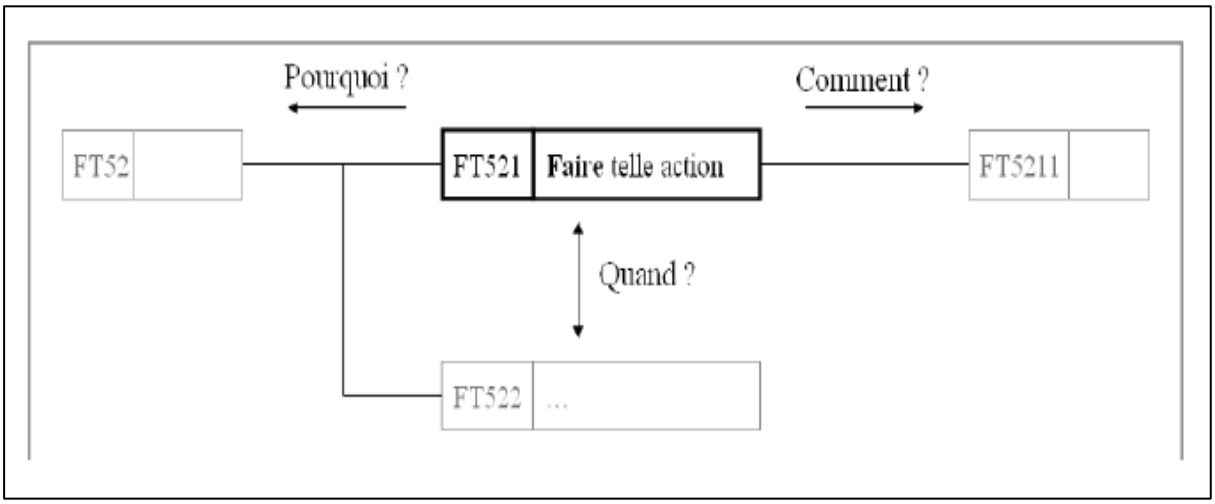
- Gagner en en argents et en temps.
- Avoir un Travail sur commande donc il n'y a pas de stock.
- Diminuer le nombre de main d'œuvre et d'opérateurs.
- Réduire les problèmes de maintenance.
- Minimiser les pertes des composants
- Faciliter le contrôle
- Faciliter l''intervention
- Diminuer les accidents de travail
- Annuler quelques taches supplémentaires.
- Avoir un déplacement souple.
- Exercer un poids sur la table.
- Eviter la vibration de la machine.
- Faciliter le déplacement.
- Manipuler la procédure de fonctionnement.

2.5 2éme étape : Ordonner les fonctions :

Pour ordonner les fonctions, il existe un outil principal : F.A.S.T (acronyme de « Functionnal Analysis System Technique »). D'autres outils existent comme arbre fonctionnel, mais il s'agit de compléments au FAST

Les fonctions techniques sont nommées FTijk… où i est le numéro de la FS développée(FSi). j et k indiquent la position de la fonction technique dans l'arborescence de FSi.

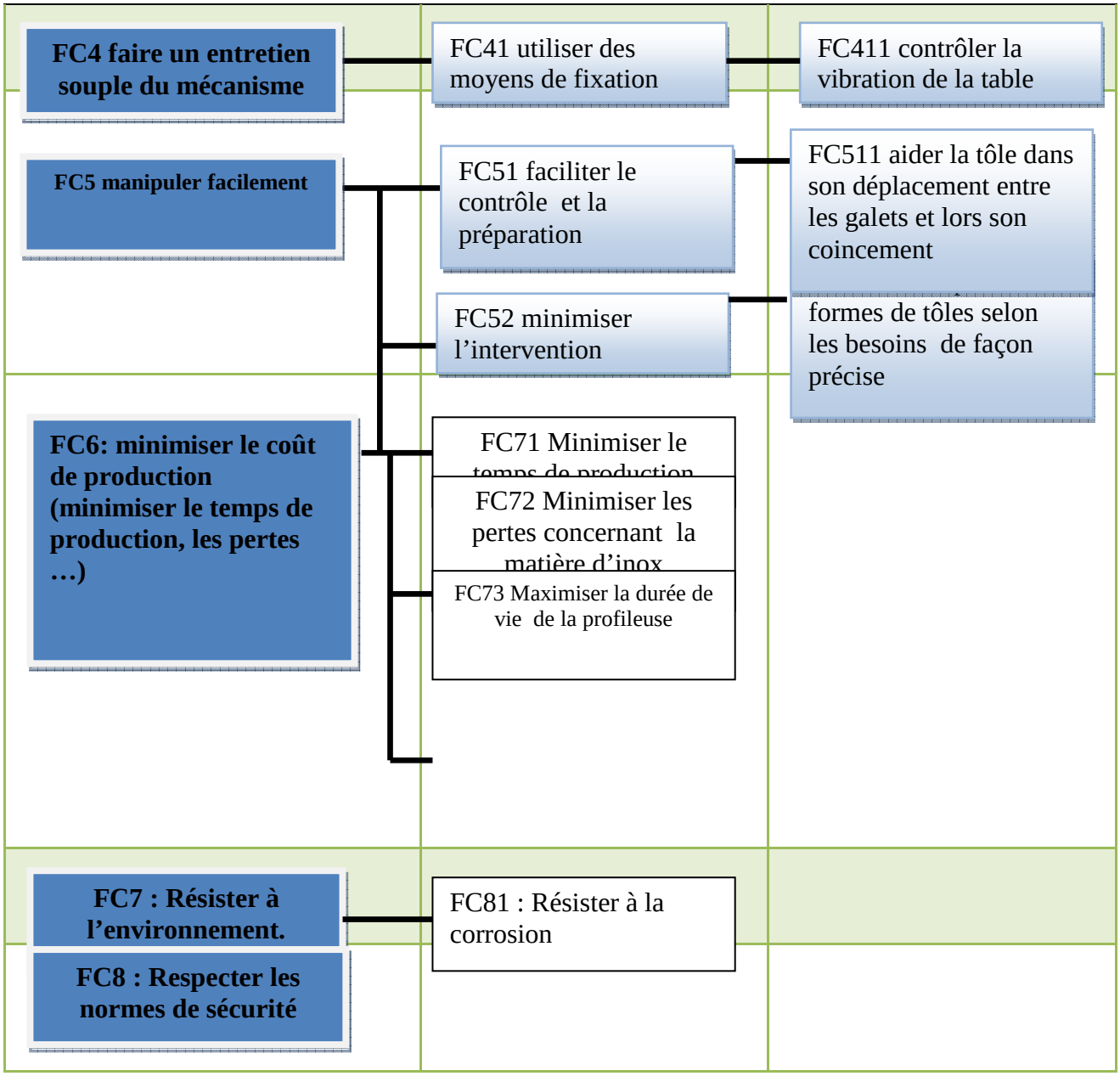
Lecture du FAST :



2.5.1 L'application

Tab 5 : diagramme FAST pour la machine de profilage

Fonction de service	Fonction technique	Sous-fonction technique
FP1 déformer la tôle en inox	FP11 appliquer des forces au niveau de couple de galet	FP111 Recevoir les différentes longueurs de tôles de la dérouleuse FP 112 Avoir un moment de flexion qui repond a nous besion de fonctions et de dimensions de la piece
FC2 choisir le moteur convenable	FC21 Avoir la valeur du puissance convenable pour	FP221 Appliquer une couple suffisant par le moteur électrique FP222 Regler les vitesses entres les galets
FC3 Fixer et adapter les galets au movements perturbateurs (usurs , instabilitées…).	FC41 Pour limiter les phénomènes parasites, il faut choisir une progression de l'angle de pliage d'une tête à l'autre suffisamment faible	



2.6 3éme étape : caractériser les fonctions

2.6.1explication

Caractériser une fonction, ça-veut-dire définir :

- Critère d'appréciation
- Niveaux
- Flexibilités

Critère d'appréciation :

C'est un paramètres retenus pour juger d la manière dont une fonction est remplie, on le recherche, en posant une des deux questions suivantes :

- Comment mesurer et contrôler cette fonction
- Comment vérifier cette fonction

Niveaux :

Grandeur espérée sur l'échelle de mesure retenue pour un critère d'appréciation.

Flexibilités :

Ensemble des indications, exprimées par le demandeur, précisant la possibilité de moduler la valeur d'un niveau. Il y a trois moyens d'exprimer la flexibilité :

- La limite d'acceptation (maximum, minimum)
- La variation du niveau (±proportion du niveau)
- La classe de flexibilité (F0, F1, F2 ou F3).

2.6.2 L'application

Définition des critères d'appréciation :

FP1 : déformer et plier la tôle en inox.

FC2Choisir le moteur convenable

FC3Fixer et adapter les galets aux mouvements perturbateurs (usures, instabilités…).

FC4faire un entretien souple du mécanisme.

FC5 : manipuler facilement.

FC6 : minimiser le coût de production (minimiser, le temps de production, les pertes …).

FC7 : Respecter les normes de sécurité.

Tab.6: caractérisation des fonctions

Fonction		Critère	Niveau	flexibilité
FP1	déformer et plier la tôle en inox			

FP11	appliquer des forces au niveau de couple de galet.	La force de formage en Newton pour plier la tôle en tient les caractéristiques du matériau.	34.73 KN	± 5 KN
FP111	Recevoir les différentes longueurs de tôles de dérouleuse après le découpage	La longueur maximale pour réaliser la protège-câble.	2000 mm	± 100 mm
FP112	Avoir un moment de flexion qui repond a nous besion de fonctions et de dimensions de la piece	Le moment de flexion pour une déformation purement plastique rigide de la bande	75 N.m	±10 N.m
FC2	**Choisir le moteur convenable**			
FC21	Avoir la valeur du puissance convenable pour le fonctionnement.	La puissance est en Kwatt (KW)	0.75 KW	±0.25 KW
FC211	Appliquer une couple moteur entre les galets suffisant par le moteur électrique	La couple en fonction de choix de la puissance il est en N.m	10.7N.m	±2.5 N.m
FC222	Regler les vitesses entres les galets	Avoir une vitesse correspond a la vitesse de production	10 m/min	±15 m/min
FC3	**Fixer et adapter les galets aux mouvements perturbateurs (usures, instabilités…).**	Pour limiter les phénomènes parasites, il faut choisir une progression de l'angle de pliage d'une tête à l'autre suffisamment faible	10°	±2° a 5 degré
FC4	**faire un entretien souple du mécanisme.**			
FC41	Utiliser des moyens de fixation	Comme clé plate ou des choses automatiques avec des couple acceptable	1 N.m	±0.01N .m
FC411	Contrôler la vibration de la table	Utiliser des moyens de contrôle		
FC412	Prévenir des conditions idéals de travail	Meilleur fixation et vibration acceptable		
FC5	**manipuler facilement.**			

FC51	Faciliter le contrôle et la préparation	Probabilité de faire une faute	0	
FC511	Aider la tôle dans son déplacement entre les galets et lors de son coincement	Par des petits galets intermediaires	8	±1
FC 52	Minimiser les interventions	Nombre d'intervention	2 à 3 par mois	±1
FC521	Découper les formes de tôles selon les besoins de façon précise	Avoir des formes précise	2m	±2mm
FC6	**minimiser le coût de production (minimiser le temps de production, les pertes …)**			
FC61	Minimiser le temps de production	Le temps de production	maximum	>5piece /min
FC62	Minimiser les pertes concernant la matière d'inox	le volume des pertes	Maximum	
FC63	Maximiser la durée de vie de la profileuse	la durée de vie de la cafetière	maximum	> 5 ans
FC64	Minimiser l'erergie dipensée	L'énergie dépensée	minimum	……..
FC7	**: Respecter les normes de sécurité.**			

Nota : Classes de flexibilité :

- Classe F0 :flexibilité nulle – niveau impératif.
- Classe F1: flexibilité faible – niveau peu négociable.
- Classe F2 : flexibilité bonne – niveau négociable.
- Classe F3 : flexibilité forte – niveau très négociable.

2.7 4éme étape : la hiérarchisation des fonctions

Toutes les fonctions doivent être satisfaites, mais il est nécessaire de les hiérarchiser., il est évident que l'on ne peut attribuer la même importance au 2 fonctions et on aura apres la confusion comment se comprter devant ces 2 fonction. La solution la plus utilisée pour hiérarchiser les Fonctions consiste à attribuer un coefficient noté k entre 1 et 5 pour chaque critère de chaque fonction.

Tab.7 : poids pour la pondération des fonctions

K	Importance
1	Souhaitable
2	Necassaire
3	Importance
4	Tres importance
5	Vitale

Tab.8 : hiérarchisation des fonctions

Fonction de service	Critere	K critere	Somme	K
Deformer et plier la tole en inox	La force de formage en Newton pour plier la tôle en tient les caractéristiques du matériau.	5	15	5
	La longueur maximale pour réaliser la protège-câble.	5		
	Le moment de flexion pour une déformation purement plastique rigide de la bande	5		
	La puissance est en Kwatt (KW)	3	10	5
	La couple en fonction de choix de la puissance il est en N.m	4		

Choisir le moteur convenable	Avoir une vitesse correspond a la vitesse de production	**3**		
Fixer et adapter les galets aux mouvements perturbateurs (usures, instabilités…).	Pour limiter les phénomènes parasites, il faut choisir une progression de l'angle de pliage d'une tête à l'autre suffisamment faible	**4**	**4**	**4**
faire un entretien souple du mécanisme.	Comme clé plate ou des choses automatiques avec des couple acceptable	**3**	**9**	**3**
	Utiliser des moyens de contrôle	**3**		
	Meilleur fixation et vibration acceptable	**3**		
Manipuler facilement	Probabilité de faire une faute	**4**	**16**	**4**
	Par des petits galets intermediaires	**4**		
	Nombre d'intervention	**4**		
	Avoir des formes précise	**4**		
minimiser le coût de production (minimiser le temps de production, les pertes …)	Le temps de production	**4**	**16**	**4**
	des pertes de la matiere	**4**		
	la durée de vie de la profileuse	**4**		
	L'énergie dépensée	**4**		
Respecterr les normes de securité				**5**

3. QFD le déploiement de la fonction qualité

La méthode (Quality Function Deployment (QFD) est une approche matricielle de conception de produit (ou service) permettant de répondre le mieux possible aux attentes du client. Cette méthode prend en compte l'ensemble des besoins du marché et/ou les "désirs" des futurs utilisateurs dès la conception d'un produit (ou service) et permet d'élaborer le meilleur processus de fabrication et d'élaboration en accord avec les impératifs de qualité fixés. L'objectif principal du QFD est de trouver les critères critiques.

Les relations entre les critères et les attente sont estimés en posant d'hypothèse « si le critère varie quel sont ses effet sur les fonctions de besoin »

Pour être compétitive dans le monde actuel de la modélisation et la fabrication des produis on doit satisfaire le maximum ce que le client veux et ça se fait par la traduction ce que le client veut réellement en terme de besoins qui constitue l'élément d'entre dans un PDP (processus de design d'un produit particuliers les choses importantes devants les yeux de ce derniers.

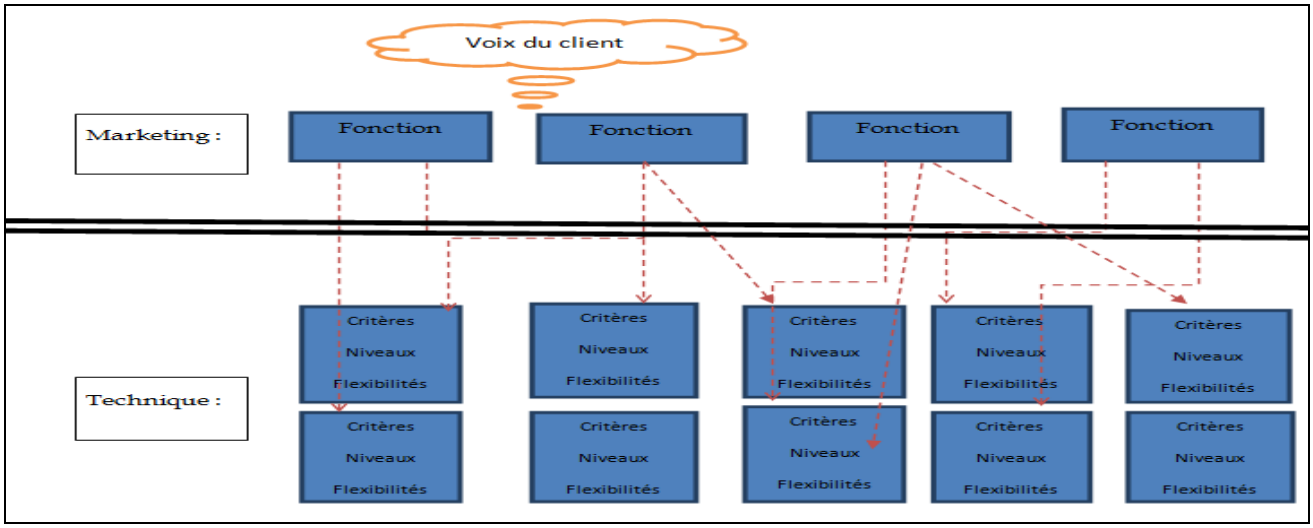


Figure 11- principe de QFD

3.1 Définition du QFD

Le QFD est une méthode permettant de traduire de façon approchée les attentes de consommateurs en spécifications internes à l'entreprise et ceci tout au long du développement d'un produit.

Autrement dit le QFD est un outil pour aider dans la conception à respecter la voix du client.

Avantage de QFD :

Moins de modification après la mise sur le marché du produit

Diminution des couts de garantie

Augmentation de la satisfaction des clients

Amélioration de la communication entre les services.

Diminution de délai de développement.

Le QFD est un système de gestion de la conception en 4 matrices :

1. la planification du projet
2. la conception du produit
3. l'élaboration des procédés de fabrications.
4. les paramètres de la production.

Pour la matrice construite se touve dans dans

Tab.9 : les poids pour la matrice QFD

Type	Relation	Points
	Relation forte	**9**
	Relation moyenne	**3**
	Relation faible	**1**
	Correlation positive	……
	Correlation negative	……..

Les critères critiques trouvés :

Tab.10 : classification des fonctions critiques trouvées

Criteres	Importances
La puissance convenable	86

La vitesse de production	76
La force de formage	75
Les pertes	55
Le temps de production	52
La probabilité de faire une faute	41
L'energie depensée	40
La durée de vie de profileuse	40

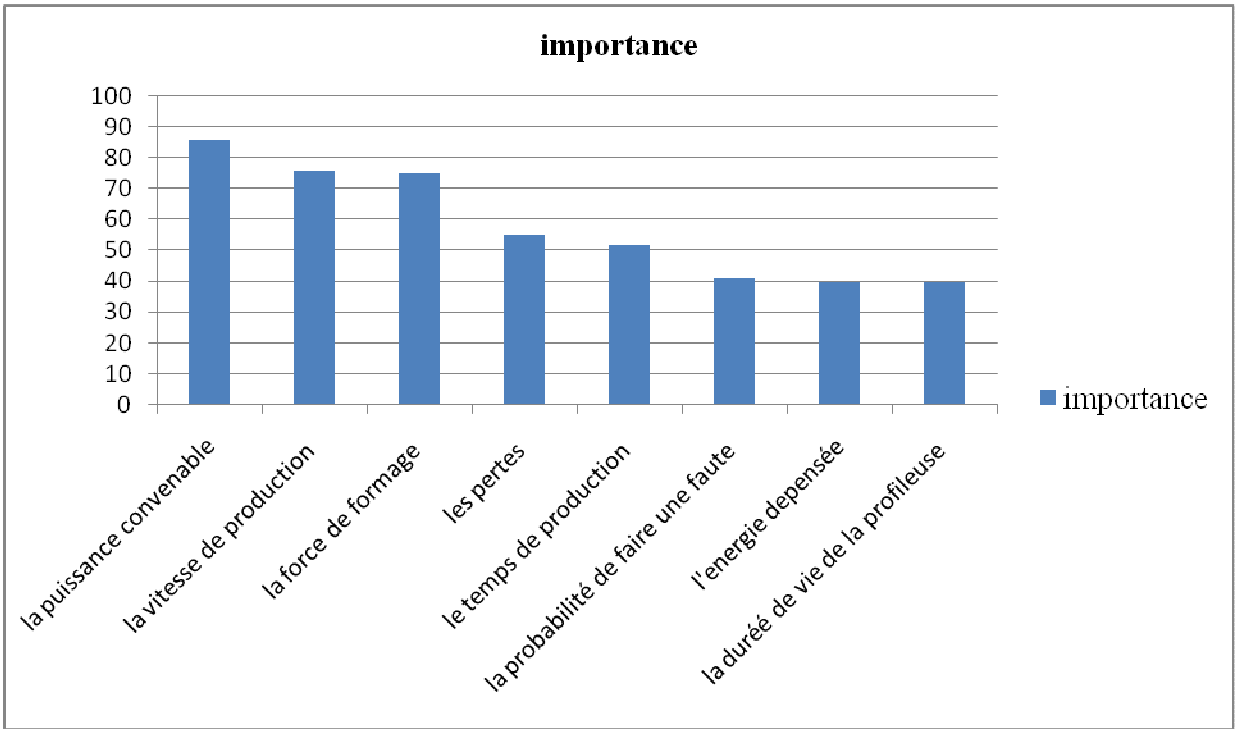


Figure 12- graphe des importances des critères

La QFD montre l qu'il s'agit d'un effet ou d'un cause donc pour cela va se concentré sur les critères critique

3.2 Recherche des concepts et des solutions pour la conception finale :

Pour chercher les meilleures solutions on va utiliser la matrice morphologique.

3.2.1Matrice morphologique

Définition : La matrice morphologique est un tableau mettant en scène les différents éléments constitutifs des mesures envisagées, en prenant en compte les variations possibles de ces différents éléments. Cela permet donc de combiner plusieurs éléments et ainsi de faire apparaître différents scénarios possibles. La première étape consiste à détaillé le système en catégorie ou fonctions.

Ensuite, il s'agit d'établir les toutes solutions possibles pour chaque catégorie. Et Pour trouver une solution globale au système, il suffit de choisir une case dans chaque ligne. Les combinaisons sont donc multiples et très nombreuses.

- Remarque : les solutions sont obtenues par la méthode brainstorming

Pour choisir les meilleures solutions on va se basé sur les critères suivant :

- Le Coût
- Rendement
- Durée de vie
- Flexibilité
- Facilité de montage et d'entretien
- Resistance aux conditions difficiles d'utilisation (température élevée)
- L'irréversibilité
- Le rapport de réduction
- L'efficacité

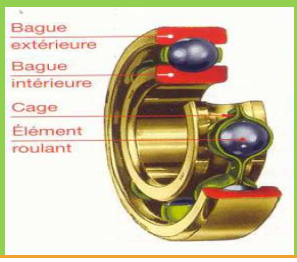
La pondération de chaque solution sera de 1 à 5

Tab.11 : Importance des critères de choix des concepts

Critère	Importance	
	K	
	1	5
Le coût	coûteux	peu coûteux
Le rendement	<20%	>80%
La durée de vie	mauvaise	Très bonne
La flexibilité	Non flexible	Flexible
Le montage et d'entretien	difficile	Facile
La résistance aux conditions difficiles	Mauvais résistant	Bon résistant
L'irréversibilité	réversible	Irréversible
Le rapport de réduction	faible	Elevé
L'efficacité	Non efficace	Très efficace

3.2.2Matrice morphologique

Tab.12 : la Matrice morphologique des concepts

Fonctions	Solution 1	Solution 2	Solution 3
Guidage en rotation	Utiliser les roulements 	Utiliser les coussinets	Utiliser les paliers lisses
Le Coût	5	2	2
rendement	5	5	5
Flexibilité	5	5	4
Resistance aux conditions difficiles d'utilisation	5	5	5
Facilite de montage et d'entretien	5	4	5
Durée de vie	5	5	5
Evaluation	30	26	27
Tourner les galets	Utiliser un moteur asynchrone	Utiliser un moteur électrique synchrone	
Le Coût	1	4	
Vitesse de sortie du pignon	5	1	
L'efficacité	5	2	
Evaluation	16	8	
Utiliser un système de transmission De mouvement	Utiliser un engrenage	Utiliser une chaine	Utiliser une courroie
Le Coût	5	3	1
rendement	5	5	5
Flexibilité	5	2	1
Resistance aux conditions difficiles	4	5	5

d'utilisation			
Facilite de montage et d'entretien	5	5	1
Durée de vie	4	4	5
Evaluation	28	24	18
Réduire la vitesse d'entée	Utiliser un réducteur a engrenage	Utiliser un réducteur a vis sans fin	
Le Coût	4	2	
rendement	4	4	
Flexibilité	4	4	
Resistance aux conditions difficiles d'utilisation	4	4	
Facilite de montage et d'entretien	3	3	
Durée de vie	5	5	
Evaluation	24	22	
Fixer le système	Fixation sur table		
Le Coût	2		
rendement	4		
Flexibilité	4		
Resistance aux conditions difficiles d'utilisation	4		
Facilite de montage et d'entretien	3		
Durée de vie	5		
Evaluation	22		

Voila la 1ere conception faite au début par Catia est la suivante :

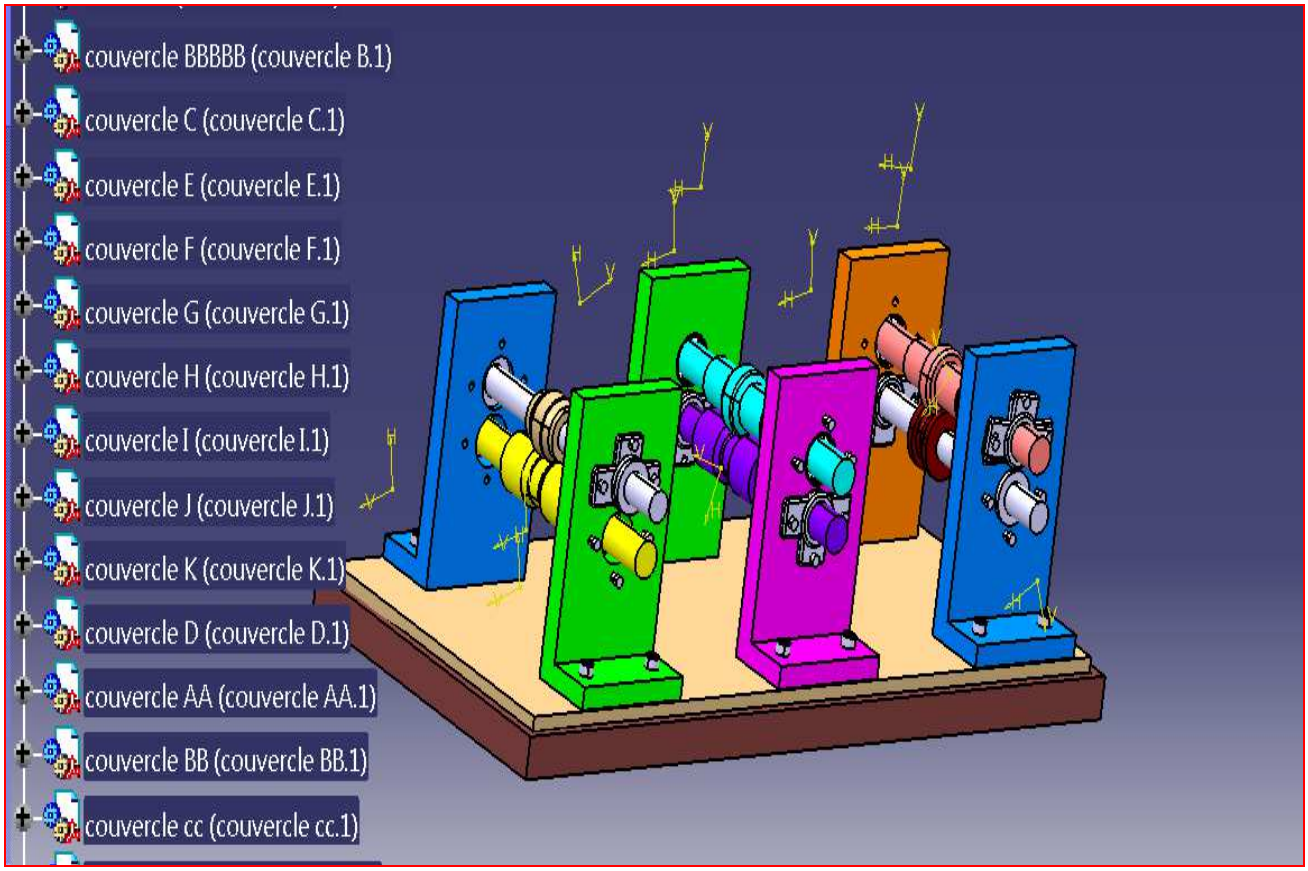


Figure 13 : conception préliminaire faite sur Catia V5

Chapitre IV:
Présentation du

procédé de profilage et calculs conceptuel

1. Mise en forme par profilage

Le profilage est un procédé continu de formage à froid partant de métal en feuilles ou en bobines. Il permet de réaliser des pièces appelées **profilés**, en général nettement plus longues que larges, de section essentiellement constante.

Deux grandes techniques de profilage différentes sont utilisées :

- le profilage en feuille à feuille.
  - On peut considérer d'une façon générale que le profilage en feuille à feuille est utilisé pour la fabrication des profils de couverture et de plancher.
- le profilage en continu.
  - Les profilés épais ou dont la section est complexe sont en général fabriqués **en continu**. Dans le cas contraire, l'introduction répétée des profils d'une passe à l'autre imposerait des guidages importants, sources de friction, et dont l'usure serait rapide.

1.2 Principe du profilage

1.2.1Les éléments d'une ligne de profilage

Une ligne de profilage est constituée par un ensemble d'appareils permettant l'alimentation de la machine, le déroulage des bobines, le planage, le raboutage, le guidage, enfin, et principalement, le profilage puis le dressage, le débitage, l'empilage des produits (figure 14).

En effet, le principe de profilage c'est de faire passer entre les galets (inferieurs et supérieurs) une tôle et a partir d'une force de formage nécessaire qu'on applique sur cette dernière on essaye à faire former la tôle pour obtenir la forme voulu, le nombre de passe ca dépond de la complexité de la forme et de la précision voulu.

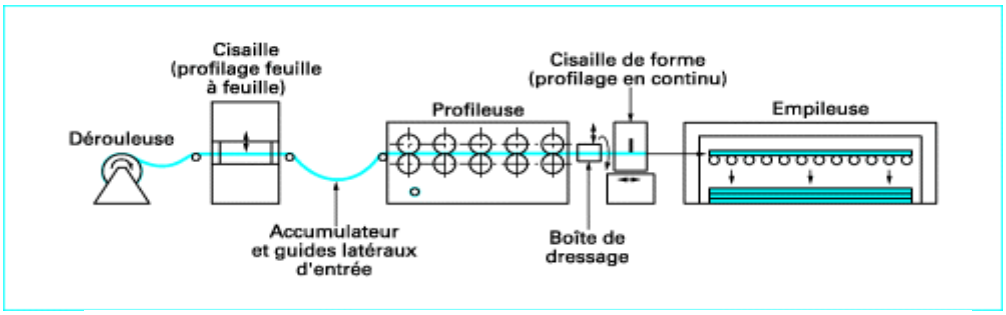


Figure 14 : Organisation d'une ligne de profilage

Une profileuse est composée d'une succession rapprochée de têtes de profilage disposées en tandem.

Les éléments constituants une profileuse sont :

- Un système de motorisation pour faire entrainer la profileuse.
- Galet inferieurs et galets supérieurs.
- Arbre supérieurs et arbres inferieurs.

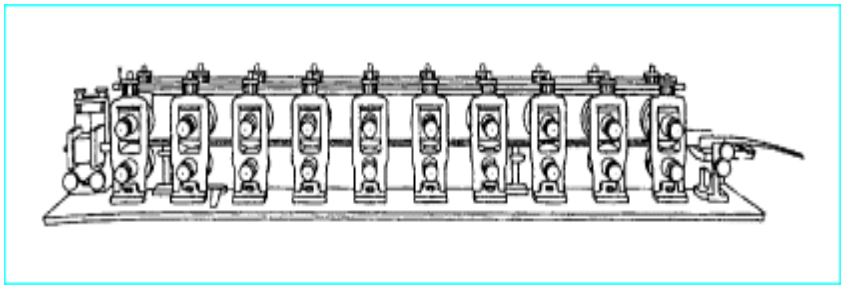


Figure 15 - Profileuse : vue d'ensemble

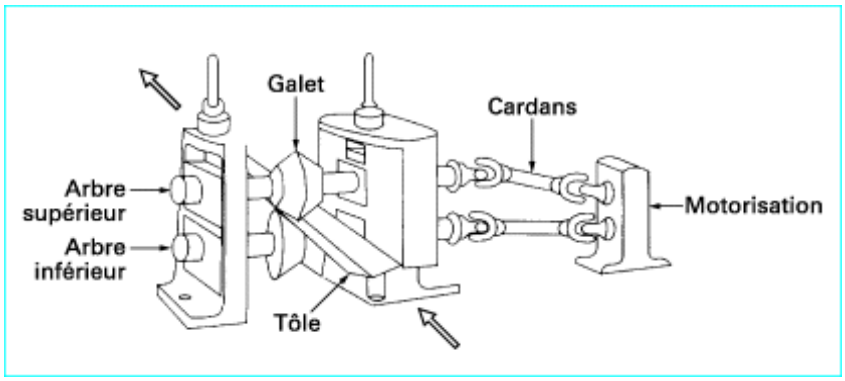


Figure 16 - Tête de profilage : schéma général

1.2.2Nombre et disposition des tetes

Les machines à profiler comportent un nombre plus ou moins important de têtes. Les plus simples en comportent 4, les plus compliquées en comportent 30 ou davantage.

La distance qui sépare deux têtes consécutives est différente suivant la puissance de la machine pour des raisons de construction, mais cette distance est aussi fonction de la hauteur maximale du profil que la machine considérée peut fabriquer. Plus cette hauteur est importante et plus la distance entre deux têtes est grande. Il n'y a pas de règle absolue dans ce domaine. Il est rare que cette distance soit ajustable.

1.2.3Réglage des arbres en hauteur

L'arbre supérieur est presque toujours réglable en hauteur, l'arbre inférieur est souvent fixe. Il existe toutefois toutes les autres possibilités : les deux arbres fixes, les deux réglables, l'inférieur réglable. Il est bien entendu que la possibilité de régler les arbres en hauteur suppose un système de transmission du mouvement du moteur d'entraînement suffisamment souple, par exemple l'usage de cardans.

1.2.4Vitesse d'entraînement

Les machines simples sont prévues avec des vitesses de rotation d'arbre identiques, alors que les machines plus évoluées ont en général des vitesses de rotation différentes pour les arbres supérieurs et inférieurs. Il existe enfin des machines pour lesquelles chaque arbre est équipé d'un moteur à courant continu.

Certaines machines ont une seule vitesse de travail, d'autres sont totalement réglables en vitesse. L'augmentation de la vitesse de travail (jusqu'à 120 m/min) ne présente pas d'intérêt majeur.

2. Règles de conception des outillages

2.1 Nombre de passes et écartement entre têtes

Pour créer un nouveau profilé, on détermine en première approximation le nombre de passes nécessaires pour la fabrication dans de bonnes conditions du produit considéré.

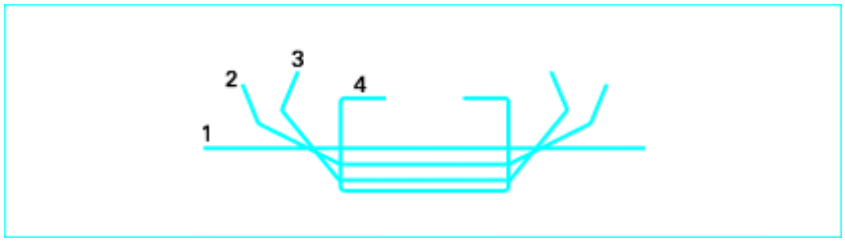


Figure 17- Fleur de profilage : exemple simple

Pour déterminer ce nombre de passes, on procède à la conception de la « fleur de profilage » (figure 17). Cela consiste à dessiner le produit dans sa section terminale, puis à dessiner successivement les passes précédentes de façon à ramener progressivement la forme du profil à la section linéaire de la bande d'origine.

Lorsque le concepteur opère des choix parmi les nombreuses possibilités qui s'offrent à lui, il se doit de respecter un certain nombre de règles s'il veut obtenir une qualité finale du produit satisfaisante. Ces règles ont parfois pour conséquence d'accroître le nombre de têtes et la longueur de la profileuse.

Pour limiter les phénomènes parasites, il faut choisir une progression de l'angle de pliage d'une tête à l'autre suffisamment faible. Une autre solution consiste à accroître la distance entre les têtes. Cependant, du fait que le travail du métal a tendance à se concentrer au voisinage des galets plutôt qu'à se faire progressivement entre les têtes.

Le nombre de passes peut varier de façon importante selon que l'on forme les plis séquentiellement ou simultanément. Dans la mesure du possible on prévoit, tout d'abord, une déformation de la partie centrale de la bande, puis des déformations relatives aux parties latérales de celle-ci.

Nous allons choisi le minimum de passes. En effet nous avons contenté dans cette application de quatre passes.

2.3 Rayon de pliage rapporté à l'épaisseur

En règle générale, le rayon de pliage est imposé par la fonctionnalité du profilé. Cependant il y a lieu de prendre en considération les difficultés rencontrées lors du profilage. Celles-ci sont plus directement liées au rapport rayon sur épaisseur qui doit être maintenu dans une certaine fourchette.

Lorsque ce rapport devient trop grand, on se heurte au phénomène du retour élastique (figure 18), qui induit principalement des difficultés dans la maîtrise des angles. Ce phénomène est amplifié lorsqu'on utilise des aciers à faible limite d'élasticité.

Lorsque le rapport rayon sur épaisseur devient petit, le travail par allongement de l'acier et de ses revêtements de protection devient très sévère. Si cet allongement dépasse le seuil admissible par les matériaux, il se produit des casses ou des fissurations. Les fissurations des revêtements de protection conduisent généralement à l'accélération de la corrosion dans ces zones.

On peut, en première approximation, utiliser des formules, issues d'études sur le pliage classique, pour quantifier ces deux phénomènes.

Pour les matériaux dures comme l'acier inox, il est recommandé d'avoir un rapport $\frac{R_i}{e} \geq 1$ nous considérons le cas le plus défavorable cad : $R_i = e = 1mm$

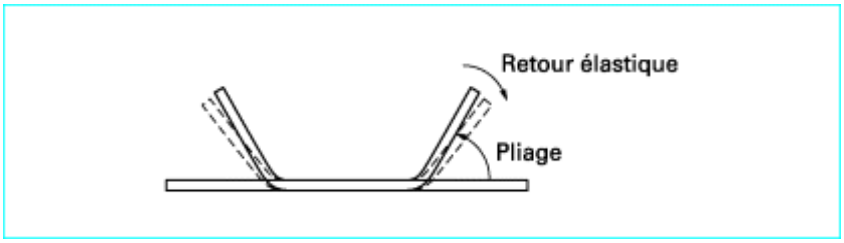


Figure 18- Retour élastique après pliage

2.4 Alignement des galets

Il est important que les points de pliage coïncident parfaitement d'une passe à l'autre. Dans le cas contraire, les zones déjà pliées sont redressées, tandis que le rayon n'est plus régulier le long du pli. Il s'ensuit une modification du retour élastique et de l'angle résultant en sortie de profileuse. Lorsque la conception des galets ne permet pas d'ajuster aisément leur position latérale, il est alors nécessaire de tenir compte dans l'établissement des plans du léger allongement transversal, dit de membrane (ou encore de la fibre moyenne), qui se produit dans les plis et qui décale ceux-ci latéralement. Ainsi, la largeur finale du profilé développé est un peu plus importante que la largeur de la bobine de départ. Cet allongement doit, en général, être estimé par l'expérience.

Cette remarque nous impose de choisir des solutions avec possibilités des réglages latéraux de galets.

2.5 Hauteur de retombée de bord

La hauteur de retombée de bord correspond à la distance entre le bord et le premier pli. La règle est que cette distance ne soit ni trop importante ni trop réduite.

Si la hauteur de retombée de bord est trop importante, on obtient des ondulations de cette rive par phénomène de flambage (figure 19).

Si l'on diminue trop la retombée de rive, on ne disposera pas d'assez de prise pour la former. Le minimum généralement admis est de six fois l'épaisseur.

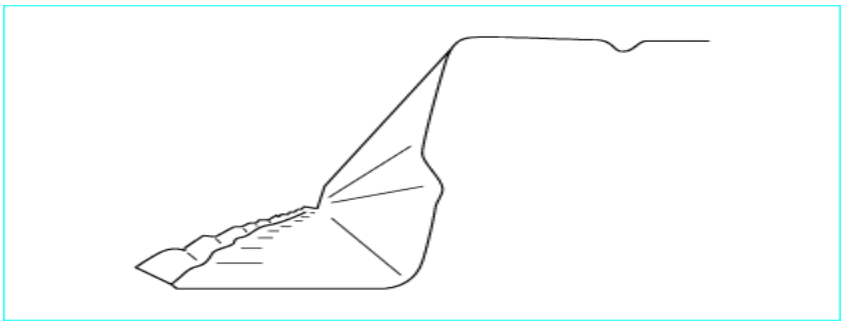


Figure 19- Ondulation d'une rive due au flambage local

2.6 Largeur

Laisser une largeur importante non formée entre deux plis ne pose en soi aucune difficulté particulière de profilage. Cependant, on risque de faire apparaître des défauts de planéité.

L'origine physique du problème se situe une fois encore dans l'apparition d'allongements plastiques intempestifs, avant ou pendant le profilage, conduisant à des contraintes de compression, d'où flambage une fois le seuil atteint. Ce dernier décroît comme l'inverse du carré de la largeur b non formée et croît comme le carré de l'épaisseur e : $\sigma_{cr} = \frac{K.e^2}{b^2}$

Pour limiter voire éliminer ce type de défaut, particulièrement visible avec des revêtements brillants tels que la peinture ou le galvanisé, il suffit de réduire la largeur des zones non formées, ce que l'on fait en ajoutant des petits raidisseurs intermédiaires. Une autre solution est de masquer le défaut en agissant sur l'aspect de surface, par exemple en embossant légèrement le métal.

2.7 Phénomènes de frottement

L'existence des différentiels de vitesse entre la feuille d'acier et les galets en leurs différents points de contact est à l'origine de problèmes de frottement.

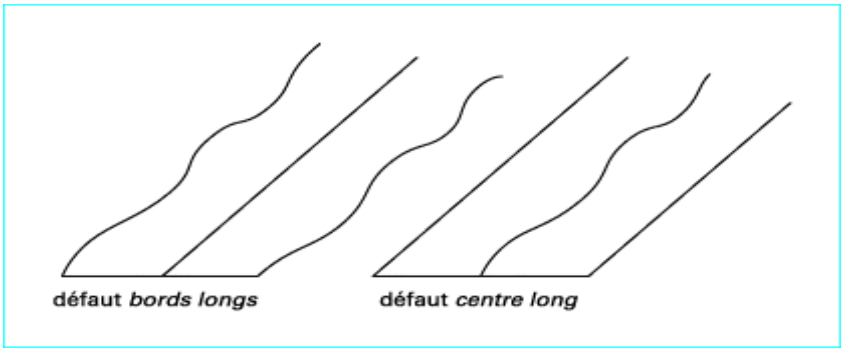


Figure 20- Défauts de planéité du type « fibre »

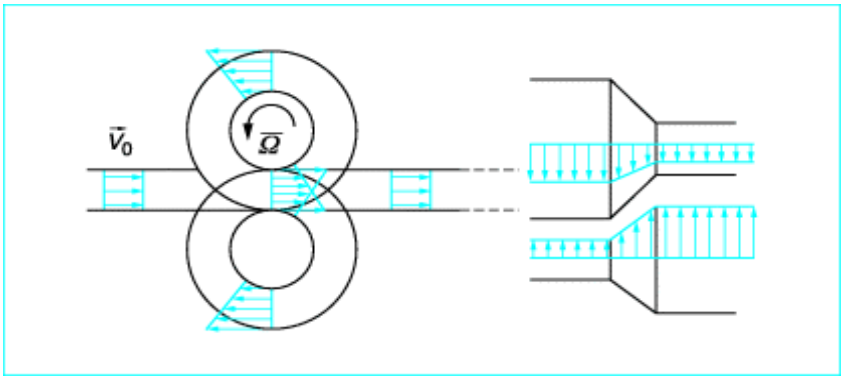


Figure 21- Répartition des vitesses de la tôle et des galets

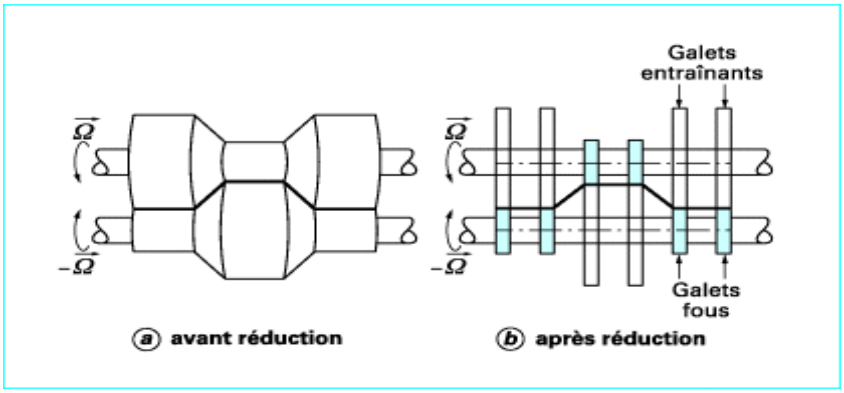


Figure 22- Différentiel de vitesse : une méthode de réduction

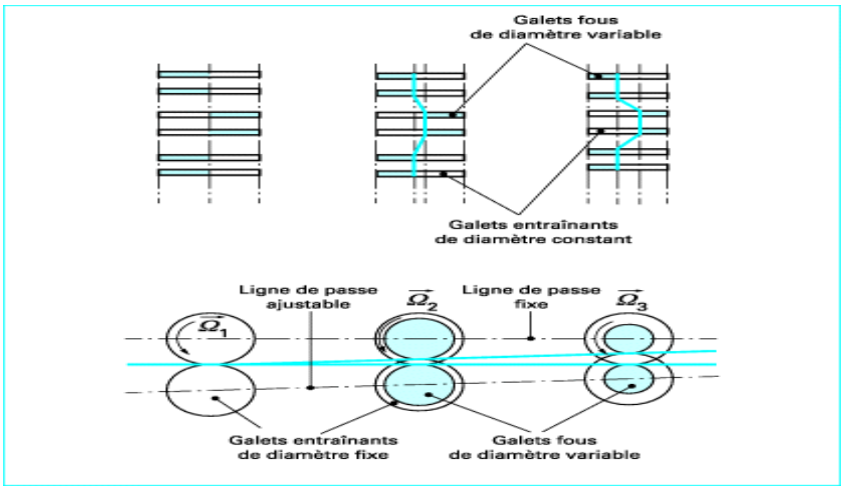


Figure 23- Réduction du différentiel de vitesse entre tôle et galets dans le cas d'une vitesse de rotation égale sur toutes les têtes réduction

On peut, bien entendu, réduire l'intensité des frottements en lubrifiant les contacts. Toutefois, pour certains types de profil, il existe une solution pour diminuer de façon plus sensible ces frottements dommageables pour les revêtements fragiles. Elle consiste à fractionner l'empilement des galets d'un même arbre (figure 22), à éliminer les parties coniques des galets et à choisir arbitrairement une classe de galets dont les points de contact sont à un rayon donné. Cette classe de galets restera solidaire de la rotation de l'arbre, les autres classes seront montées sur roulement.

On retrouve le même problème de frottement lorsque toutes les têtes de la profileuse sont entraînées à la même vitesse de rotation : $\omega_1 = \omega_2 = \omega_3$ Ce qui est le cas le plus fréquent.

Dans notre cas nous allons choisir la motorisation d'un seul étage de galet, le reste sera monté sur roulement

3. Calcul les paramètres de la conception

3.1 Calcul du moment

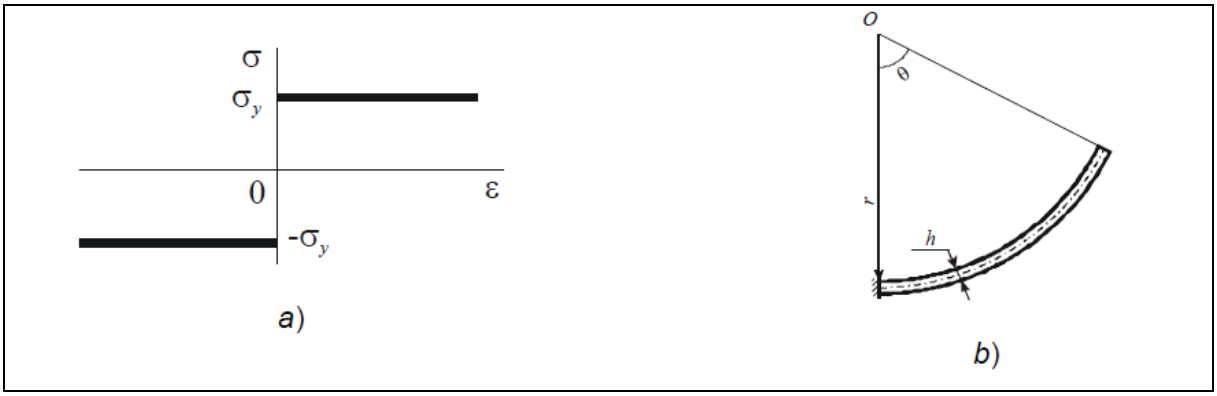


Figure 24- a)exemple de relation contrainte-déformation et b) le modèle analytique de rayon de courbure

calculé par la formule suivante :

$$M_p = \int_{\frac{-h}{2}}^{\frac{h}{2}} \sigma_y \,.Zdz = \int_{0}^{\frac{h}{2}} \sigma_y \,.Zdz - \int_{\frac{-h}{2}}^{0} \sigma_y \,.Zdz = \frac{1}{2}.\sigma_y.[Z^2]_0^{\frac{h}{2}} - \frac{1}{2}.\sigma_y.[Z^2]_{\frac{-h}{2}}^{0} = \frac{h^2}{4}.\sigma_y$$

Avec :

h : l'épaisseur de la tôle. Et σ_y: La limite d'élasticité.

Ou on a pour le protège-câble donc :

h=1mm σ_y=300 MPA.

Alors le moment de flexion par unité de longueur

$M_p = 75\ N$

La bande formant un angle minimum θ est calculé comme la différence entre l'angle de la courbe de la tôle avant et après la zone de contact galet-tôle.

3.2 Calcul du force de mise en forme

La force de formage est exprimée par la formule suivante :

D'après [2], on a

$$F_f = \frac{C_f.M_p.\theta}{|Z_{2max} - Z_{2min} - Z_{1max} + Z_{1min}|}.(x_{max} - x_{min})$$

Avec :

Où Z_{1max} , Z_{1min} sont les coordonnées minimales et maximales avant la formation ;

Z_{2max} ,Z_{2min} Sont les coordonnées minimales et maximales après la formation;

x_{max} ,x_{min} Sont les coordonnées minimales et maximales des nœuds dans la zone de pliage;

C_f : est un coefficient empirique de la résistance dynamique à la formation.

La dépendance de la contrainte d'écoulement à la vitesse de déformation a une nature exponentielle pour les l'acier.

Le coefficient C_f est donné, alors par la formule :

$$C_f = 1 + \exp(K_1.\theta + K_2)\,.\,v_f$$

Où K_1= 1,5 et K_2= -4.5 sont les coefficients empiriques ;

v_f : est la vitesse de formage.

On va choisir la vitesse de travail en fonction de la vitesse de production. Novelli produit des petites quantités allant de 4 jusqu'à 7pompes par jour. Donc la vitesse de production n'a pas une grande importance. Nous proposons une petite vitesse pour diminuer les problèmes de frottements.les standards du procédé précisent que la vitesse peut varier de 10 à 30 m/min. soit donc la vitesse que nous proposons est de : $v_f = 10m/\min$ = 0.17 m/s

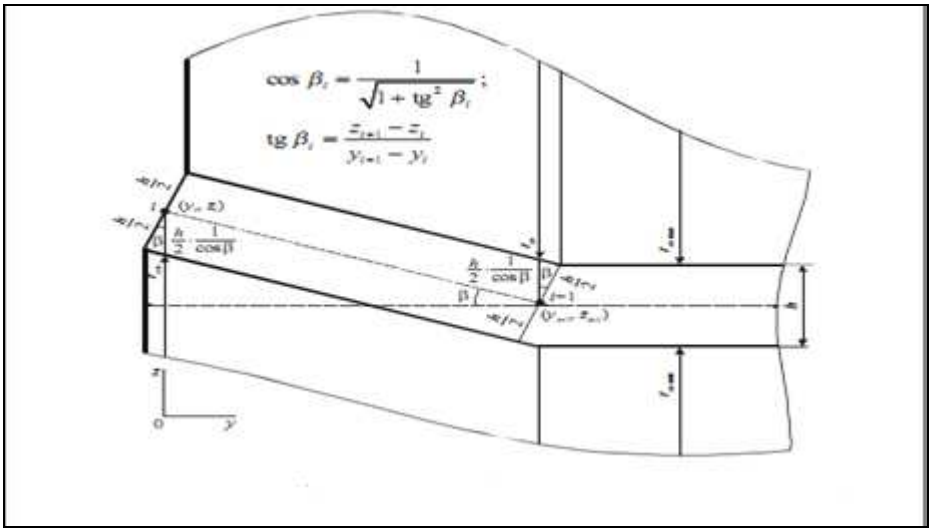


Figure 25-exemple de maillage simple sur la moitie de tôle

En effet, pour calculer les forces de formage données par l'expression (1), nous avons discrétisés la zone de plie en cinq éléments. Le calcul sera fait sur les trois étapes de formage.

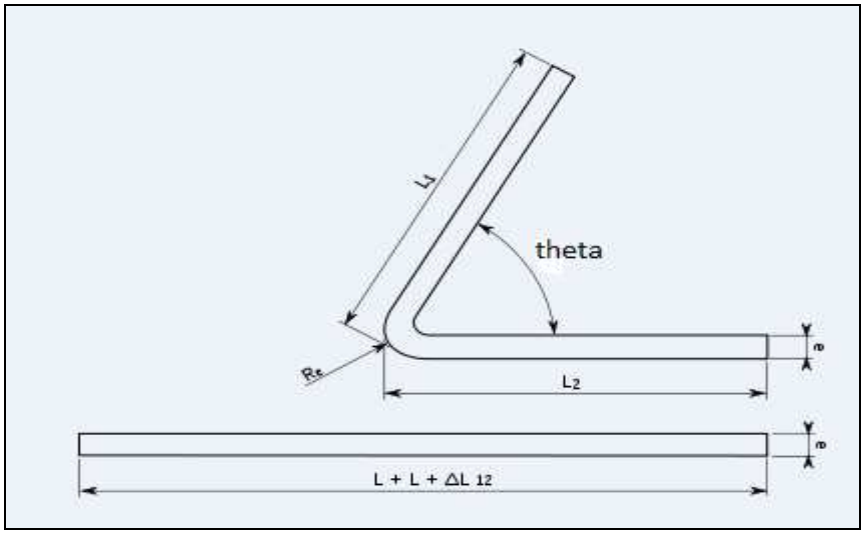


Figure 26 : pliage d'une tôle avec un angle thêta

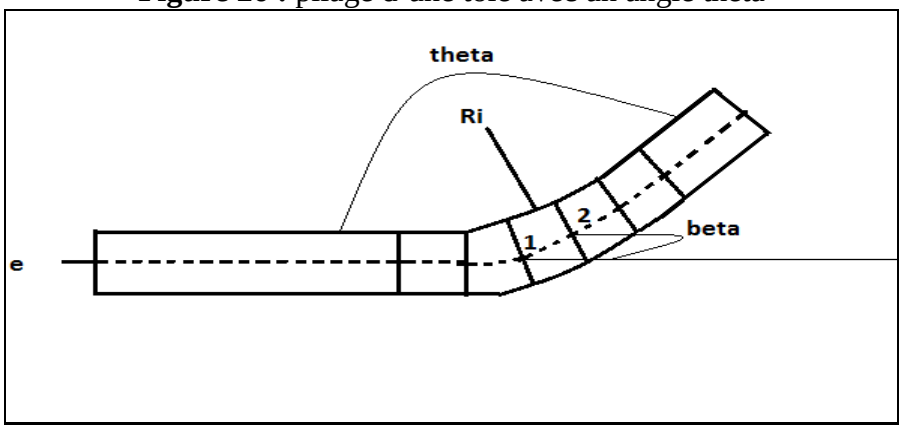


Figure 27: maillage de5 éléments avec angle beta entre 2 nœuds

Après maillage on détermine les coordonnées des nœuds sur les facettes et inferieurs de la tôle avant et après le passage par les galets et on va calculer l'angle β_i qui est entre 2 éléments dans le maillage. Les coordonnes sont en mm. Donc voila les résultats obtenus dans le tableau suivant :

Tab.13 : les cordonnes et les angles β_i pour les trois étapes de formages

Angle	I	y	z	y_{max}	z_{max}	y_{min}	z_{min}	Δx	β_i en degré
$\theta = 0°$	1	4.5	0.5	4.5	1	4.5	0	1	0
	2	5.5	0.5	5.5	1	5.5	0	1	0
	3	6.5	0.5	6.5	1	6.5	0	1	0
	4	7.5	0.5	7.5	1	7.5	0	1	0
	5	8.5	0.5	8.5	1	8.5	0	1	0
	6	9.5	0.5	9.5	1	9.5	0	1	0
$\theta = 30°$	1	4.5	0.5	4.5	1	4.5	0	1	6.34°
	2	5.4	0.6	5.4	1.1	5.4	0.1	1	12.53°
	3	6.3	0.8	6.3	1.3	6.3	0.4	1	23.96°
	4	7.2	1.2	7.2	1.85	7.2	0.8	1	34.51°
	5	8	1.75	8	2.3	8	1.2	1	31.43°

	6	8.9	2.3	8.9	2.9	8.9	1.7	1	
$\theta = 60°$	1	3.5	0.5	3.5	1	3.5	0	1	0°
	2	4.5	0.5	4.5	1	4.5	0.1	1	29.74°
	3	5.2	0.9	5.2	1.4	5.2	0.45	1	36.87°
	4	6	1.5	6.0	2.1	6.0	1	1	40.6°
	5	6.7	2.1	6.7	3	6.7	1.5	1	58°
	6	7.2	2.9	7.2	3.8	7.2	2.1	1	
$\theta = 90°$	1	3.5	0.5	3.5	1	3.5	0	1	0°
	2	4.5	0.5	4.5	1.2	4.5	0	1	39.8°
	3	5.1	1	5.1	1.7	5.1	0.45	1	47.12°
	4	5.75	1.7	5.75	2.4	5.75	1	1	51.84°
	5	6.3	2.4	6.3	3.3	6.3	1.6	1	58°
	6	6.8	3.2	6.8	4.5	6.8	2.3	1	

Pour calculer la force on va calculer les composantes normales et tangentes pour chaque nœud

$\tan\beta = \frac{\Delta z}{a}$ Donc $a = \frac{\Delta z}{\tan\beta}$ donc $M_p = M_{pu}\frac{\Delta z}{\tan\beta}$

Pour la force de formage appliquée on a deux composantes une tangentielles et l'autre est normale donc :

$F_{fT} = F_f \cos\beta$ Et $F_{fN} = -F_f \sin\beta$ on la formule de la force

D'après [2], on a $F_f = \frac{C_f . M_p . \theta}{|z_{2max} - z_{2min} - z_{1max} + z_{1min}|} . (x_{max} - x_{min})$

Le tableau suivant donne les résultats de calcul des efforts et leurs décompositions :

Tab.14: valeurs des efforts tangentiels et normaux appliqués sur la tôle

Angle	i	C_f	Δz	$F_{fT}(N)$	$F_{fN}(N)$	$F_{fi}(N)$
$\theta = 30°$	1	1.09	0	0	0	0
	2	1.09	0	0	0	0
	3	1.09	0.1	224.11	-504.32	551.9
	4	1.09	0.05	101.04	-146.96	178.34
	5	1.09	0.1	209.26	-342.42	401.3
	6	1.09	0.2			
			Sommes forces	534.41	-993.7	
			norme force	1030.5		
$\theta = 60°$	I	Δx	Δz	F_{fT}(N)	$F_{fN}(N)$	$F_{fi}(N)$
	1	1.04	0	0	O	O
	2	1.04	0.1	406.36	-711.27	787.66
	3	1.04	0.05	187.2	-249.6	300
	4	1.04	0.05	177.66	-207.30	262.51
	5	1.04	0.4	992	-619	1124.23
	6	1.04	0.5			
			Sommes forces	1763.22	-1787.17	
			norme force	2510.6		

	I	Δx	Δz	F_{fT}(N)	$F_{fN}(N)$	$F_{fi}(N)$
$\theta = 90°$	1	1.02	0	0	O	O
	2	1.02	0.3	1586.88	-2345.6	2712.6
	3	1.02	0.3	1405.5	-1556.4	2055.5
	4	1.02	0.3	1276.2	-1643.6	2046.63
	5	1.02	0.2	730	-1334.3	1320.2
	6	1.02	0.5			
			Sommes forces	5000	-6879.5	
			norme force	8504.88		

3.3 Détermination le diamètre de l'arbre

Nous avons modélisé l'arbre et les guidages en rotation comme suit :

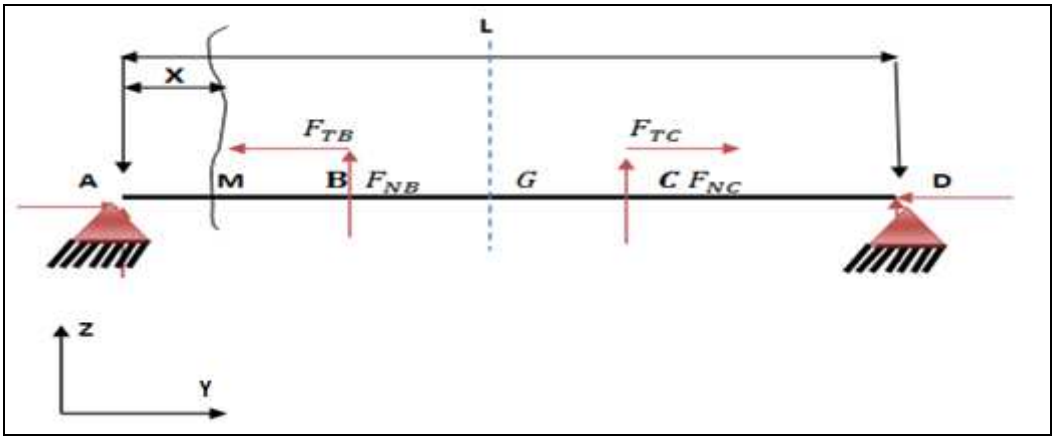


Figure 28: modélisation de la l'arbre pour tronçon AB

On va commencer par déterminer les réactions dans les appuis donc :

Puisque notre système est symétrique donc on va étudier que la moitie donc on va choisit arbitrairement la partie situé à gauche donc

Au point A on a le torseur des efforts intérieurs est :

On a en A le pivot qui a deux composantes d'actions sur les roulements axiale et radiale :

$$\tau_A = \begin{pmatrix} X & 0 \\ Y & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}_A$$

Au point d'appui B on a le torseur des efforts intérieurs est : $\tau_B = \begin{pmatrix} -F_{TB} & 0 \\ F_{NB} & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}_B$

Pour amener tous les 2 torseurs au même point A on va appliquer la formule des moments donc :

$$\overrightarrow{M_A} = \overrightarrow{M_B} + \overrightarrow{AB} \wedge \vec{R}$$

Donc : $R = \begin{vmatrix} F_{TB} \\ -F_{NB} \\ 0 \end{vmatrix}_B$ et $M_B = 0$

$$\overrightarrow{M_A} = \left(\frac{L}{2}\right)\vec{x} \wedge \begin{vmatrix} F_{TB}\vec{x} \\ -F_{NB}\vec{y} \\ 0 \end{vmatrix} = \frac{F_{NB}L}{2}\vec{z}$$

$$\tau_B = \begin{pmatrix} F_{TB} & 0 \\ -F_{NB} & 0 \\ 0 & \frac{F_{NB}L}{2} \end{pmatrix}_A$$

A l'équilibre on va appliquer PFS : $\sum_{i=1}^{n} \tau_i = 0$

Donc : $X = -F_{TB}$ et $Y = F_{NB}$

$$\tau_A = \begin{pmatrix} -F_{TB} & 0 \\ F_{NB} & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}_A$$

Pour le tronçon AB on a :

On a $\{\tau_{coh}\} = -\{\tau_g\}$

$\{\tau_{coh}\}_M = -\{\tau_A\}_M$

On a le torseur des efforts intérieurs au point A égale : $\tau_A = \begin{pmatrix} -F_{TB} & 0 \\ F_{NB} & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}_A$

Pour le ramener au point M on va utiliser : $\overrightarrow{M_M} = \overrightarrow{M_A} + \overrightarrow{MA} \wedge \vec{R}$

Donc : $\overrightarrow{MA} = \begin{vmatrix} -x \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix}_A$ et $M_{AZ} = 0$

$$\overrightarrow{M_M} = -x\,\vec{x} \wedge \begin{vmatrix} -F_{TB}\vec{x} \\ F_{NB}\vec{y} \\ 0 \end{vmatrix} = -xF_{NB}\,\vec{z}$$

$M_{fz} = -xF_{NB}\,\vec{z}$ et $M_t = 0$

Donc : $\{\tau_M\} = \begin{pmatrix} F_{TB} & 0 \\ -F_{NB} & 0 \\ 0 & xF_{NB} \end{pmatrix}_M$

Au point $X = 0$ $M_{fz} = 0$ et pour le point B $X = 288.5\ mm$ on a $M_{fz} = 288.5.F_{NB}$

Pour le tronçon BG on a :

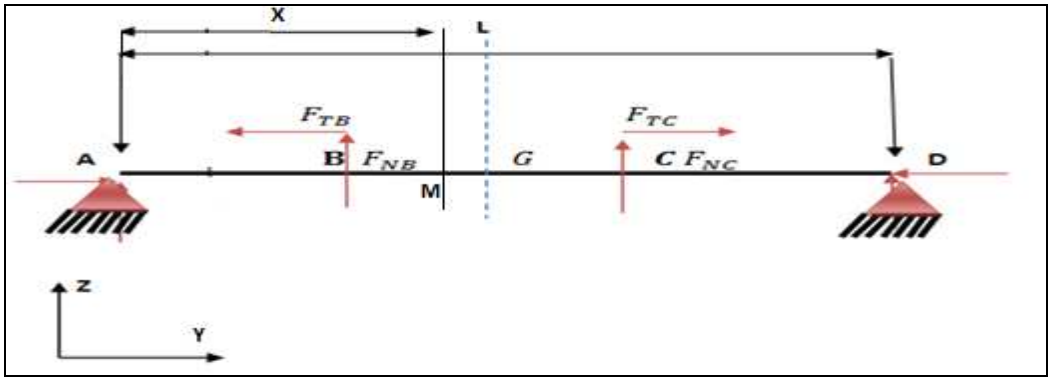


Figure 29: modélisation de la l'arbre pour tronçon BG

On a $\{\tau_{coh}\} = -\{\tau_g\}$

$\{\tau_{coh}\}_M = -\{\tau_A\}_M - \{\tau_B\}_M$

On a le torseur au point A égale : $\tau_A = \begin{pmatrix} -F_{TB} & 0 \\ F_{NB} & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}_A$

Et on a le torseur des efforts intérieurs au point B ramené au point A égale : $\tau_B = \begin{pmatrix} F_{TB} & 0 \\ -F_{NB} & 0 \\ 0 & \frac{F_{NB}L}{2} \end{pmatrix}_A$

$$\{\tau_{coh}\}_M = -\begin{pmatrix} -F_{TB} & 0 \\ F_{NB} & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}_A - \begin{pmatrix} F_{TB} & 0 \\ -F_{NB} & 0 \\ 0 & \frac{F_{NB}L}{2} \end{pmatrix}_A = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & \frac{-F_{NB}L}{2} \end{pmatrix}_A$$

Pour le ramener au point M on va utiliser : $\overrightarrow{M_M} = \overrightarrow{M_A} + \overrightarrow{MA} \wedge \vec{R} = \frac{-F_{NB}L}{2}$

Donc : $\{\tau_{coh}\}_M = -\begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & \frac{-F_{NB}L}{2} \end{pmatrix}_M$

Le calcul des efforts permet de remonter aux contraintes et donc la vérification de la résistance de l'usure.

Voila les diagrammes obtenues pour les 2 tançons AB et BG :

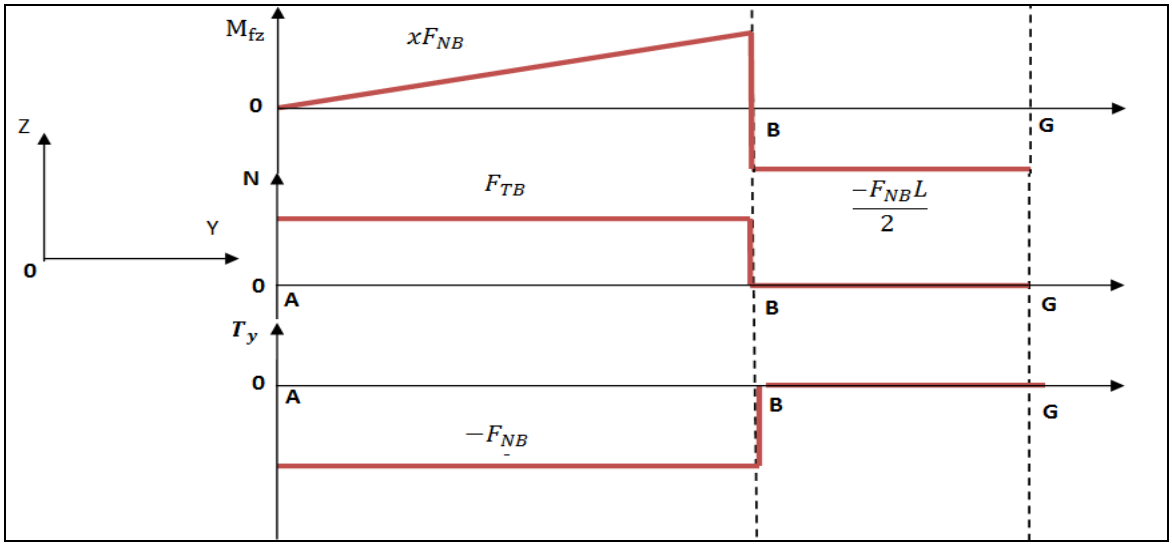


Figure 30: diagrammes des efforts et des moments pour AB et BG

Conclusion :

D'après les diagrammes on a :

Le moment de fléchissant maximal est en point B égale à : $\frac{F_{NB}L}{2}$ ou y= $\frac{L}{2}$ =288.5 mm

L'effort tranchant maximal est en point B égale à : $-F_{NB}$ ou y=288.5 mm

L'effort tranchant maximal est en point B égale à : F_{TB} ou y=288.5 mm

1ere méthode : calcul de la contrainte normale

Dans la section la plus sollicités c'est au point B donc dans cette zone va déterminer le diamètre minimale en utilisant la condition limite pour les contraintes normales

D'après [3], on a $\frac{I(G,Z)}{|R|} \geq \frac{M_{if}}{\sigma_p}$ avec $\frac{I(G,Z)}{|R|} = \frac{\pi d^3}{32}$ $\sigma_p = \frac{\sigma_e}{S}$

On a le moment par cette condition s'écrit alors : $M_{if} = \frac{1}{2}\left[|M_{fz}| + \sqrt{M_{fz}^2 + M_t^2}\right]$

Donc $d^3 \geq \frac{16S}{\pi\sigma_e}\left[|M_{fz}| + \sqrt{M_{fz}^2 + M_t^2}\right]$ donc $d \geq \sqrt[3]{\frac{16S}{\pi\sigma_e}\left[|M_{fz}| + \sqrt{M_{fz}^2 + M_t^2}\right]}$ d'où

$d \geq \sqrt[3]{\frac{16S}{\pi\sigma_e}[2|M_{fz}|]}$ car $M_t = 0$

Donc AN) $\sigma_e = 300MPa$ On ne choisit que $S = 2.6$ $M_{fz} = 288.5.F_{NB}$

Le diamètre minimal pour les trois étapes :

Tab.15: valeurs du diamètre par 1ere méthode

θ (degré)	F_{NB}(N)	d(mm)

30	-993.7	30
60	-1787.17	36
90	-6879.5	56

On choisit donc le diamètre de l'arbre qui a est la plus grande valeur d'où 56mm

2eme méthode : calcul de la contrainte tangentielle

On a l'arbre est sollicité essentiellement en flexion pure, donc la contraintes de cisaillement est négligée.

Donc par la condition limite pour les contraignes tangentielles

D'après [3], on a $\frac{I(G,Z)}{|R|} \geq \frac{M_{if}}{\sigma_p}$ avec $\frac{I(G)}{|R|} = \frac{\pi d^3}{16}$ $\sigma_p = \frac{\tau_e}{S}$

On a le moment par cette condition s'écrit alors $M_{it} = \sqrt{M_{fz}^2 + M_t^2}$

Donc $d^3 \geq \frac{16S}{\pi\tau_e}\sqrt{M_{fz}^2 + M_t^2}$ donc $d \geq \sqrt[3]{\frac{16S}{\pi\tau_e}\sqrt{M_{fz}^2 + M_t^2}}$

$d \geq \sqrt[3]{\frac{16SM_{fz}}{\pi\tau_e}}$ car $M_t = 0$

Acier doux : ($\sigma_e \leq 270$ MPa) Alliages d'aluminium	$\tau_e = 0{,}5\ \sigma_e$
Aciers mi-durs : ($320 \leq \sigma_e \leq 500$ MPa)	$\tau_e = 0{,}7\ \sigma_e$
Aciers durs : ($\sigma_e \geq 600$ MPa) Fontes	$\tau_e = 0{,}8\ \sigma_e$

Figure 31: relation entre contrainte tangentielle et limite élastique

Donc $\tau_e = 240MPa$ et voila Les valeurs de diamètres de l'arbre de rotation pour les trois étapes :

Tab.16: valeurs du diamètre par 2eme méthode

θ (degré)	F_{NB}(N)	d(mm)
30	-993.7	24
60	-1787.17	29
90	-6879.5	44.41

Donc on va choisir le diamètre minimale compte tenu la première et la 2eme méthode $d = 56mm$

3.4 Calcul la distance entre deux têtes consécutives

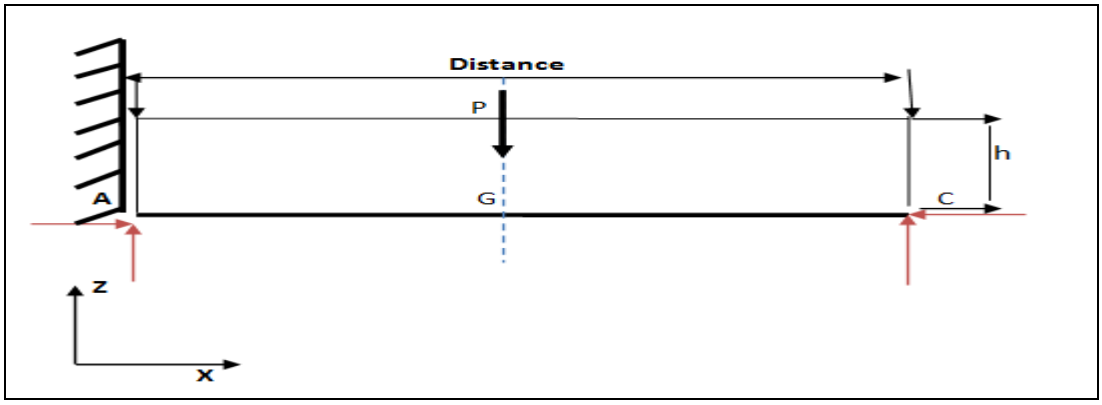


Figure31 : modélisation de la tôle entre deux consécutive

Pour calculer la distance entre deux tête consécutive on va considérer la tôle qui passe entre deux couple de galet comme un système qui s'appuis sur les deux galets. Pour arriver a l'autre couple il va subir son poids comme action donc on va étudier et appliquer notre connaissance en RDM et en particulier la flexion d'où :

d'après [3],on a la flèche en flexion est : $\ddot{z} = \frac{-M_{fz}}{E.I_{GZ}}$ Avec $I_{GZ} = \frac{b.h^3}{12}$

Au point d'appui A on a le torseur des efforts des intérieurs est : $\tau_A = \begin{pmatrix} X & M_{xA} \\ Y & M_{yA} \\ Z & M_{zA} \end{pmatrix}_A$

Au point B on a le torseur des efforts intérieurs est :

On a comme force concentrée en B le poids P donc $\tau_B = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ -P & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}_B$

Pour amener tous les 2 torseurs au même point A on va appliquer la formule des moments donc :

$\overrightarrow{M_A} = \overrightarrow{M_B} + \overrightarrow{AB} \wedge \vec{R}$

Donc : $R = \begin{vmatrix} 0 \\ -P \\ 0 \end{vmatrix}_B$ et $M_B = 0$

$\overrightarrow{M_A} = \left(\frac{d}{2}\right) \vec{x} \wedge (-P)\, \vec{y} = -\frac{Pd}{2} \vec{z}$

$$\tau_B = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ -P & 0 \\ 0 & -\frac{Pd}{2} \end{pmatrix}_A$$

A l'équilibre on a : $\sum_{i=1}^{n} \tau_i = 0$

Donc : $Y = -P$ et $M_{ZA} = -\frac{Pd}{2}$

$$\tau_A = \left(\begin{array}{c|c} 0 & 0 \\ -P & 0 \\ 0 & -\frac{Pd}{2} \end{array}\right)_A$$

D'où $\quad M_{fz} = -\frac{Pd}{2}$

Pour obtenir la flèche de flexion on va procède par la méthode intégration : $\quad \ddot{z} = \frac{-M_{fz}}{E.I_{GZ}} = \frac{-Pd}{2E.I_{GZ}}$

Donc : $\quad z = \frac{-Pd}{2E.I_{GZ}}x^2 + ax + b$ pour a et b sont des constantes déterminées au limites

On a les conditions au limites pour encastrement sont :

Pour $z = 0$ on a b=0

A $z = 0$ on a $\dot{z} = 0$ on a $\frac{-Pd}{E.I_{GZ}}x + a = 0$ on remplace dans l'équation donc a=0

Donc : $z = \frac{-Pd}{2E.I_{GZ}}x^2$

On a $\{\tau_{coh}\} = -\{\tau_g\}$

$\{\tau_{coh}\}_M = -\{\tau_A\}_M$

On a le torseur au point A égale : $\quad \tau_A = \left(\begin{array}{c|c} 0 & 0 \\ -P & 0 \\ 0 & -\frac{Pd}{2} \end{array}\right)_A$

Pour le ramener au point M on va utiliser : $\quad \overrightarrow{M_M} = \overrightarrow{M_A} + \overrightarrow{MA} \wedge \vec{R}$

Donc : $\quad R = \left|\begin{array}{c} -x \\ 0 \\ 0 \end{array}\right|_A \quad$ et $\quad M_{AZ} = -\frac{Pd}{2}$

$$\overrightarrow{M_M} = -\frac{Pd}{2}\vec{z} - x\,\vec{x} \wedge (-P)\,\vec{y} = -\frac{Pd}{2}\vec{z} + xP\,\vec{z}$$

$$M_M = P(x - \frac{d}{2})$$

Donc : $\quad \{\tau_M\} = \left(\begin{array}{c|c} 0 & 0 \\ +P & 0 \\ 0 & -P(x - \frac{d}{2}) \end{array}\right)_M$

Donc on remplace dans équation on trouve : $\quad M_{fzM} = P(x - \frac{d}{2})$

Par intégration de $\ddot{z} = \frac{-M_{fz}}{E.I_{GZ}}$ on trouve que $z = \frac{P(x - \frac{d}{2})}{2E.I_{GZ}}x^2$

On a z_{max} pour x=d donc $\quad z_{max} = \frac{P(d - \frac{d}{2})}{2E.I_{GZ}}d^2 \quad z_{max} = \frac{P}{4E.I_{GZ}}d^3$

Avec $I_{GZ}=\frac{b.h^3}{12}=\frac{d.e^3}{12}$

$$z_{max}=\frac{Pd^3 12}{4E.d.e^3}=\frac{3Pd^2}{E.e^3}$$

Pour avoir que $z_{max}=2mm$

$$d=\sqrt{\frac{z_{max}Ee^3}{3P}}$$ avec $P=4N$ $E=200GPa$

Donc

Distance=185mm

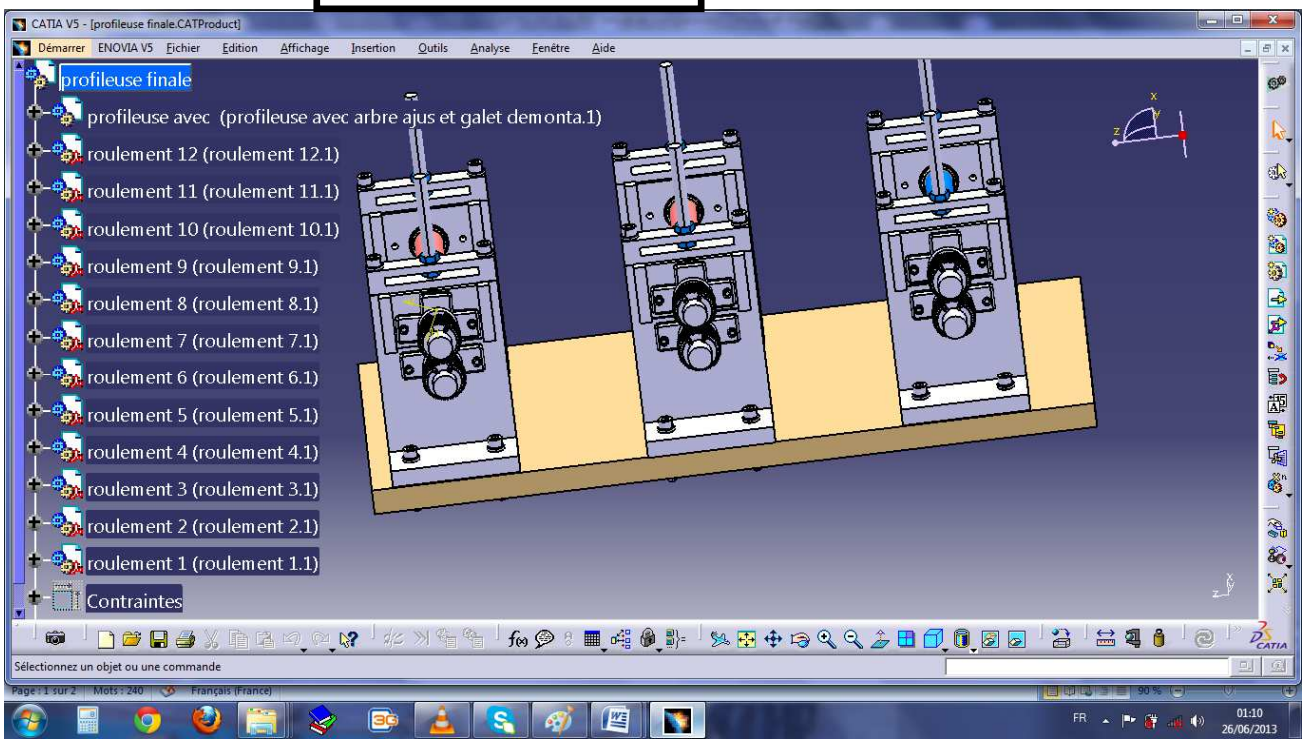


Figure 32: visualisation de la distance entre deux tête de profilage

3.5 vitesse de rotation

Pour calculer vitesse de rotation on se basant sur le calcul déjà faites sur le diamètre et la vitesse linaire qu'on choisit au début donc :

On a la vitesse angulaire sur l'arbre est : $\omega=\frac{v}{r}$ et $r=\frac{d}{2}$

Donc : $\omega=\frac{2v}{d}=\frac{0.17\times2}{66.10^{-3}}=6.07\ rad/s$

D'où la vitesse de rotation de l'arbre : $N=\frac{30\omega}{\pi}=\frac{30\times6.07}{\pi}=58\ tr/min$

3.7 Calcul de la puissance

On a la puissance instantanée vaut $\vec{P} = \vec{F}.\vec{v}$ pour chaque force donc :

Tab.17: valeurs de la puissance pour les 3 angles

Angle θ($degré$)	Force F(N)	Puissance P(Watt)
30°	1030.5	176
60°	2510.6	430
90°	8504.88	1446

Conclusion : compte tenu de 3 valeurs de puissances pour les différents angles on va choisir la plus grande valeur de puissance qui correspond à un angle de 90°

3.8 Calcul du couple

On a la relation entre le couple et la puissance instantanée est sous la forme suivante

$P = C.\omega$

Tab.18: valeurs du couple pour les 3 angles

Angle θ($degré$)	Force F(N)	Couple C(N.m)
30°	1030.5	29
60°	2510.6	67.6
90°	8504.88	230

3.9 Choix du moteur réducteur

Pour le choix de moteur on va adopter la plus grande puissance cad c'est l'intersection des trois solutions avec $P = 1446$ watt

D'après le catalogue cité à la fin dans l'annexe on va choisir le moteur asynchrone de type : LS100L avec un

$P_N = 3Kw \quad N_N = 2868\ tr/min \quad C_N = 10\ N.m \quad \cos\varphi = 0.89$

3.10 Calcul du réducteur :

Pour calculer le rapport du réducteur on va tient comte de vitesse de rotation d'entrée et de sortie

On a la vitesse d'entrée égale à $N_e = N_N = 2868\ tr/min$ et la vitesse e sortie égale à $N_S = N_N = 58\ tr/min$

Alors le rapport pour notre réducteur est : $R = \frac{N_S}{N_e} = \frac{58}{2868} = 0.02$

3.11 Guidage en rotation : Calcul des roulements

Pour choisir le roulement qui supporte notre effort normal et tangentiel on va prendre comme effort celui de l'angle de 90°.

La démarche qu'on va adopter pour choisir un roulement adéquat pour notre arbre est la suivante , nous avons commencé par une donnée d'entré qui est le diamètre intérieur de l'arbre, a partir de ce dernier on va chercher dans les catalogues de roulements sur la base de ce diamètre et on va prendre le plus proche à notre diamètre théorique et pour chaque diamètre intérieur ils existent un ensemble de diamètre d'alésage, on va prendre le plus petit diamètre extérieur et on va précéder par une vérification de notre charges par rapport au charges statiques et dynamiques de ce roulement qu'il faut être supérieur aux premiers.

$F_{fT} = F_a = R_x = 5000\ N$ Et $F_{fN} = F_r = R_y = -6879.5\ N$

Donc on va choisir le type de roulement à bille et à contact radial avec série de diamètre intérieur d=60mm et on va commencer par un diamètre extérieur le plus petit possible D=95 mm et après on vérifie les charges.

$C = 2950daN\ C_0 = 2320daN$ avec $1daN = 10N$

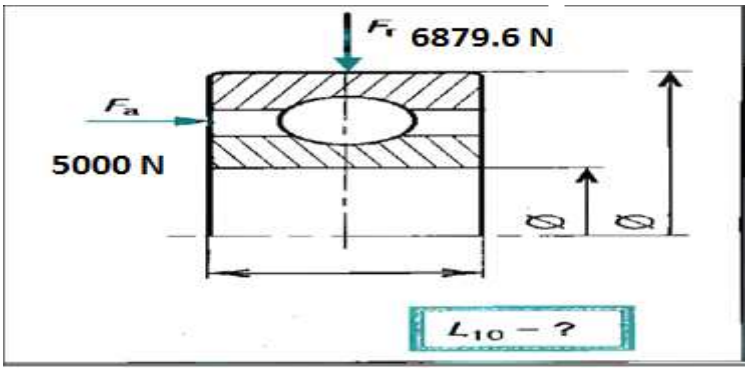


Figure 33 :roulement type avec les charge radiale et axiale

D'après [5], on va appliquer les formules suivantes

$\frac{F_a}{F_r} = \frac{5000}{6879.5} = 0.727$ et $\frac{F_a}{C_0} = \frac{5000}{23200} = 0.215$

Pour ces roulements les valeurs de e et Y dépendent de la valeur de $\frac{F_a}{C_0}$.

D'après le tableau de choix on a que : $\frac{F_a}{C_0} = 0.215$ est située entre 0.170et 0.280 par correspondance la valeur de e sera située entre 0.34 Et 0.38 et celle de Y entre 1.15 Et 1.31 Les valeurs précisent sont obtenues par proportionnalité ou interpolation.

$\frac{(e-0.34)}{(0.38-0.34)} = \frac{(0.215-0.170)}{(0.280-0.170)} = 0.409$ d'où $e = 0.356$

$\frac{(1.31-Y)}{(1.31-1.15)} = \frac{(0.215-0.170)}{(0.280-0.170)} = 0.409$ d'où $Y = 1.244$

On $\frac{F_a}{F_r} > e$ équivalant à $\frac{F_a}{F_r} = 0.727 > e = 0.356$ alors $P = 0.56X.F_r + Y.F_a$ on pour roulement à bille et à contact radial $X = 1$

$P = 0.56X.F_r + Y.F_a = 0.56X = 0.56X6879.5 + 1.244X5000 = 10072.52N$

Le choix que nous avons fait supporter bien la charge appliqué.

$$L_{10} = (\frac{C}{P})^n = (\frac{29500}{10072.52})^3 = 25.12\ millions\ de\ tours$$

$$L_{10H} = \frac{L_{10}.10^6}{60.N} = \frac{25.12X10^6}{60X58} = 7219\ Heurs$$

Donc on se place dans le ca le plus défavorable.

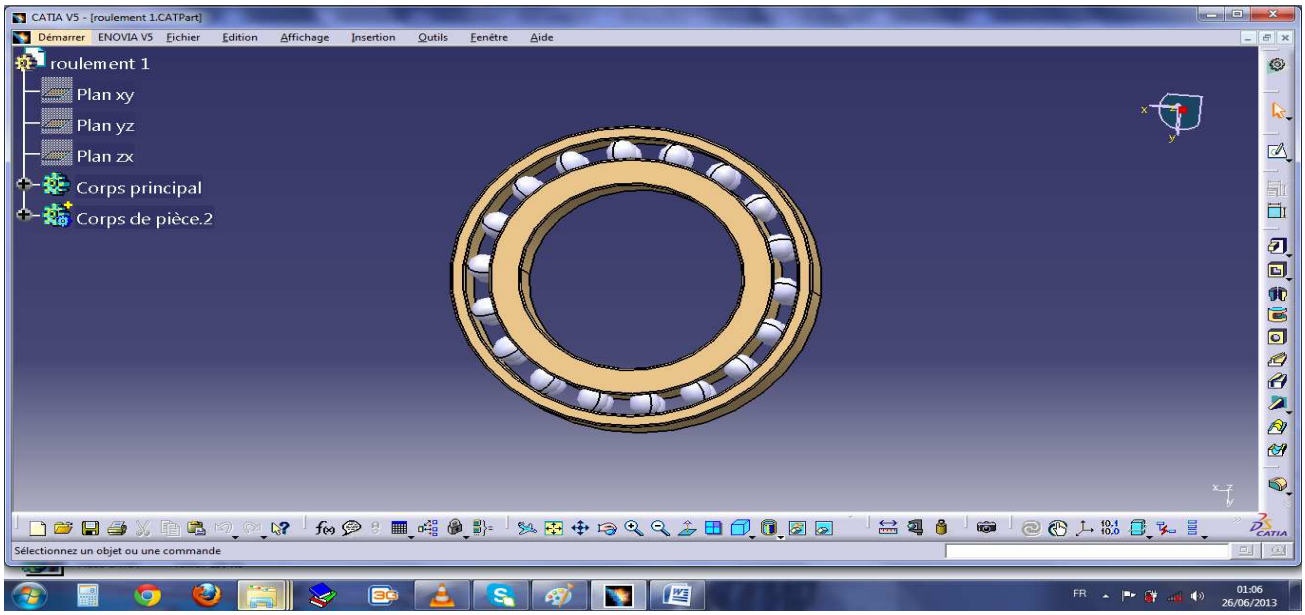


Figure 34 :roulement type avec les charge radiale et axiale

3.11 Calcul de la clavette

Pour calculer les arbres nécessaires il faut vérifier deux contraintes vérification au cisaillement et vérification au matage donc

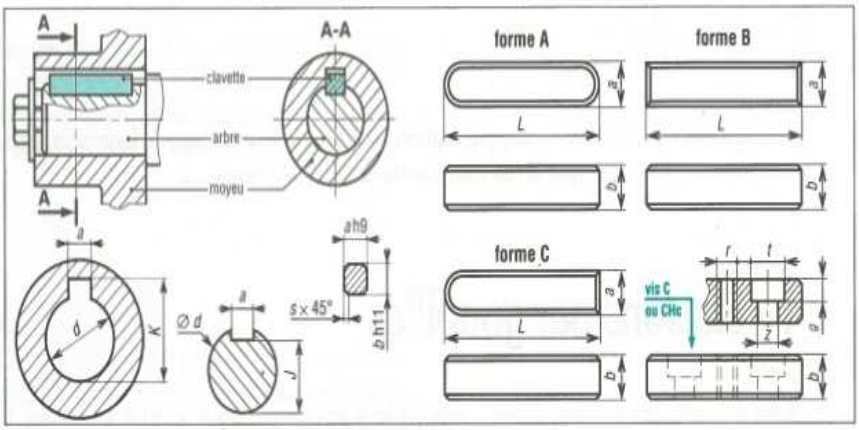


Figure 35 : types de clavette

a) Vérification au cisaillement

Pour qu'une clavette résiste en cisaillement, d'après [9] il faut que la contrainte $\tau \leq Rpg$. Pour vérifier cette condition, il suffit de faire les calculs ci-dessous :

Surface cisaillée $S_C(mm^2)$:

$S_C = a \times L$ Avec $a =$ largeur de la clavette en mm et $L =$ longueur de la clavette en mm.

On choisit que les dimensions de notre clavette comme suit a=20mm L=40mm

$S_C = 40X20 = 800\ mm^2$

Effort appliqué sur la clavette F (N) :

$F = \frac{2C}{d}$ Avec $C =$ couple dans l'arbre en N.mm et d =diamètre de l'arbre en mm.

Donc pour la force on va prendre que les forces qui sont tangentielles et on multiple fois deux car on a le système est symétrique donc

$F = 2F_{fT} = 2 \times 4577.05 = 9154.1\ N$

Contrainte de cisaillement $\tau(MPa)$:

$\tau = \frac{F}{S_C} = \frac{2C}{aLd} \leq R_{pg}$ Avec $R_{pg} =$ résistance pratique élastique au glissement (ou cisaillement)

$R_{pg} = \frac{R_g}{S}$ Avec $S =$ coefficient de sécurité (généralement 2.6).

$R_g =$ 0,5 à 0,8 R_e avec $R_e =$ Résistance élastique à la traction.

$$\tau = \frac{F}{S_C} = \frac{9154.1}{800} = 11.44\ MPA < R_g = 0.6R_e = 0.6 \times 300 = 180\ MPa$$

Donc la condition de cisaillement est vérifiée.

b) Vérification au matage

Pour qu'une clavette résiste au matage, d'après [9] il faut que la pression de matage $P_m \leq P_a$.

Pour vérifier cette condition, il suffit de dérouler les calculs ci-dessous :

Surface matée $S_m(mm^2)$:

$S_m = \frac{b \times L}{2}$ Avec $b =$ hauteur de la clavette en mm et $L =$ longueur de la clavette en m

$b = 16mm$ et $L = 40mm$ donc $S_m = \frac{16X40}{2} = 320mm^2$

Effort appliqué sur la clavette F (N) :

$F = \frac{2C}{d}$ Avec $C =$ couple dans l'arbre en N.mm et d =diamètre de l'arbre en mm.

Donc pour la force on va prendre que les forces qui sont tangentielles et on multiple fois deux car on a le système est symétrique donc

$F = 2F_{fT} = 2 \times 4577.05 = 9154.1\ N$

Pression de matage P_m (MPa) :

D'après [9] $P_m = \frac{F}{S_m} = \frac{9154.1x2.6}{320} = 57.21\ MPa$

Pression admissible Pa (MPA) :

Clavetage glissant sous charge : 2 à 20 MPa

Clavetage glissant sans charge : 20 à 50 MPa

Clavetage fixe (cas le plus fréquent) : 40 à 150 MPa

Donc pour notre cas on se trouve dans la troisième situation (clavetage fixe).

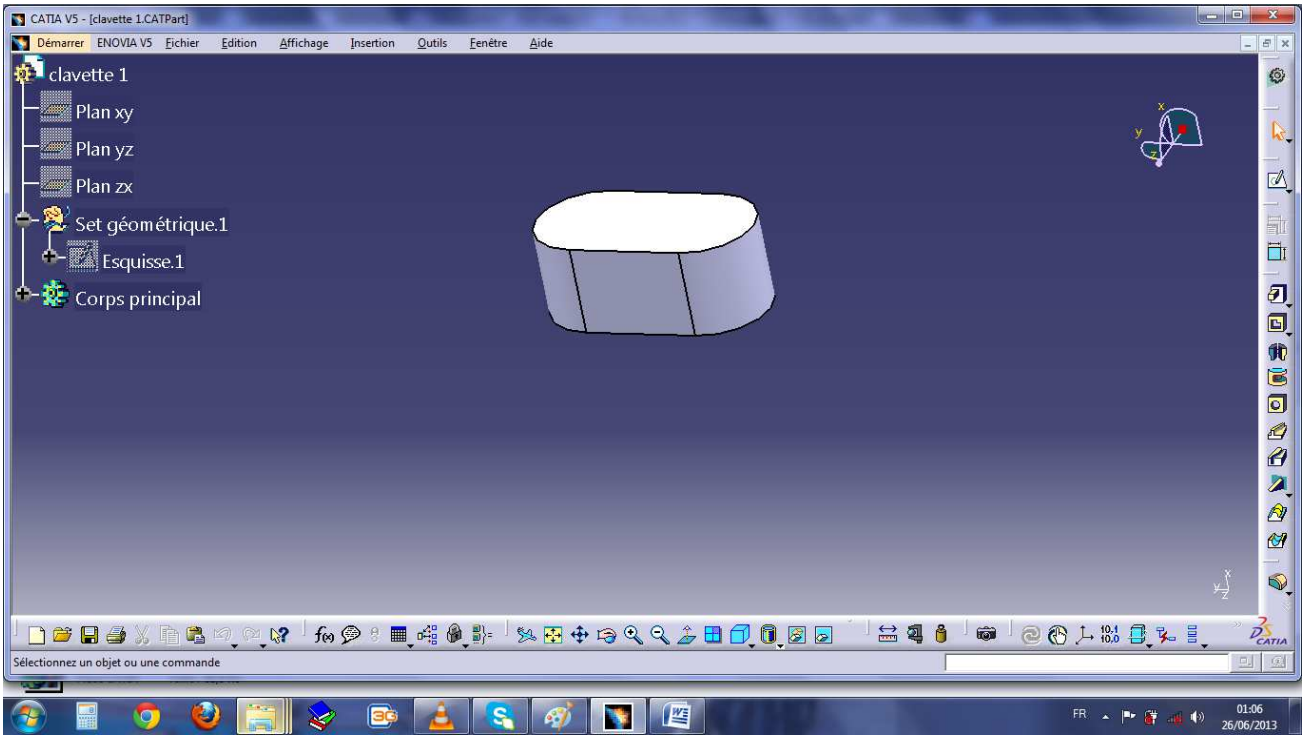


Figure 36 : clavette sous catia V5

3.12 Calcul des engrenages

Pour les engrenages on va utiliser 2 engrenage droits a denture droits avec $Z_1 = 45$ et $Z_2 = 45$

Donc le rapport entre les 2 engrenages égale à 1 parce qu'on veut transmettre le mouvement de rotation entre les arbres

On ne veut ni réduction ni amplification de vitesse angulaires

$d_1 = d_2 = 56mm$

$r_b = 43.73mm \quad r_p = 46.72mm$

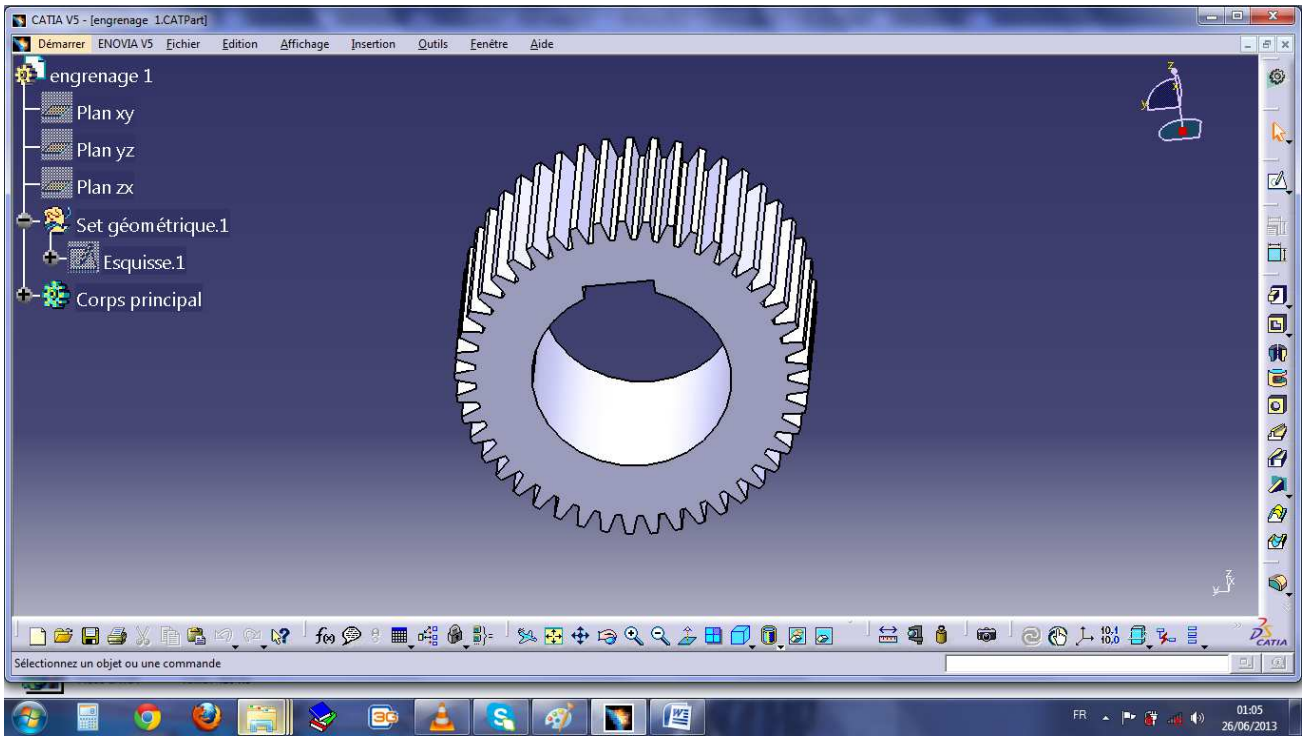


Figure 37 : engrenage sous catia V5

3.13 Les différentes formes de galets sous Catia V5 :

On a deux galets pour chaque angle de pliage θ

Donc pour un angle $\theta = 30°$

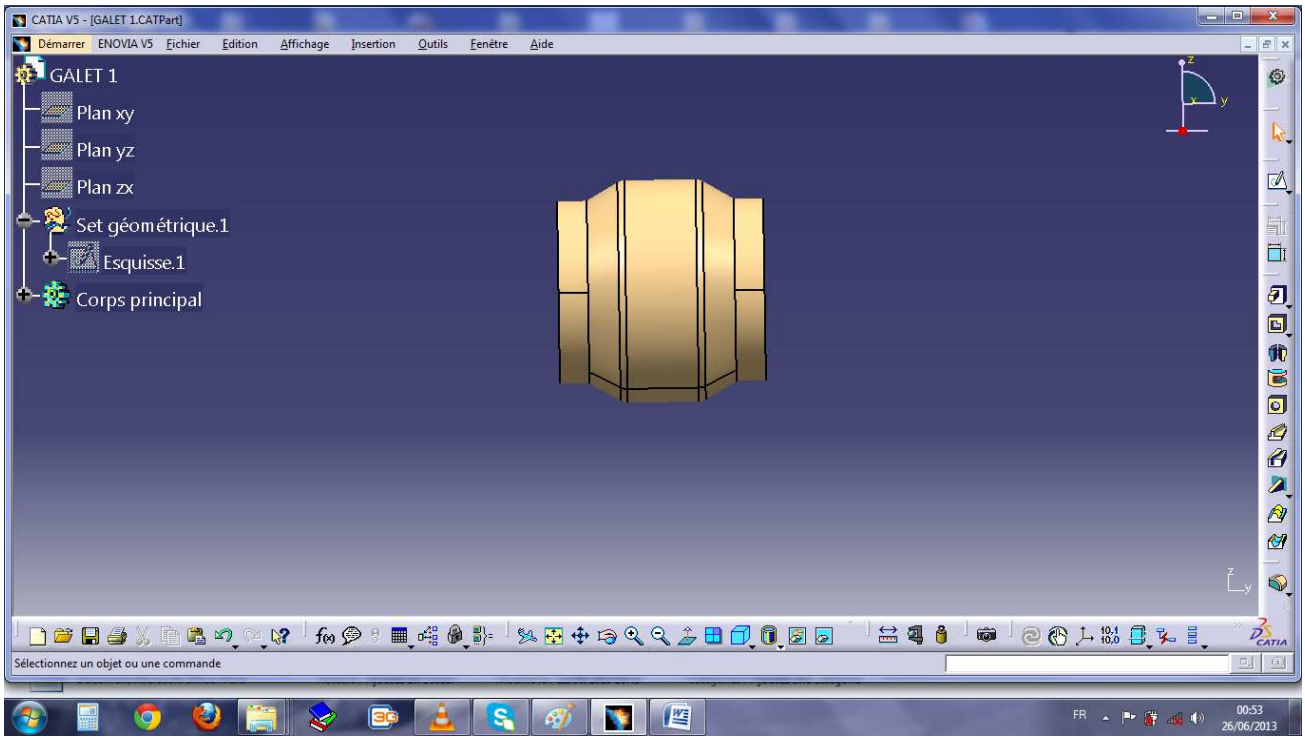


Figure38 : galet supérieur pour un angle de 30°

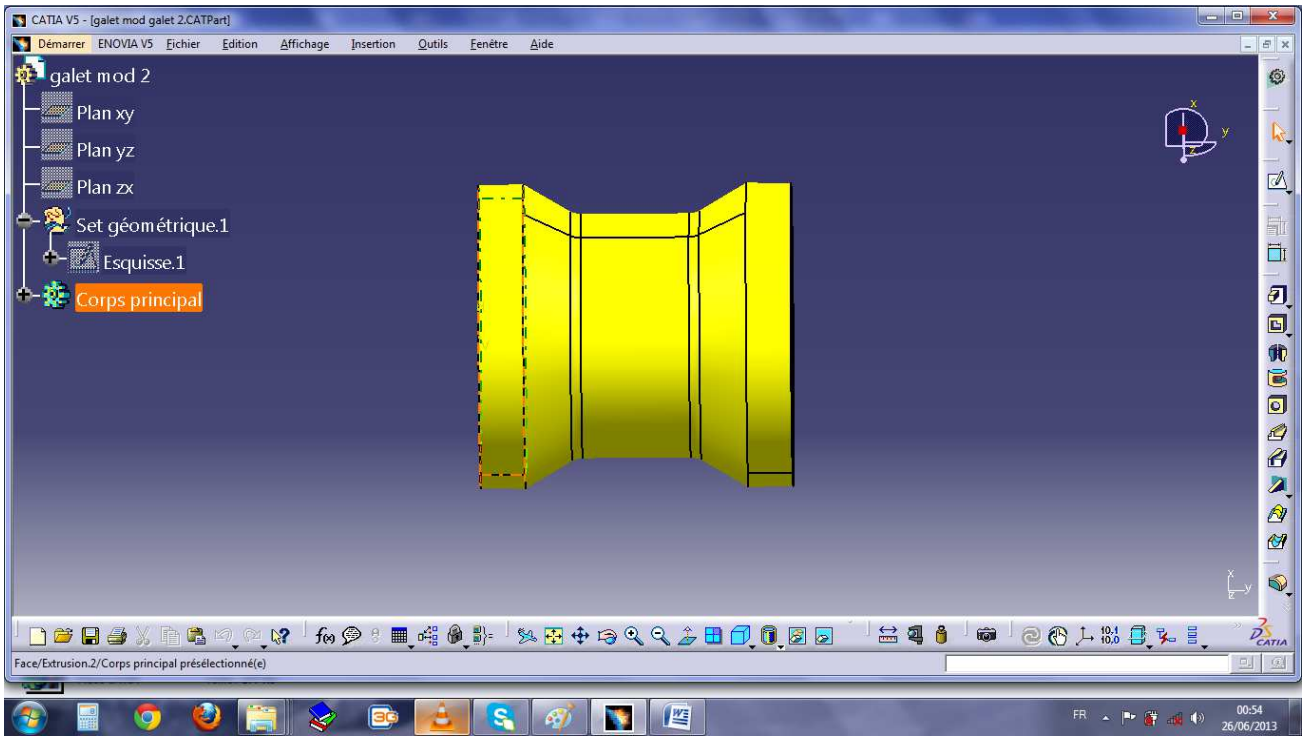


Figure 39: galet inferieur pour un angle de 30°

Pour un angle $\theta = 60°$

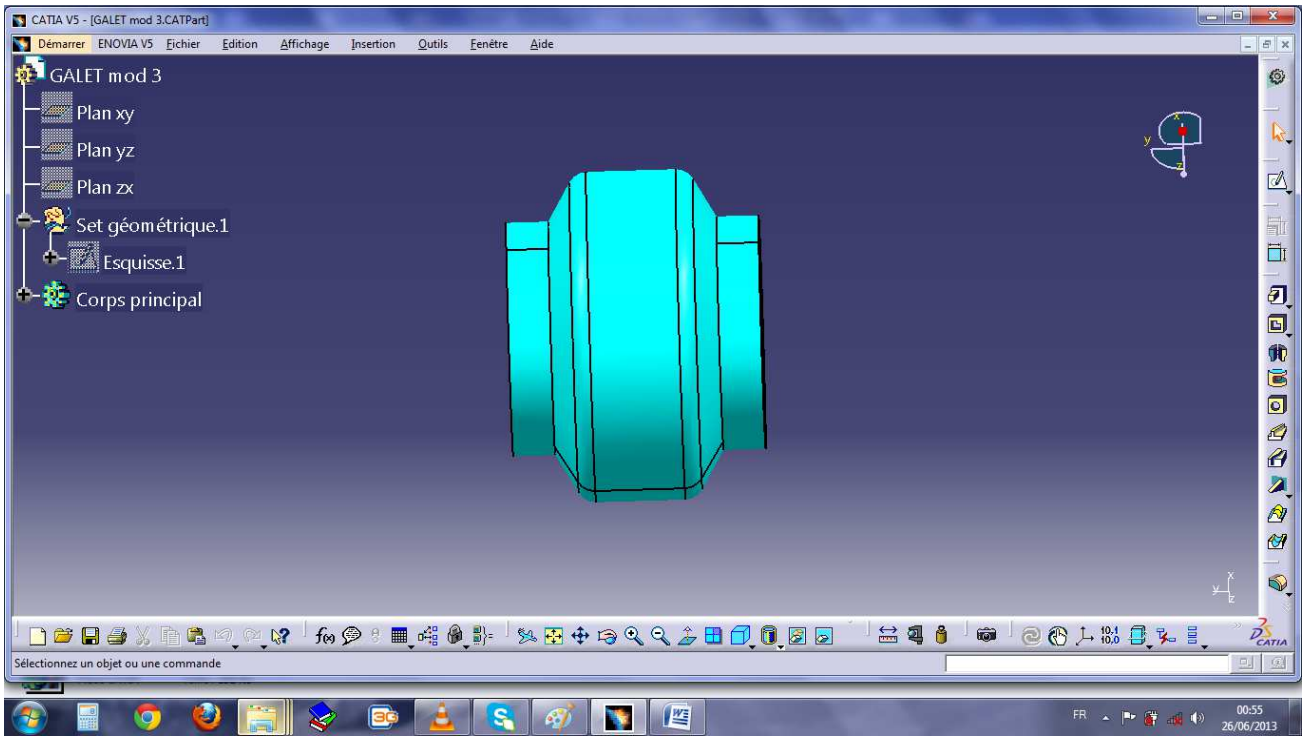


Figure 40: galet supérieur pour un angle de 60°

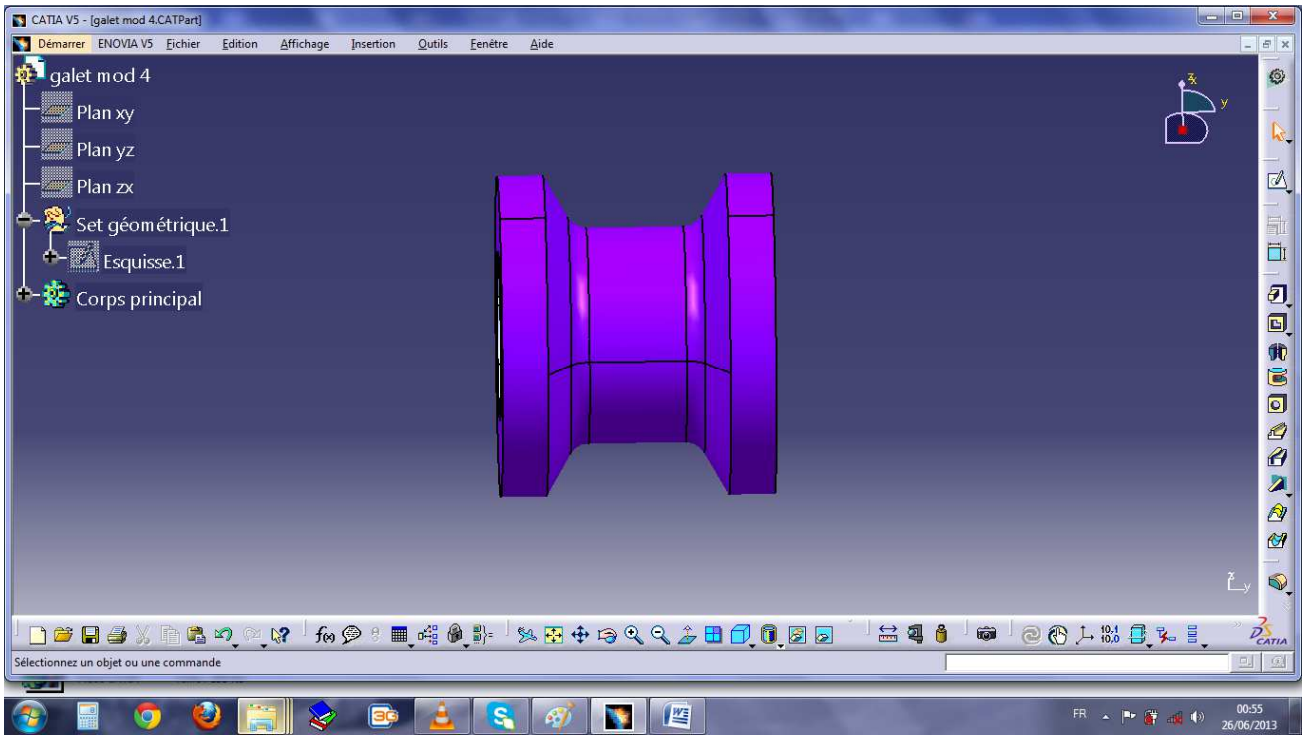


Figure 41: galet inferieur pour un angle de 60°

pour un angle $\theta = 90°$

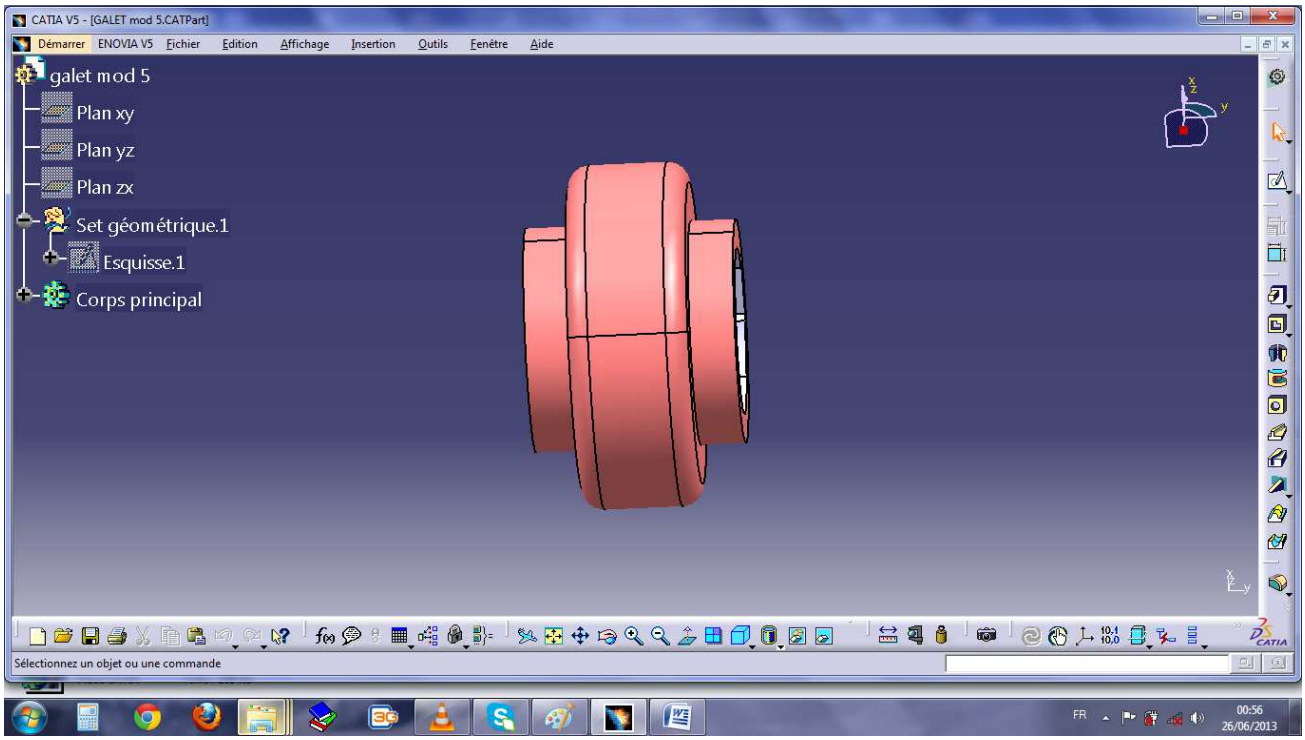


Figure 42 : galet supérieur pour un angle de 90°

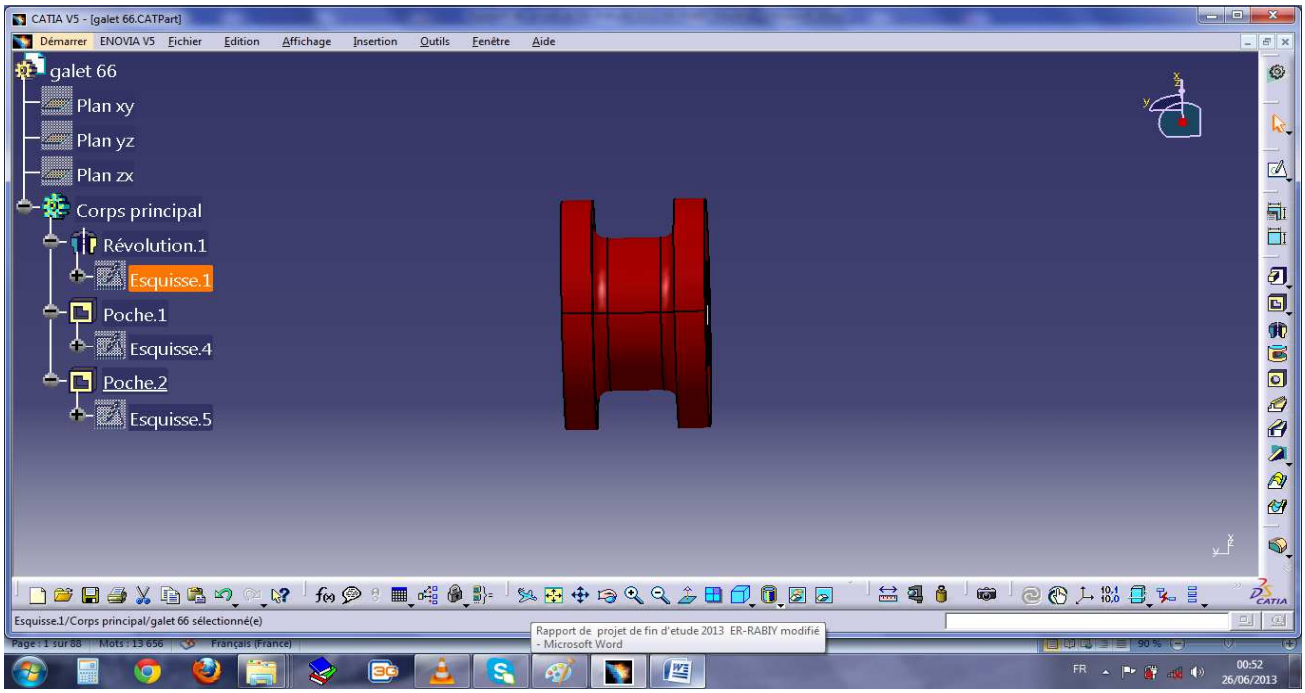


Figure 43:galet inferieur pour un angle de 90°

Conclusion générale

Au terme de ce projet de fin d'études, une brève rétrospective permet de dresser le bilan du travail effectué avec ses difficultés, ses contraintes, mais surtout le supplément de formation si riche dont nous avons eu la chance de bénéficier. En effet, il fallait avoir un aperçu général mais aussi assez exhaustif sur le fonctionnement de la société, ses différents services en l'occurrence l'atelier de production des pompes immergées.

Nous avons également eu l'opportunité de côtoyer des professionnels de toutes hiérarchies, des chefs de poste, des techniciens, les ingénieurs, responsable de l'usine…..et tout cela nous a été très bénéfique au niveau technique, ainsi au niveau relationnel et managérial.

Concernant le cahier de charges qui nous été proposé, nous espérons que ce modeste travail a pu satisfaire dans une large mesure ses exigences. En effet, nous avons réussi dans un premier temps à identifier tous critères fonctionnels critiques de notre machine de profilage. On a utilisé beaucoup des méthodes pour la résolution de ce problème en adoptant la démarche suivante : on a commencé par l'analyse fonctionnelle pour étudier les fonctionnalités de notre future machine de profilage en générant a la fin des solutions techniques sous forme d'un groupe de concept par la méthode QFD, après on a fait un calcul conceptuel pour trouver les paramètres mécaniques comme les efforts appliqués sur les arbres, le diamètre de l'arbre……,ensuite par ces calculs on trouvé un dimensionnement pour notre machine, après le dimensionnement on a concrétiser ce dernier sur un logiciel de CAD Catia pour les différents éléments énoncés dans la matrice morphologique comme (les galets, les arbres, les roulements, les clavettes, le moteur ,……..).

A la fin de cette conclusion, je tiens à remercier encore une fois les personnes qui ont m'aider dans la réalisation de ce modeste travail de près ou de loin et je profite cette occasion pour remercier la société d'accueil sur cette opportunité qui a donné aux stagiaires futurs ingénieurs.

Bibliographie

[1] Roll forming hand book, T.Halmos.2006

[2] Extrait de 5th Australasian Congress on Applied Mechanics, ACAM 2007 10-12 December 2007, Brisbane, Australia (A method of approximate tool wear analysis in cold roll forming). Alexander S. Galakhar1, Paul A. Meehan1, William J.T. Daniel1, and Shi Chao Ding1

[3] Mécaniques appliquées –résistances des matériaux -mécaniques des fluide-thermodynamique (P. Agati ; N.Mattera).1992

[4] « Eléments de machines 2eme édition » avec Gilbert Drou,Michel Gou Pierre Thiry Robert Vinet. 1986

[5] Guides des sciences et technologies industrielles, Jean Louis Fanchon, April 2001

[6] Chevalier guide du dessinateur industriel, André Chevalier, 2004

[7] Support-cours de. « Analyse fonctionnelle », Pr. Aboutajeddine. 2012

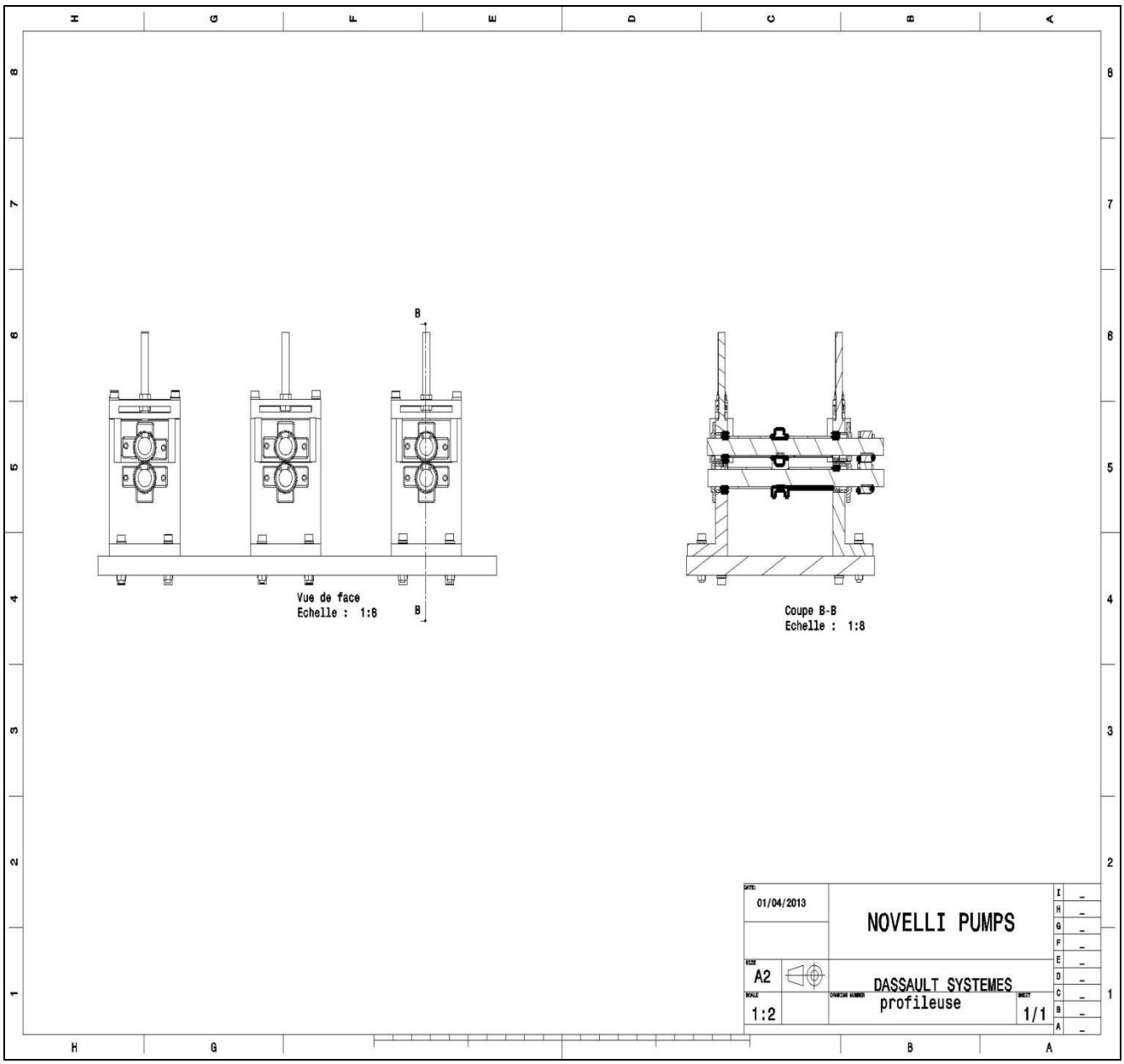
[8] Support-cours de la QFD, Pr. Aboutajeddine. 2012

[9] http://edesignlab.fr/calcul-de-clavette/

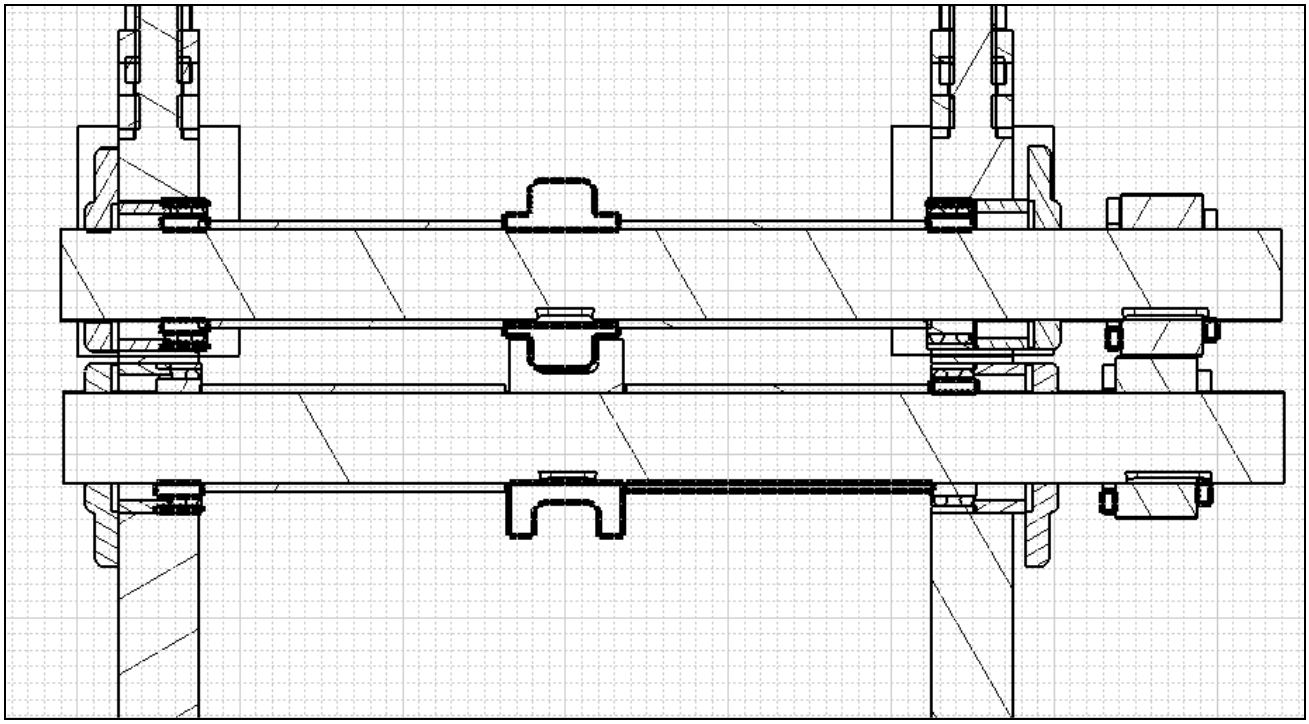
Annexes

Annexe

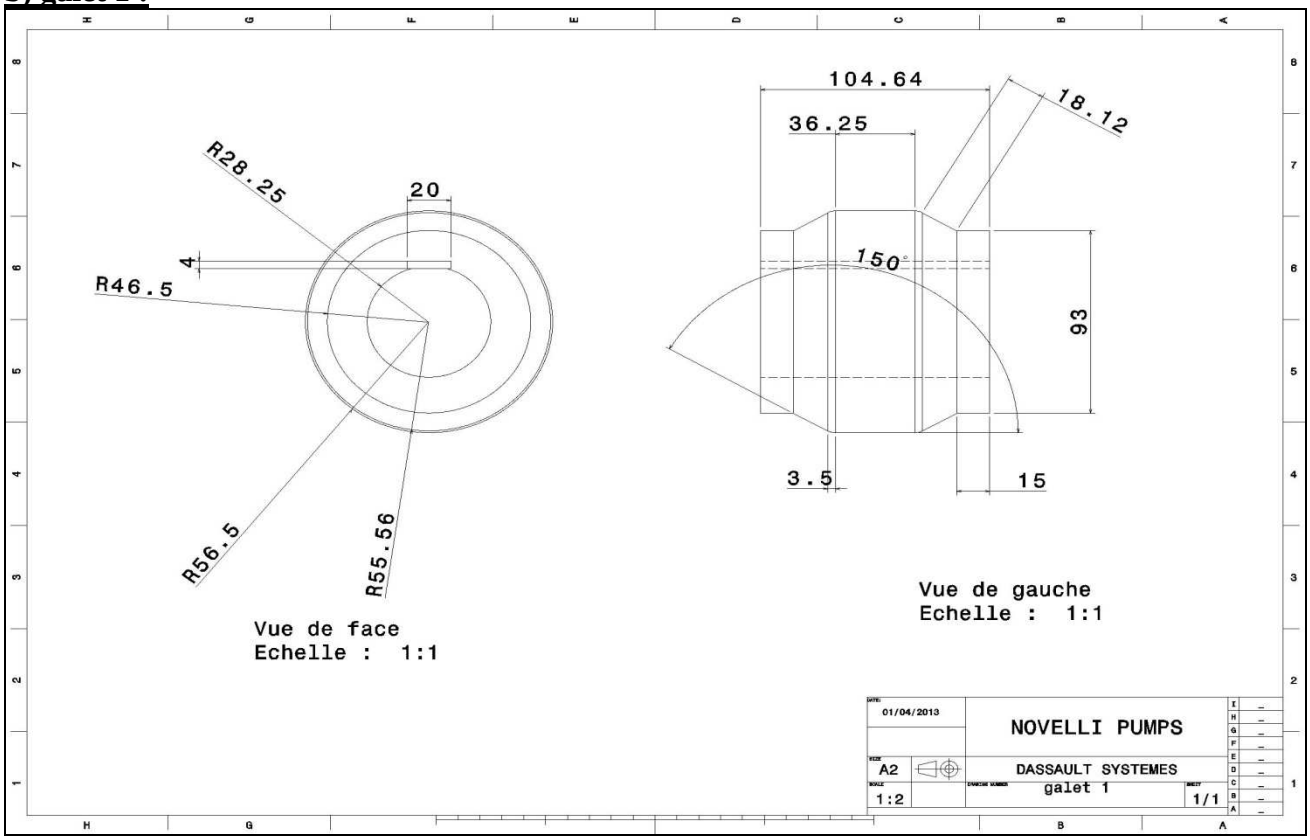
1) Images des éléments de conception de profileuse en plan 2D



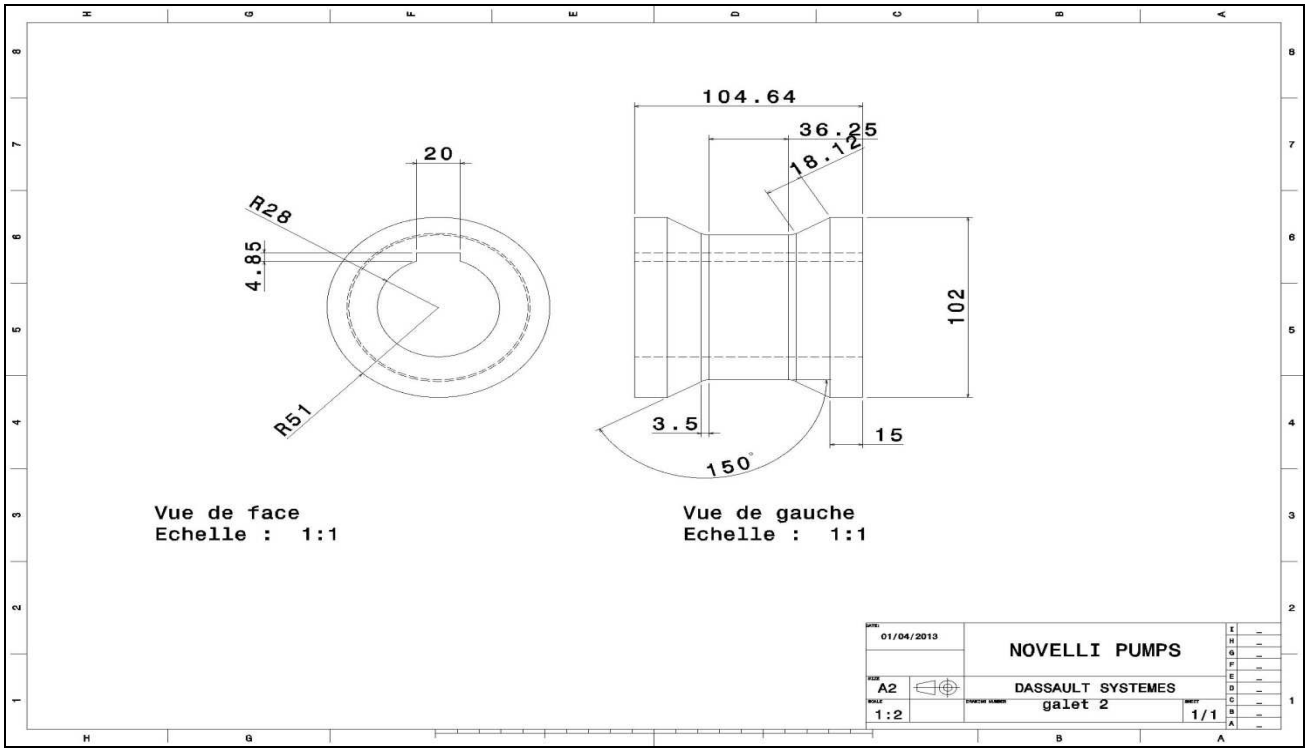
a)Coupe pour machine de profilage :



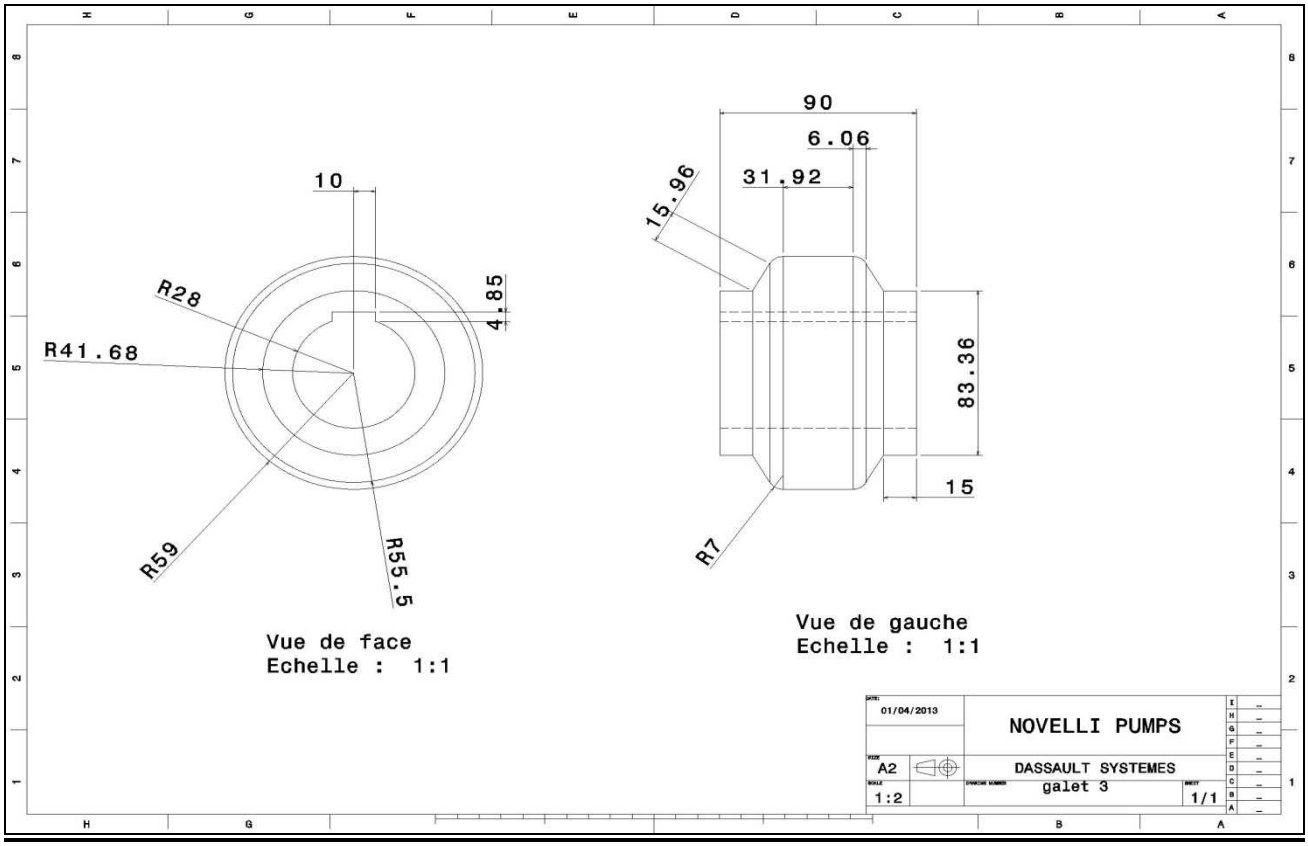
b) galet 1 :



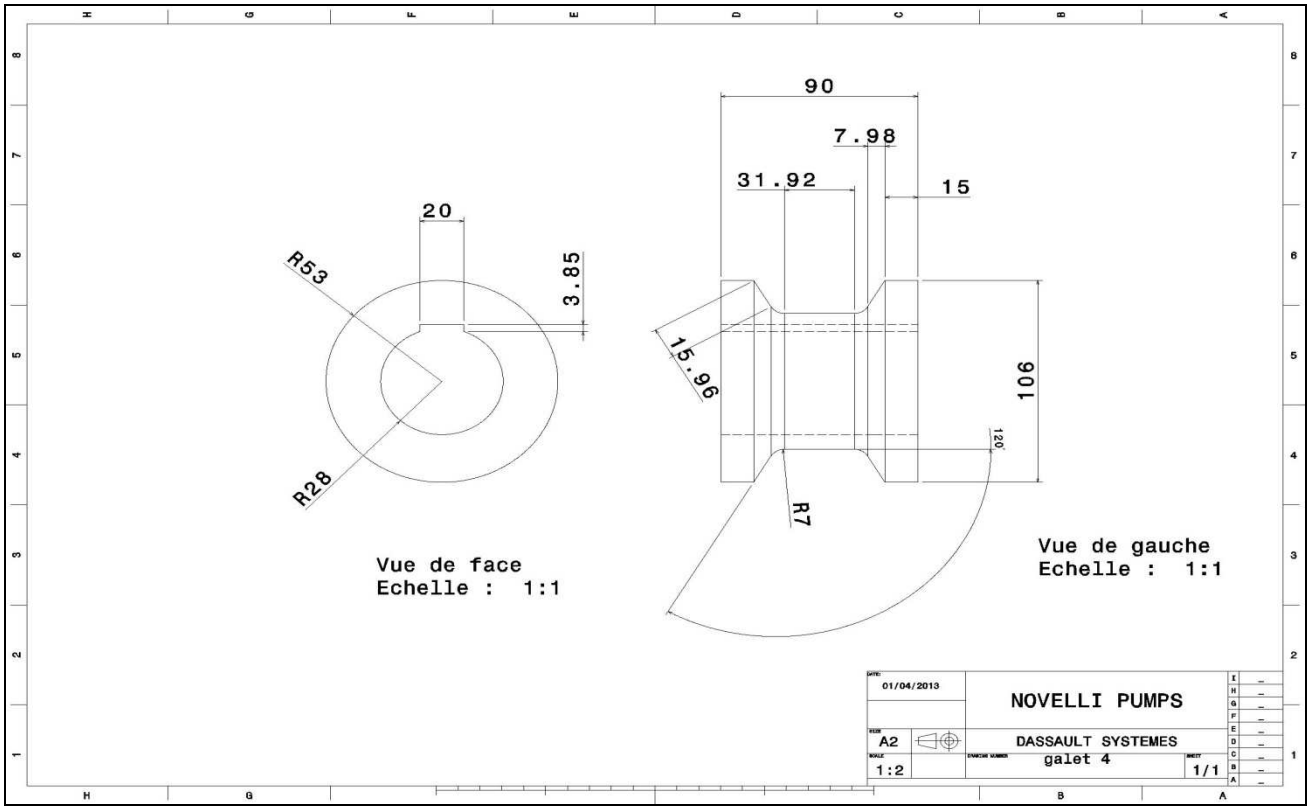
c) galet 2 :



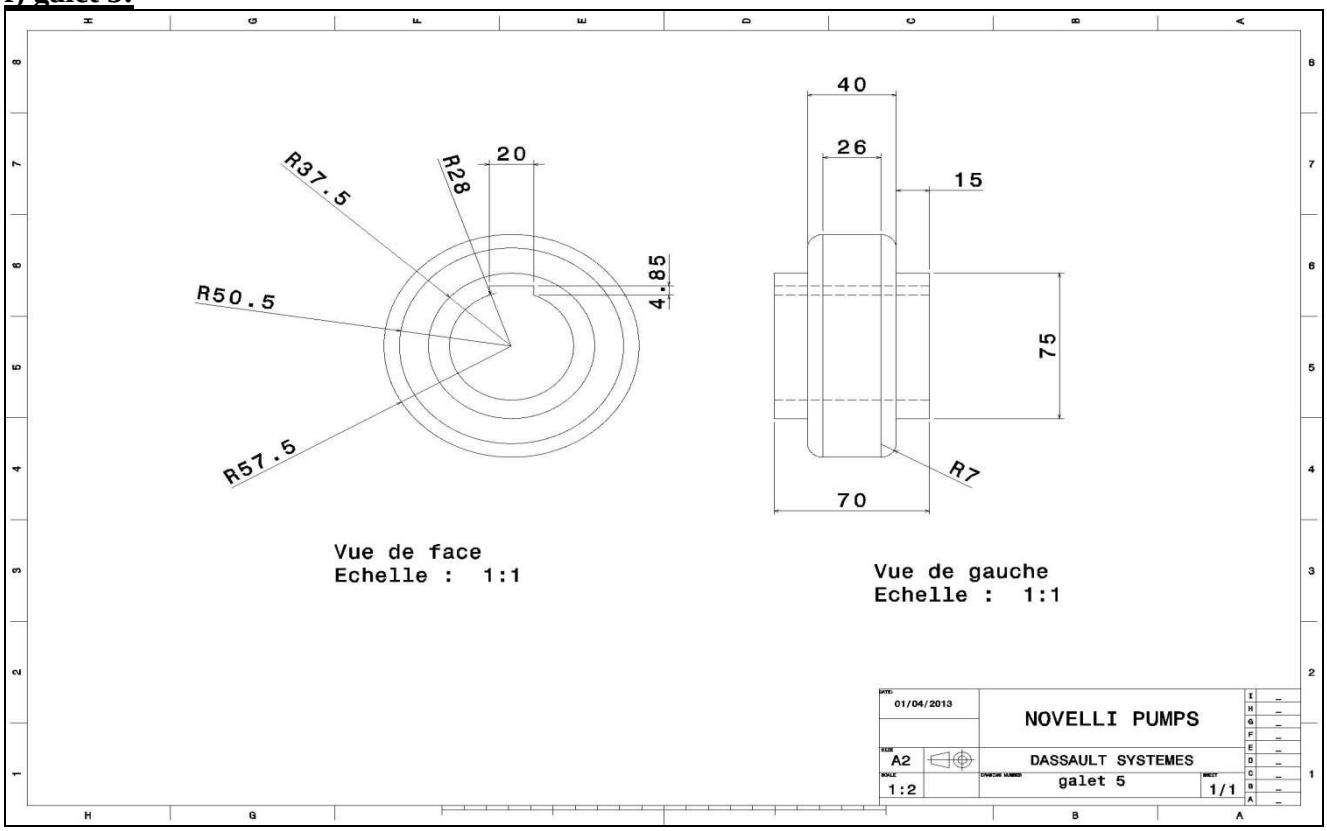
d) galet 3 :



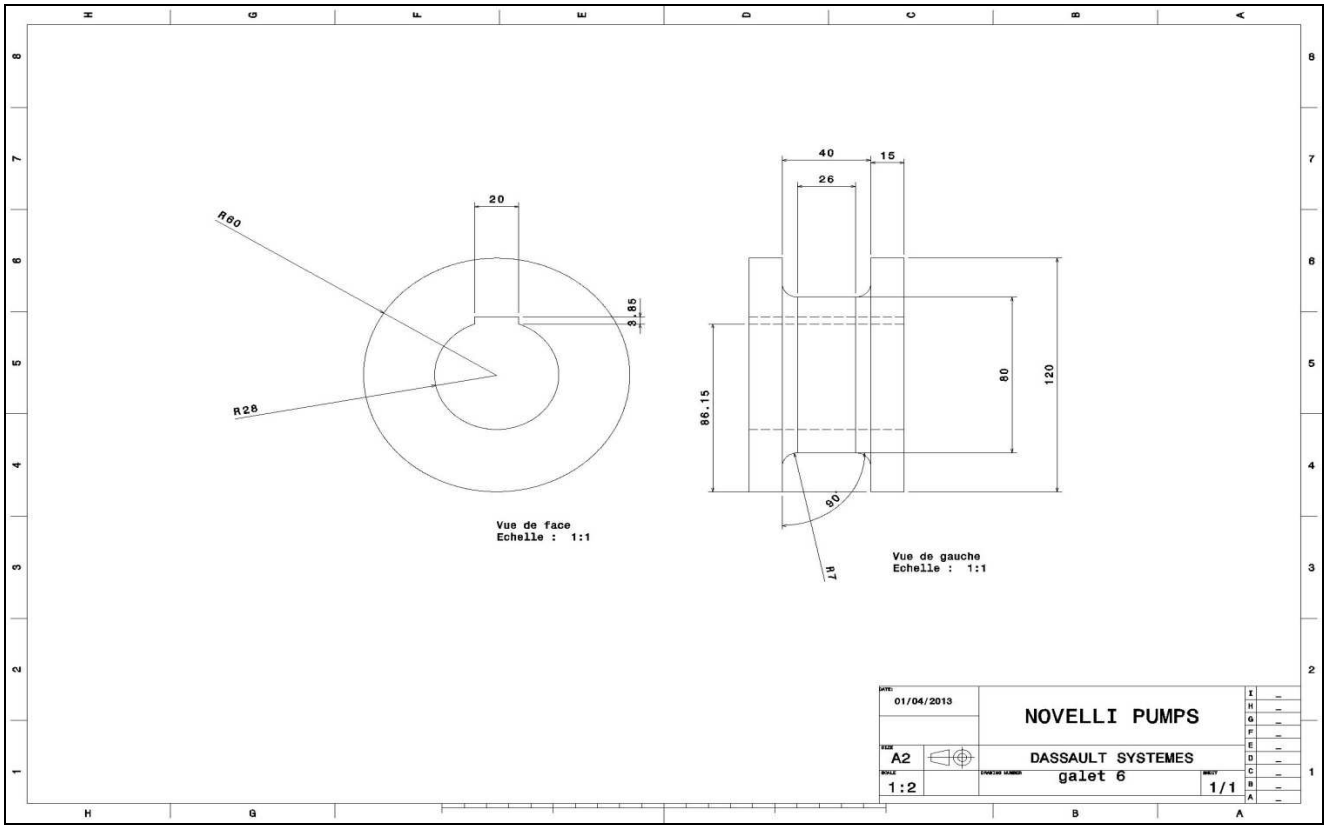
e) galet 4 :



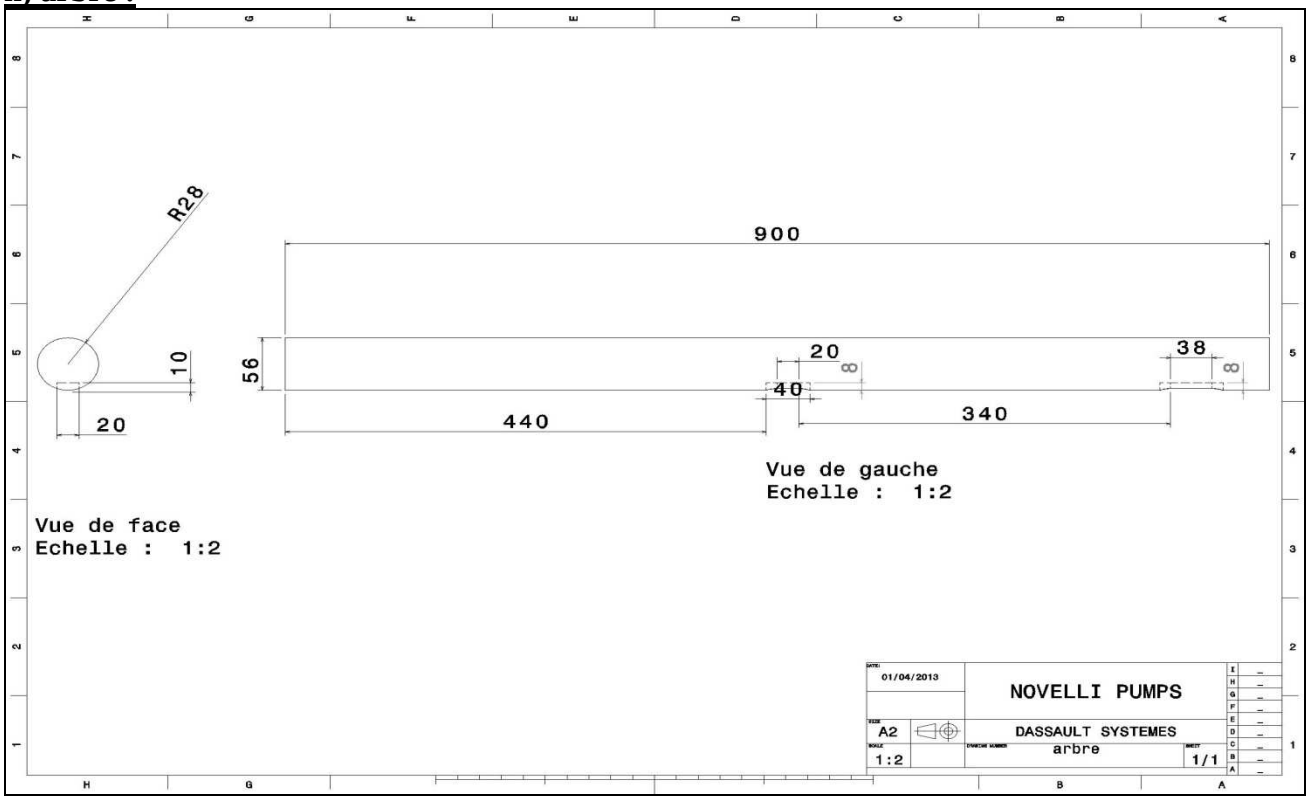
f) galet 5:



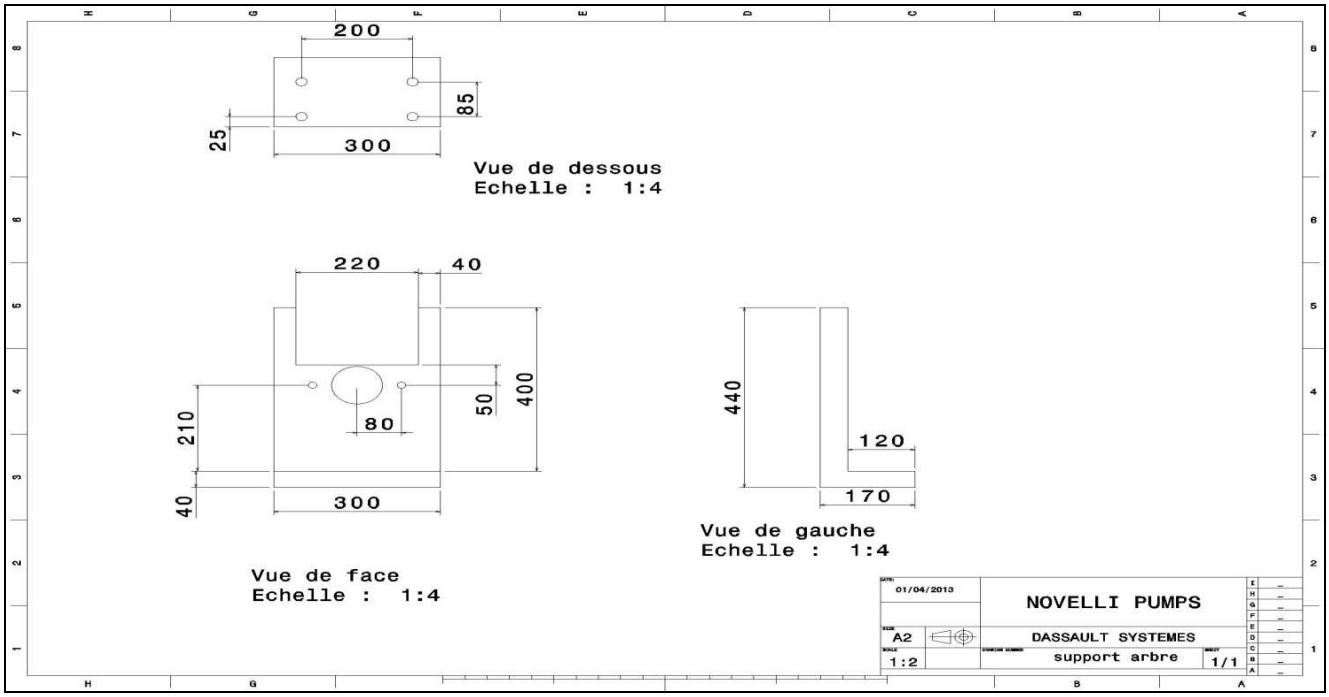
g) galet 6 :



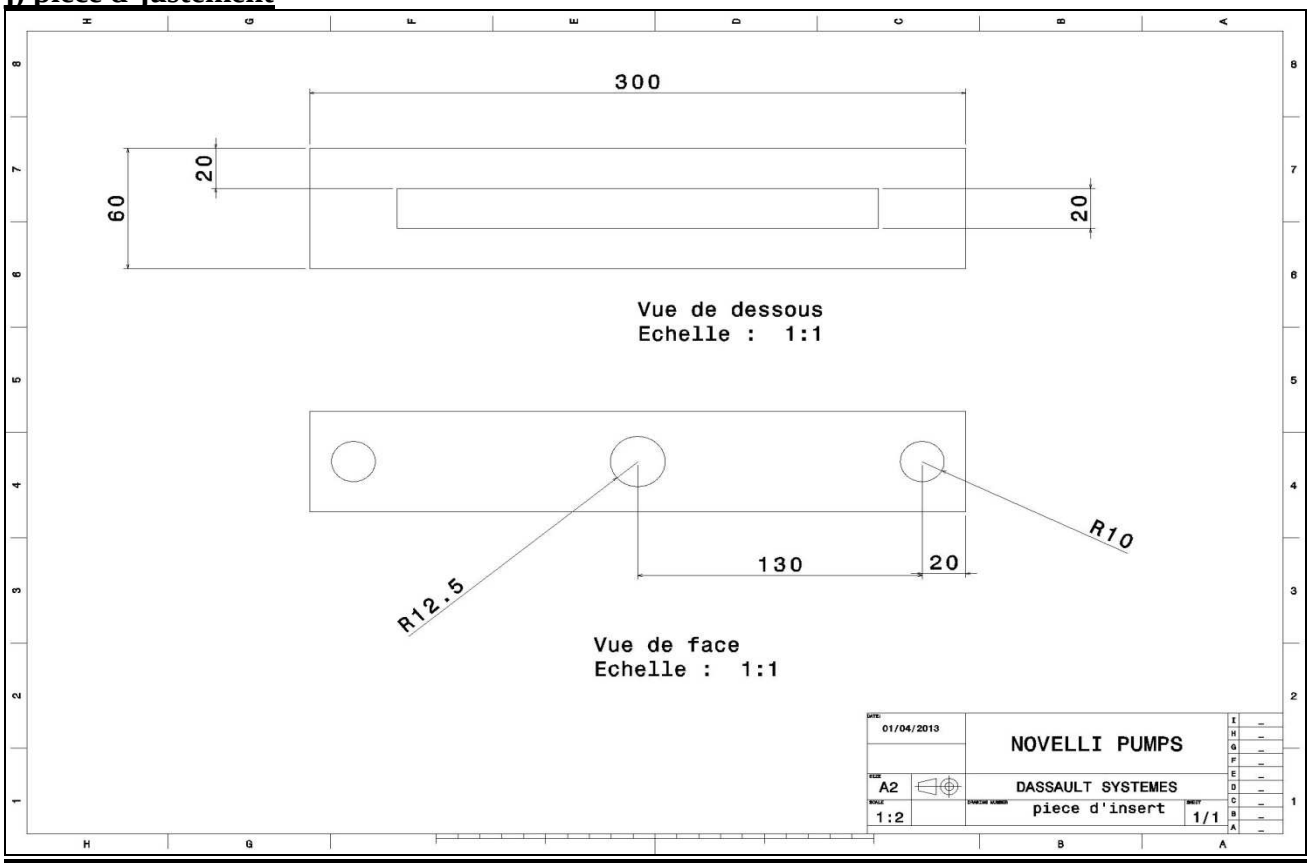
h) arbre :



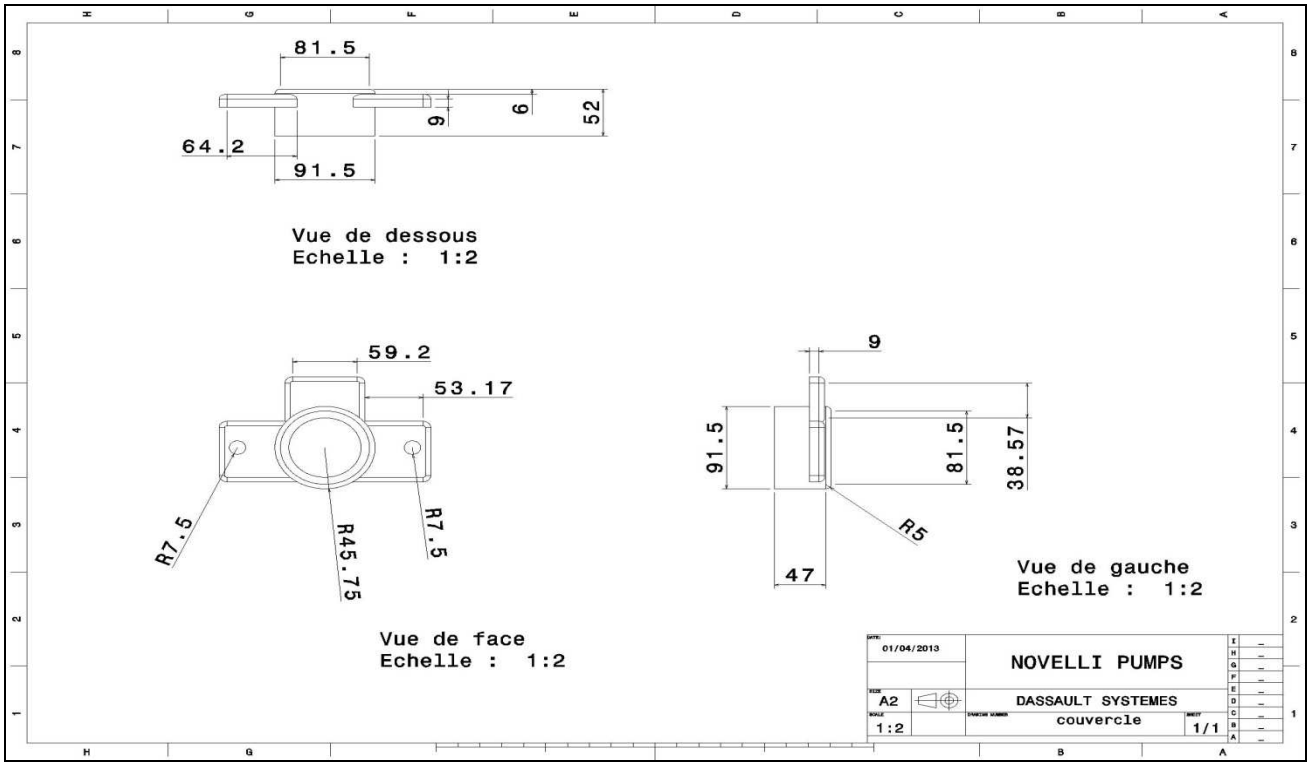
i) support arbre



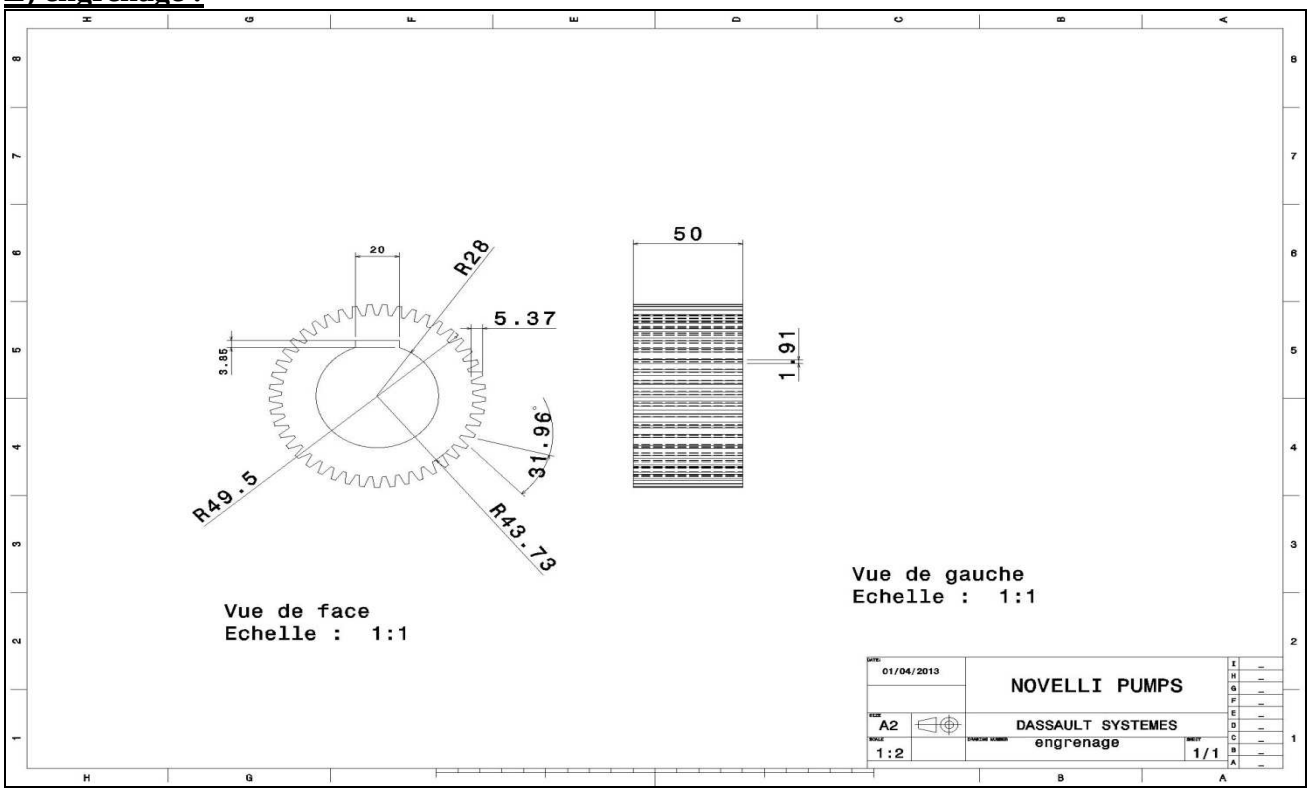
j) pièce d'justement



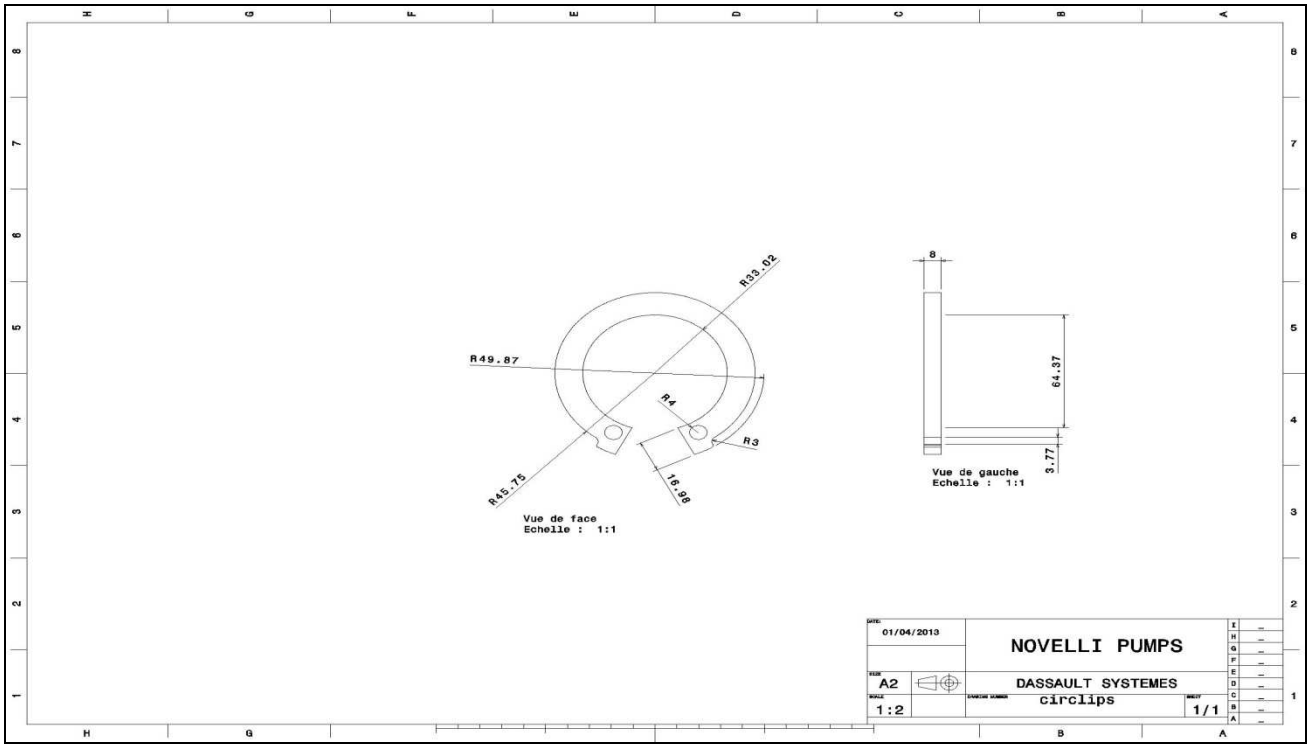
k) couvercle :



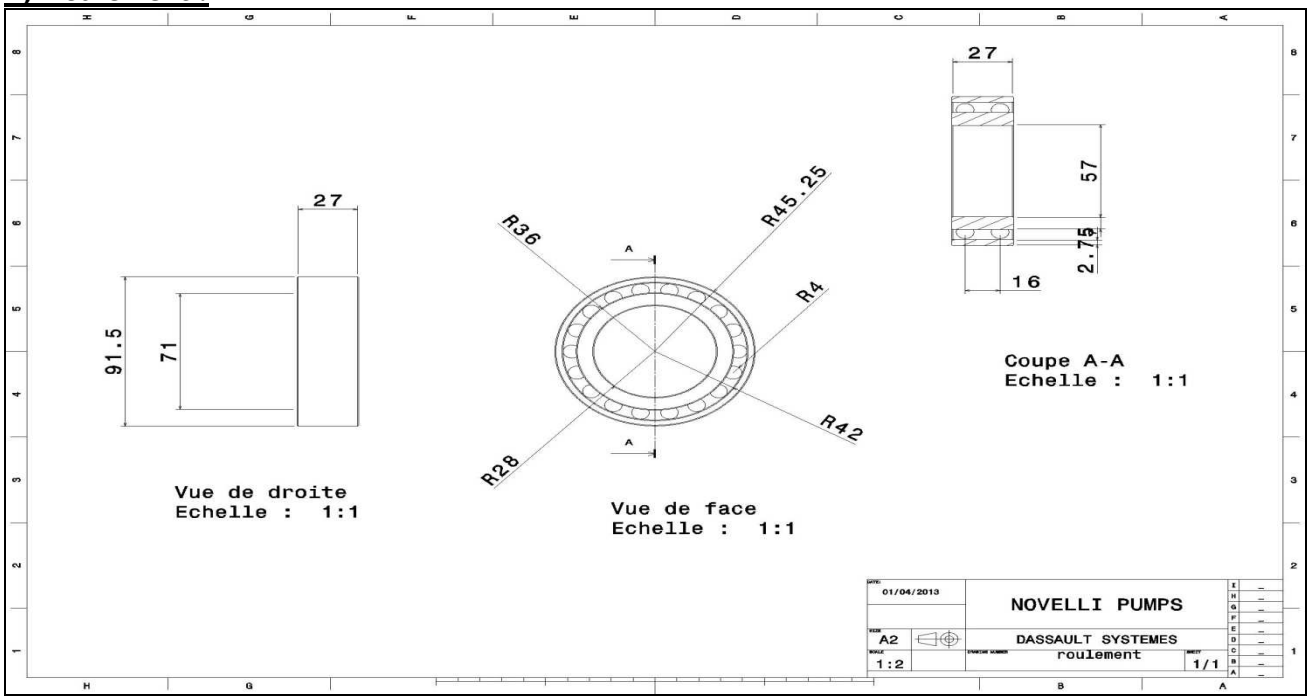
L) engrenage :



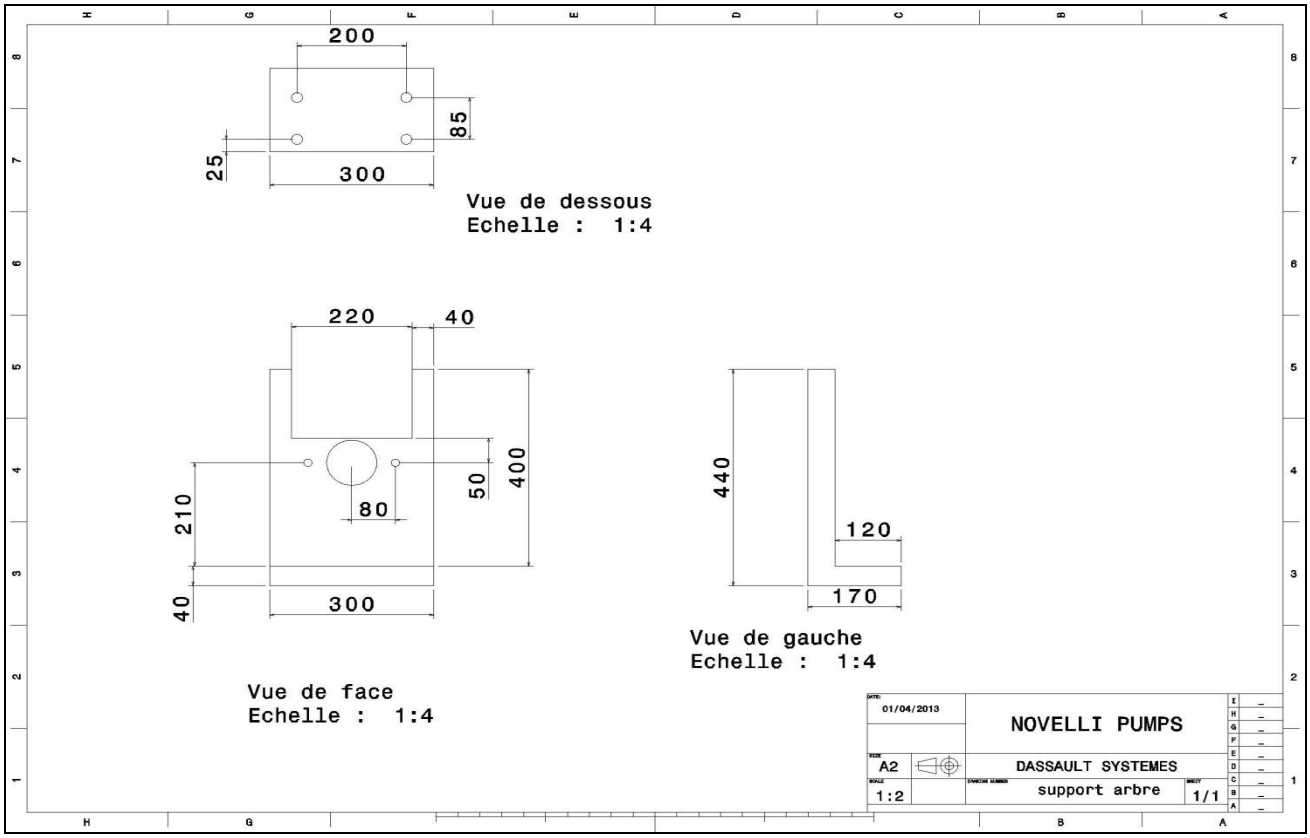
m) circlips :



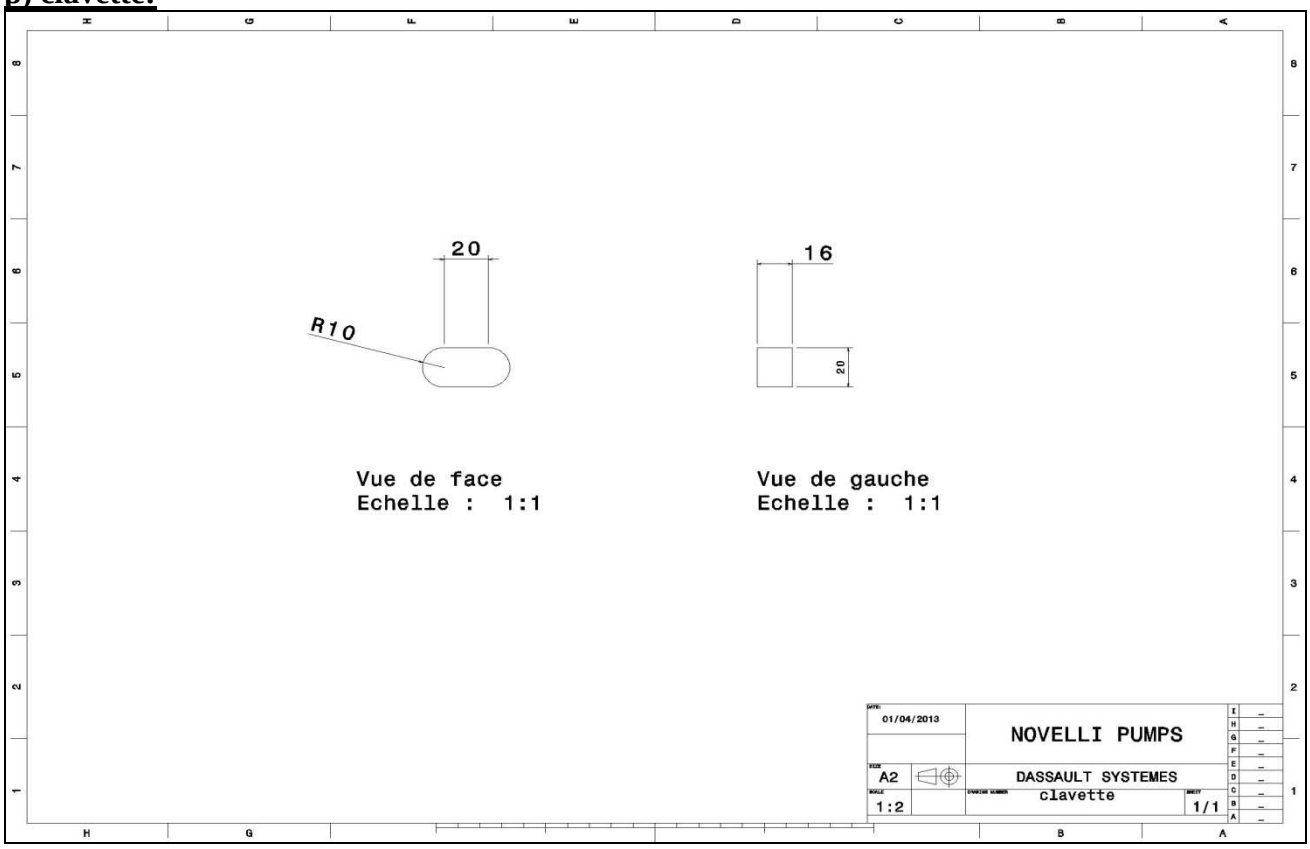
n) Roulement :



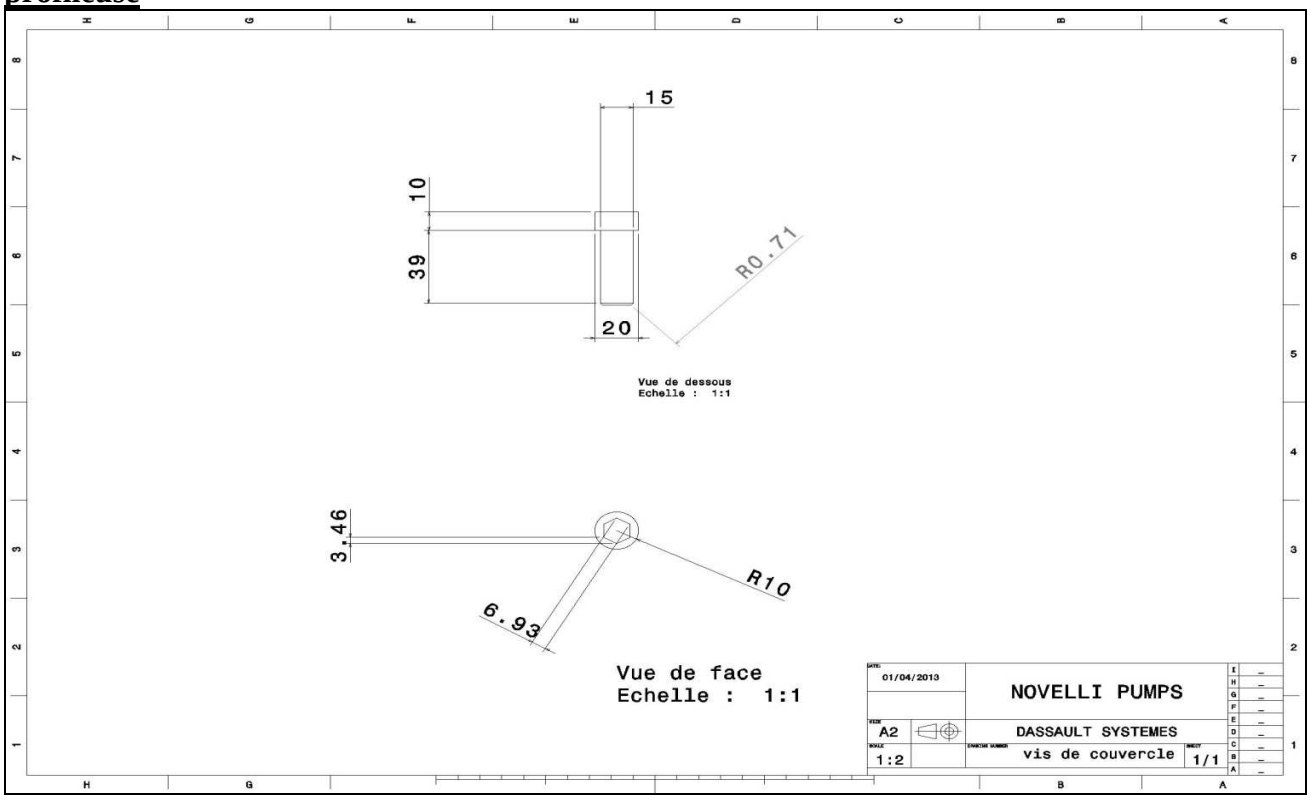
o) Support fixe d'arbre de profileuse :

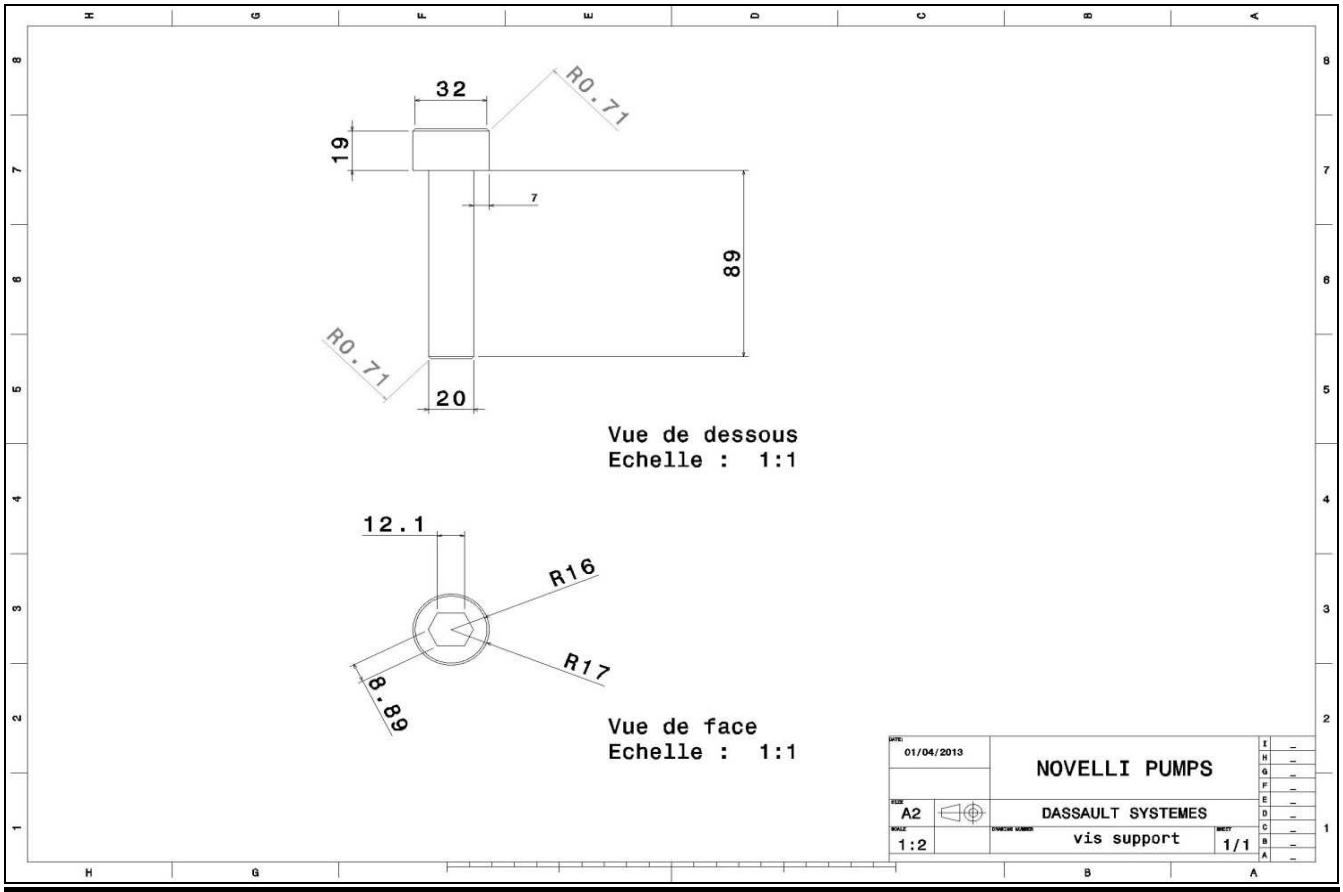

200
85
25
300
Vue de dessous
Echelle : 1:4
220
40
400
50
210
80
40
300
Vue de face
Echelle : 1:4
440
120
170
Vue de gauche
Echelle : 1:4
01/04/2013
NOVELLI PUMPS
A2
DASSAULT SYSTEMES
1:2
support arbre
1/1

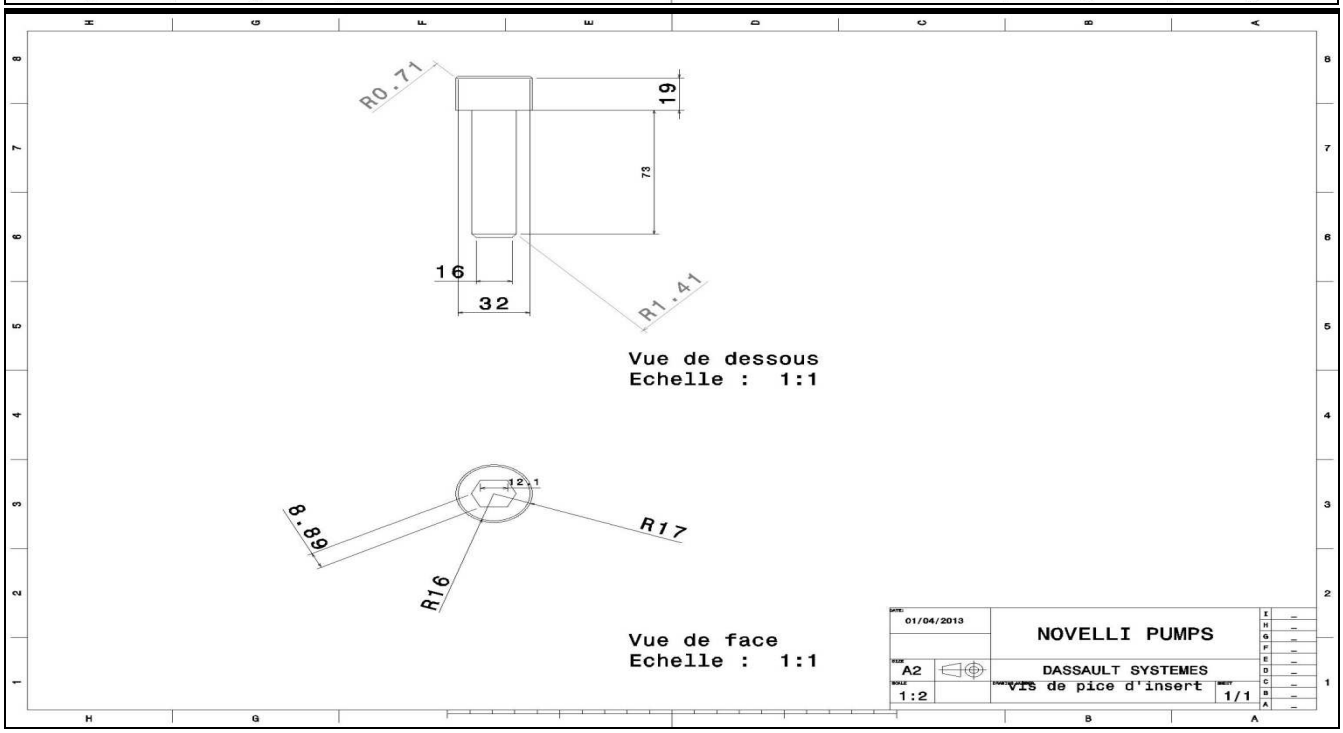
p) clavette:

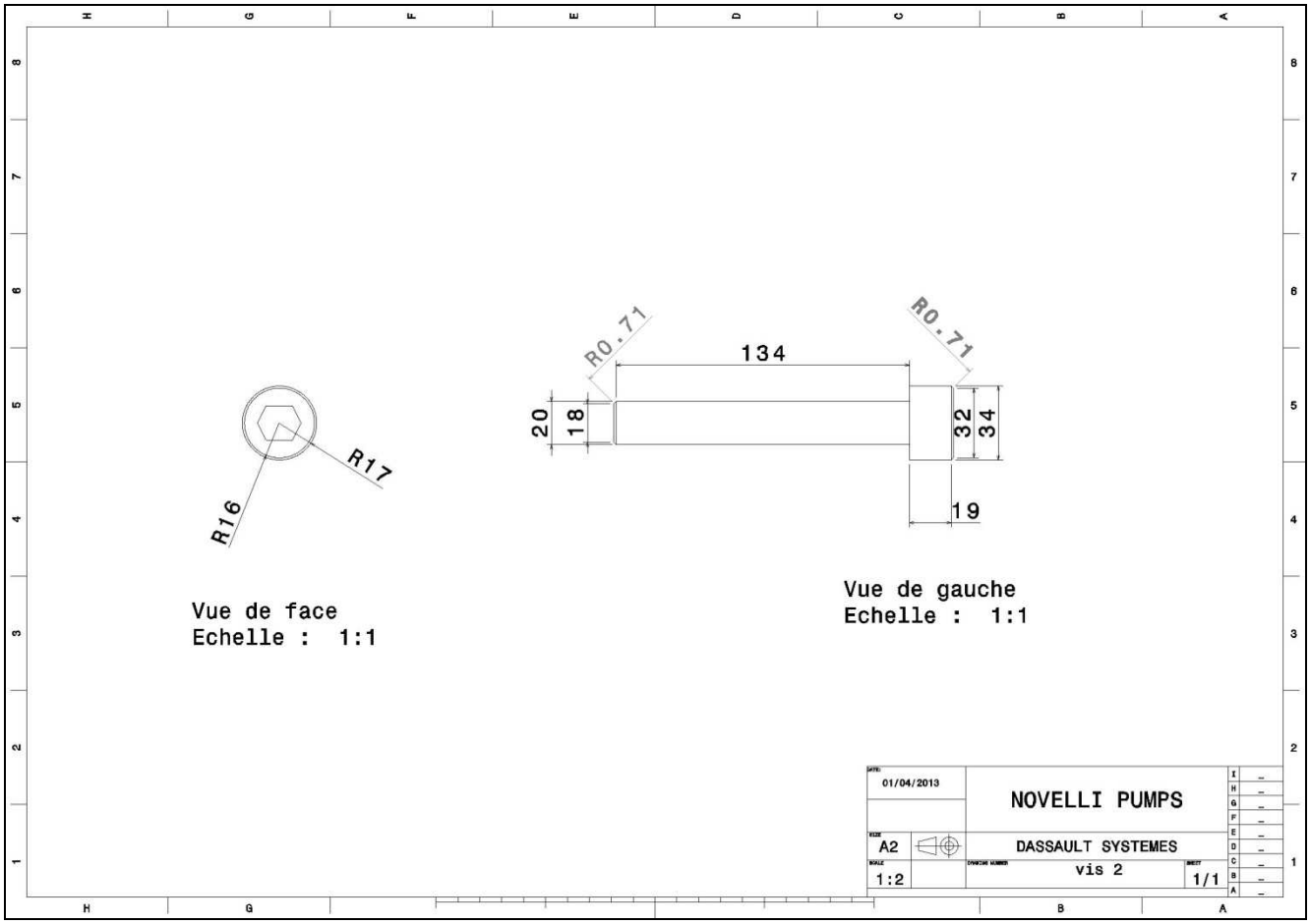

20
R10
Vue de face
Echelle : 1:1
16
20
Vue de gauche
Echelle : 1:1
01/04/2013
NOVELLI PUMPS
A2
DASSAULT SYSTEMES
1:2
clavette
1/1

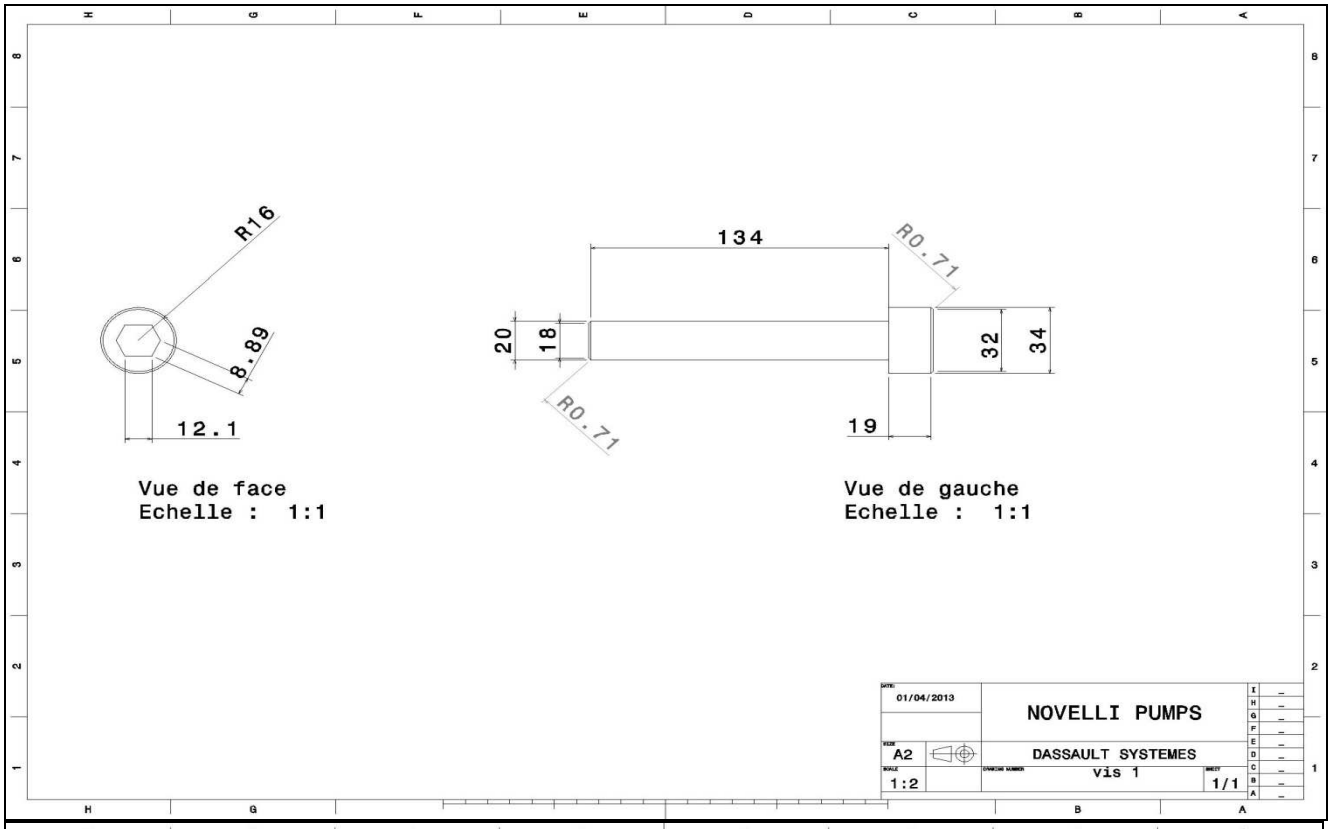
q) les éléments de fixation de profileuse

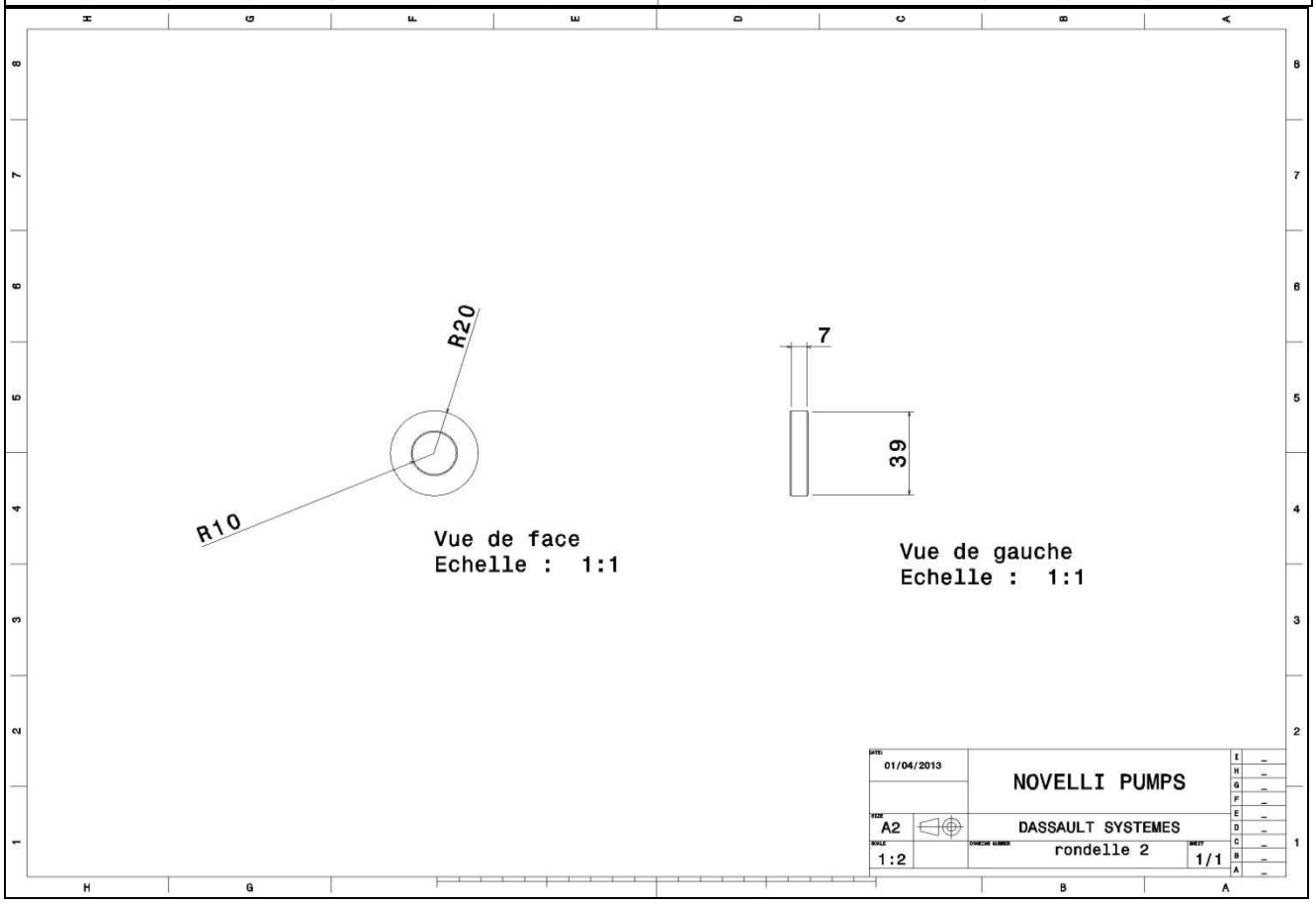


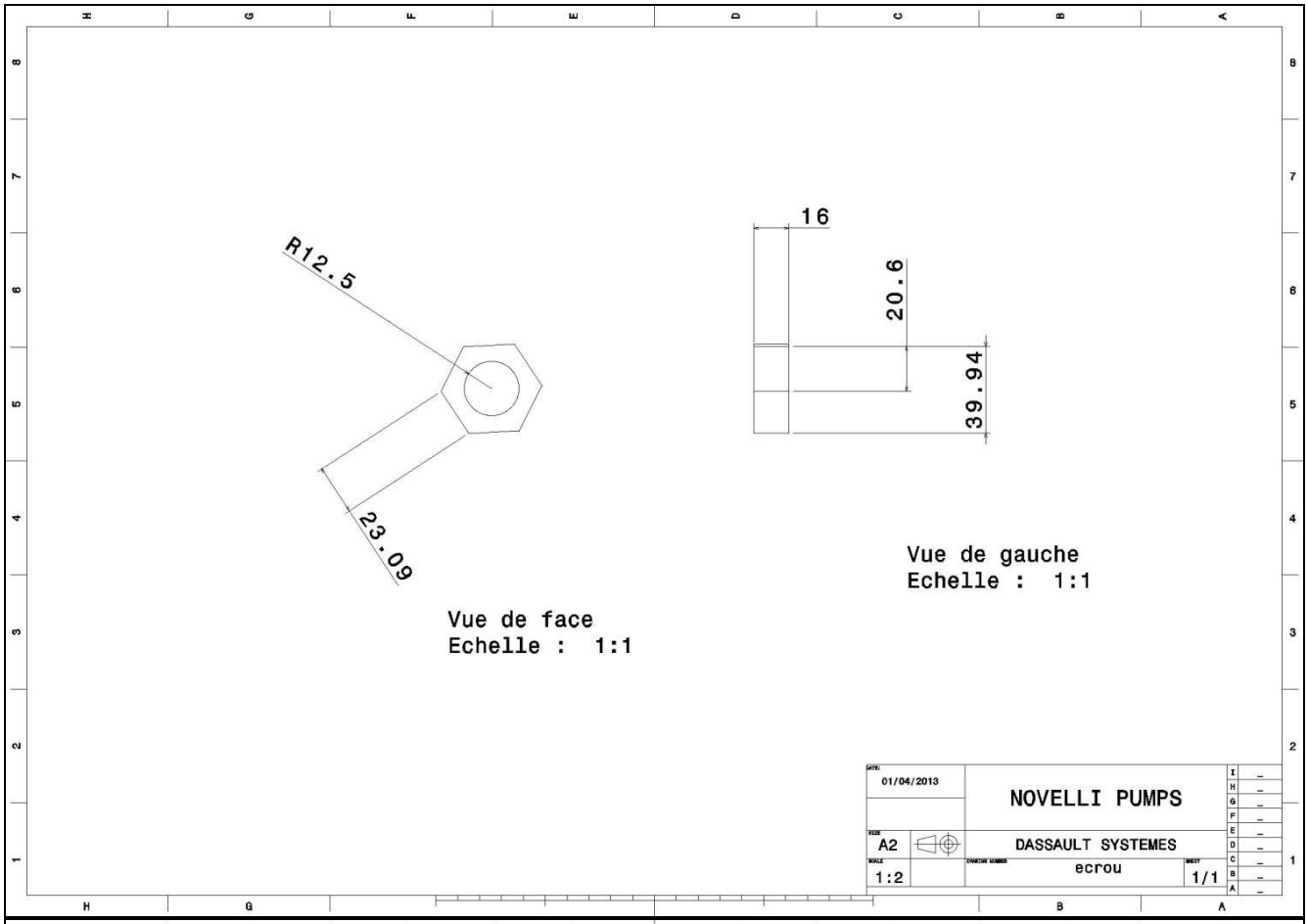

32
R0.71
19
7
89
R0.71
20
Vue de dessous
Echelle : 1:1
12.1
R16
R17
8.89
Vue de face
Echelle : 1:1
01/04/2013
NOVELLI PUMPS
A2
DASSAULT SYSTEMES
1:2
vis support
1/1

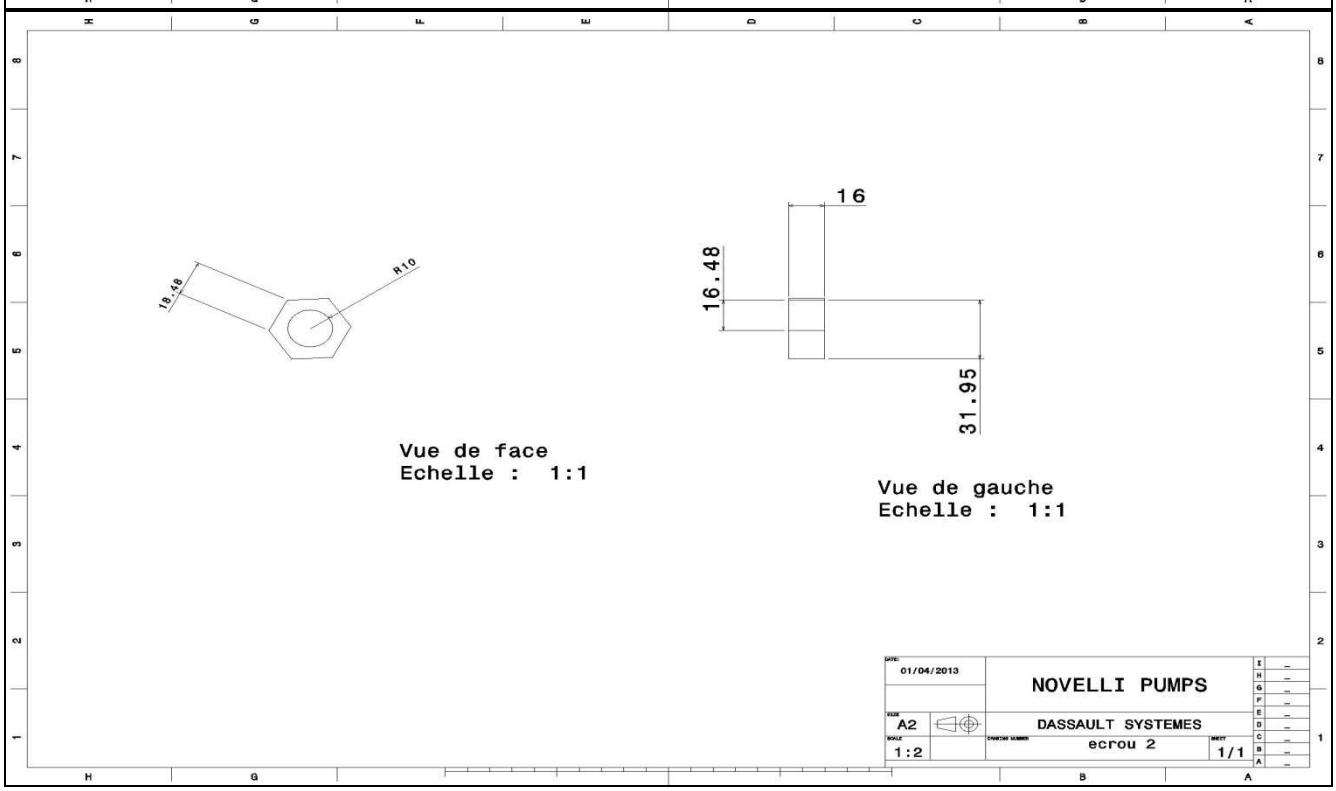

R0.71
19
73
16
32
R1.41
Vue de dessous
Echelle : 1:1
12.1
8.89
R17
R16
Vue de face
Echelle : 1:1
01/04/2013
NOVELLI PUMPS
A2
DASSAULT SYSTEMES
1:2
vis de pice d'insert
1/1

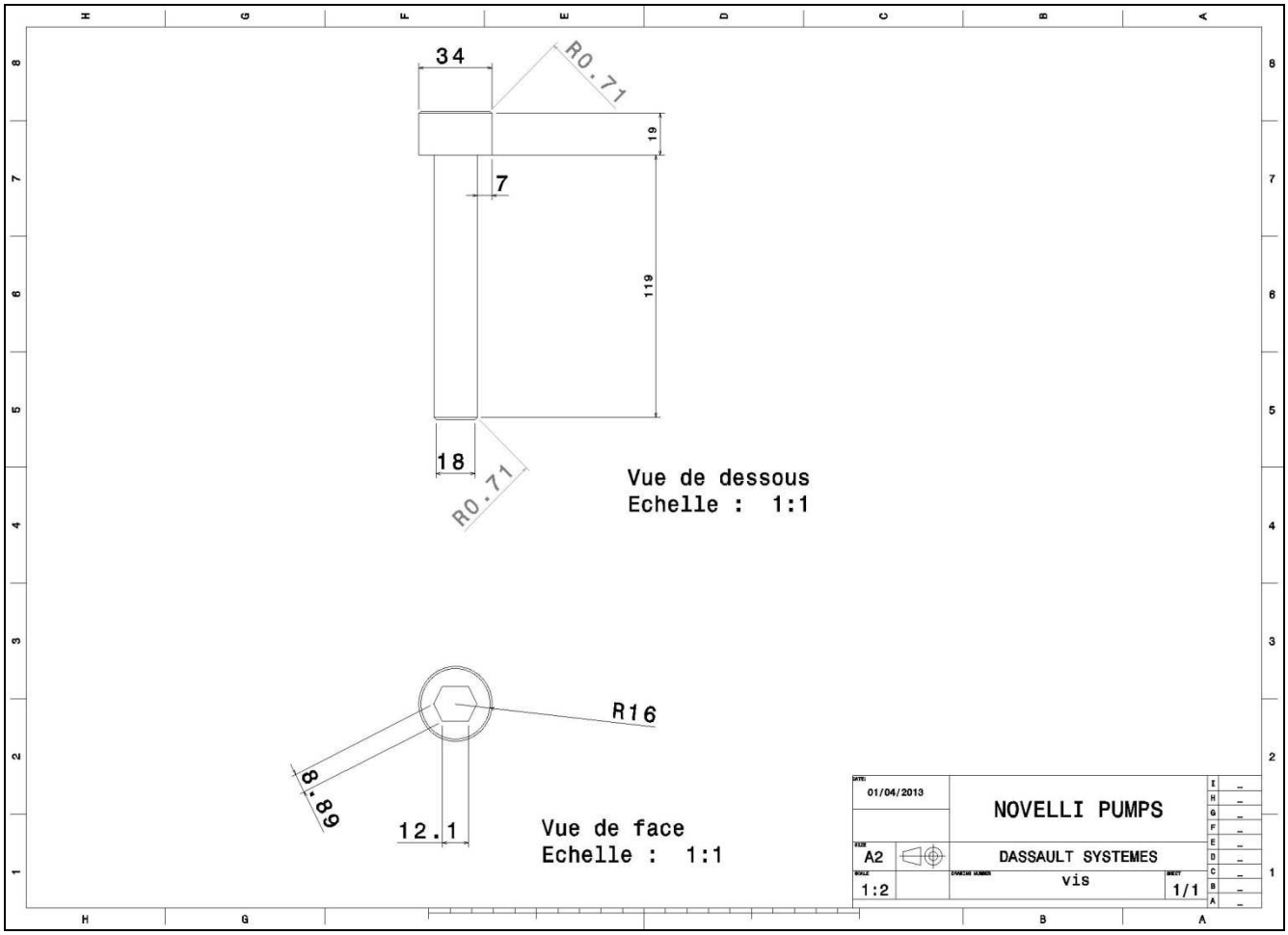

R0.71
134
R0.71
20
18
32
34
19
R17
R16
Vue de face
Echelle : 1:1
Vue de gauche
Echelle : 1:1
01/04/2013
NOVELLI PUMPS
A2
DASSAULT SYSTEMES
1:2
vis 2
1/1


R16
8.89
12.1
Vue de face
Echelle : 1:1
134
R0.71
20
18
32
34
R0.71
19
Vue de gauche
Echelle : 1:1
01/04/2013
NOVELLI PUMPS
A2
DASSAULT SYSTEMES
1:2
vis 1
1/1


R20
R10
Vue de face
Echelle : 1:1
7
39
Vue de gauche
Echelle : 1:1
01/04/2013
NOVELLI PUMPS
A2
DASSAULT SYSTEMES
1:2
rondelle 2
1/1


R12.5
23.09
Vue de face
Echelle : 1:1
16
20.6
39.94
Vue de gauche
Echelle : 1:1
01/04/2013
NOVELLI PUMPS
A2
DASSAULT SYSTEMES
1:2
ecrou
1/1


18.48
R10
Vue de face
Echelle : 1:1
16
16.48
31.95
Vue de gauche
Echelle : 1:1
01/04/2013
NOVELLI PUMPS
A2
DASSAULT SYSTEMES
1:2
ecrou 2
1/1



2) Choix de moteur asynchrone

Documentation technique (Extrait catalogue LEROY SOMMER) :

IP 55 - 50 Hz - Classe F - 230 V Δ / 400 V Y - S1

Type	Puissance nominale à 50 Hz P_N kW	Vitesse nominale N_N min^{-1}	Couple nominal C_N N.m	Intensité nominale $I_{N(400V)}$ A	Facteur de puissance Cos φ	Rendement η %	Courant démarrage / Courant nominal I_D / I_N	Masse IM B3 kg
LS 56 L	0.09	2860	0.3	0.44	0.55	54	4.9	3.8
LS 56 L	0.12	2820	0.4	0.50	0.6	58	4.6	3.8
LS 63 M	0.18	2790	0.6	0.52	0.75	67	5	4.8
LS 63 M[1]	0.18	2825	0.6	0.5	0.8	67	5.5	4.8
LS 63 M	0.25	2800	0.8	0.71	0.75	68	5.4	6
LS 63 M[1]	0.25	2830	0.8	0.66	0.78	71	6.8	6
LS 71 L	0.37	2800	1.3	0.98	0.80	68	5.2	6.4
LS 71 L	0.55	2800	1.9	1.32	0.80	75	6	7.3
LS 71 L	0.75	2780	2.5	1.7	0.85	75	6	8.3
LS 80 L	0.75	2840	2.5	1.64	0.87	76	5.9	8.2
LS 80 L	1.1	2837	3.7	2.4	0.84	78	5.6	9.7
LS 80 L	1.5	2859	5	3.3	0.83	80	7	11.3
LS 90 S	1.5	2870	5	3.4	0.81	80	7	12
LS 90 L	1.8	2861	6	3.6	0.86	83	7.9	14
LS 90 L	2.2	2857	7.4	4.3	0.88	84	7.4	16
LS 100 L	3	2868	10	6.4	0.89	83	7.5	20
LS 100 L	3.7	2870	12	7.8	0.84	81	8.6	22
LS 112 M	4	2865	13.5	7.9	0.85	86	8.7	24.4

Type	Puissance nominale à 50 Hz P_N kW	Vitesse nominale N_N min^{-1}	Couple nominal C_N N.m	Intensité nominale $I_{N(400V)}$ A	Facteur de puissance Cos φ	Rendement η %	Courant démarrage / Courant nominal I_D / I_N	Masse IM B3 kg
LS 56 L	0.09	1400	0.6	0.39	0.6	55	3.2	4
LS 63 M	0.12	1380	0.8	0.44	0.7	56	3.2	4.8
LS 63 M[1]	0.12	1375	0.8	0.44	0.77	56	3	4.8
LS 63 M	0.18	1390	1.2	0.64	0.65	62	3.7	5
LS 63 M[1]	0.18	1410	1.2	0.62	0.75	63	3.7	5
LS 63 M	0.25	1390	1.6	0.85	0.65	65	4	5.1
LS 63 M[1]	0.25	1390	1.6	0.85	0.65	65	4	5.1
LS 71 L	0.25	1425	1.7	0.8	0.65	69	4.6	6.4
LS 71 L	0.37	1420	2.5	1.06	0.7	72	4.9	7.3
LS 71 L	0.55	1400	3.8	1.62	0.7	70	4.8	8.3
LS 80 L	0.55	1400	3.8	1.6	0.74	67	4.4	8.2
LS 80 L	0.75	1400	5.1	2.01	0.77	70	4.5	9.3
LS 80 L	0.9	1425	6	2.44	0.73	73	5.8	10.9
LS 90 S	1.1	1429	7.4	2.5	0.84	76.8	4.8	11.5
LS 90 L	1.5	1428	10	3.4	0.82	78.5	5.3	13.5
LS 90 L	1.8	1438	12	4	0.82	80.1	6	15.2
LS 100 L	2.2	1436	14.7	4.8	0.81	81	6	20
LS 100 L	3	1437	20.1	6.5	0.81	82.6	6	22.5
LS 112 M	4	1438	26.8	8.3	0.83	84.2	7.1	24.9

Type	Puissance nominale à 50 Hz P_N kW	Vitesse nominale N_N min^{-1}	Couple nominal C_N N.m	Intensité nominale $I_{N(400V)}$ A	Facteur de puissance $Cos\ \varphi$	Rendement η %	Courant démarrage / Courant nominal I_D / I_N	Masse IM B3 kg
LS 63 E	0.09	905	0.9	0.45	0.66	48	2.6	5.5
LS 63 E[1]	0.09	905	0.9	0.45	0.66	48	2.6	5.5
LS 71 L	0.12	915	1.3	0.55	0.7	50	2.8	6.5
LS 71 L	0.18	940	1.8	0.92	0.54	56	3.2	7.6
LS 71 L	0.25	915	2.6	1.16	0.6	55	2.8	7.9
LS 80 L	0.25	955	2.5	0.85	0.67	63	3.9	8.4
LS 80 L	0.37	950	3.7	1.1	0.72	66	4.3	9.7
LS 80 L	0.55	950	5.5	1.9	0.64	68	4.9	11
LS 90 S	0.75	930	7.7	2.1	0.77	68	4.2	13.5
LS 90 L	1.1	915	11.5	3	0.75	70	4.7	15.2
LS 100 L	1.5	905	15.8	4.2	0.74	69	4.5	20
LS 100 L	1.8	935	19	4.5	0.76	76	4.5	22
LS 112 M	2.2	905	23.2	5.8	0.76	72	5.6	24.2
LS 132 S	3	945	30.3	7.1	0.78	78	5.8	38.3
LS 132 M	4	965	39.6	9.4	0.75	82	6.7	53.3
LS 132 M	5.5	970	54.2	12.9	0.75	82	6.9	59.4
LS 160 M	7.5	967	74.1	16.1	0.79	85.2	4.7	81
LS 160 L	11	967	108.7	23.3	0.79	86.3	4.6	105

Type	Puissance nominale à 50 Hz P_N kW	Vitesse nominale N_N min^{-1}	Couple nominal C_N N.m	Intensité nominale $I_{N(400V)}$ A	Facteur de puissance $Cos\ \varphi$	Rendement η %	Courant démarrage / Courant nominal I_D / I_N	Masse IM B3 kg
LS 71 L	0.09	690	1.2	0.5	0.62	42	2.8	7.5
LS 71 L	0.12	690	1.7	0.6	0.63	50	2.6	8
LS 80 L	0.18	715	2.4	0.8	0.61	51	3	9.7
LS 80 L	0.25	700	3.4	1	0.65	55	2.8	11.3
LS 90 S	0.37	685	5.2	1.2	0.71	62	3.1	13.5
LS 90 L	0.55	670	7.8	1.7	0.72	63	3.5	15.2
LS 100 L	0.75	670	10.7	2.3	0.71	62	3.5	18
LS 100 L	1.1	670	15.7	3.7	0.68	63	3.7	21.8
LS 112 MG	1.5	710	20.2	4.7	0.64	72	3.8	24
LS 132 SM	2.2	695	30.2	8.1	0.56	71	2.9	45.6
LS 132 M	3	705	40.7	9.6	0.59	76	3.3	53.9
LS 160 M	4	715	53.5	11.1	0.65	80.0	3.2	72
LS 160 M	5.5	715	73.5	14.8	0.65	82.4	3.5	84
LS 160 L	7.5	715	100.2	19.7	0.67	82.1	3.4	105
LS 180 L	11	720	146	25.6	0.72	86.0	3.8	140
LS 200 L	15	725	197.7	32.9	0.75	87.7	4.4	185
LS 225 ST	18.5	725	243.8	42.4	0.72	87.5	4.2	210

3) Choix des roulements :

Valeurs des coefficients *X* et *Y*

roulements à billes à contact radial

si $\frac{F_a}{F_r} \leqslant e$ alors $P = F_r$	si $\frac{F_a}{F_r} > e$ alors $P = 0{,}56.F_r + Y.F_a$

les coefficients *e* et *y* ci-dessus dépendent du rapport $\frac{F_a}{C_0}$ (voir ci-dessous)

$\frac{F_a}{C_0}$	0,014	0,028	0,056	0,084	0.110	0.170	0.280	0.420	0.560
e	0,19	0,22	0,26	0,28	0,30	0,34	0,38	0,42	0,44
y	2,30	1,99	1,71	1,55	1,45	1,31	1,15	1,04	1,00

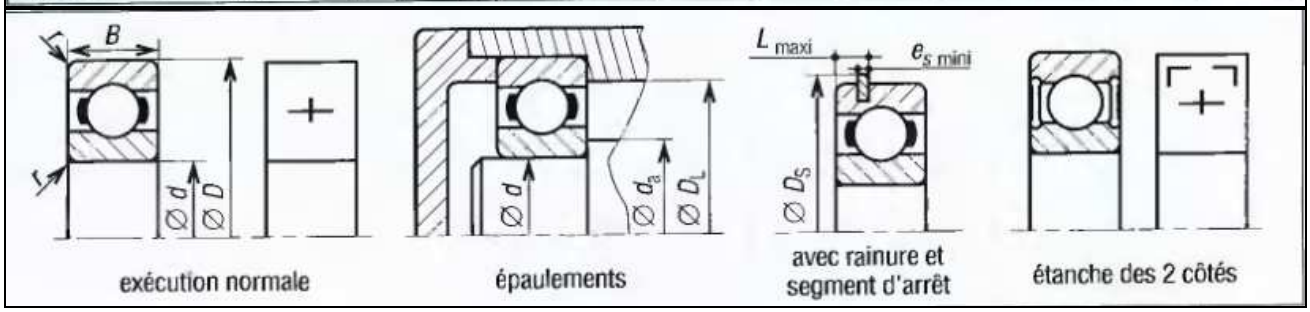
roulements à rotules

Roulements à une rangée de billes et à contact radial

exécution normale										exécutions particulières 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 côté	des 2 côté	d'un côté	des 2 côtés	D_s	e_s	*L*
3	9	3	0,3	40 000	10			50	20	*	*	*	*			
	10	4	0,3	40 000	02	5,1	7,9	70	25	*	*	*	*			
4	13	5	0,4	38 000	02	5,7	11,4	130	50	*	*	*	*			
	16	5	0,5	36 000	03	6,5	12,5	190	70	*	*	*	*			
5	16	5	0,5	36 000	02	7,1	13,9	190	75	*	*	*	*			
	19	6	0,5	32 000	03	8,0	15,5	245	105	*	*	*	*			
6	19	6	0,5	32 000	02	8,1	16,9	245	105	*	*	*	*			
7	19	6	0,5	30 000	10	9.2	16.9	245	105	*	*	*	*			
	22	7	0,5	30 000	02	10,5	19,8	330	135	*	*	*	*			
8	22	7	0,5	30 000	10	10,5	19,3	330	135	*	*	*	*			

9	24	7	0,5	30 000	10	11,5	21,9	365	165	*	*	*	*			
	26	8	1	28 000	02	13,1	21,9	460	196	*	*	*	*			
10	26	8	0,5	28 000	10	12,8	23,6	460	196	*	*	*	*			
	30	9	1	26 000	02	14,6	25,8	600	265	*	*	*	*	34,7	1,02	3,18
	35	11	1	26 000	03	16,6	29,2	810	345	*	*	*	*	39,7	1,02	3,18
12	28	8	0,5	26 000	10	14,8	25,6	510	240	*	*	*	*			
	32	10	1	24 000	02	16,5	27,9	690	310	*	*	*	*	36,7	1,02	3,18
	37	12	1,5	20 000	03	18,1	31,3	970	420	*	*	*	*	41,3	1,02	3,18
15	32	9	0,5	23 000	10	18,3	29,1	560	285	*	*	*	*	36,7	1,02	3,18
	35	11	1	20 000	02	19,6	31,0	770	375	*	*	*	*	39,7	1,02	3,18
	42	13	1,5	18 000	03	21,2	36,1	1 130	540	*	*	*	*	46,3	1,02	3,18
17	35	10	0,5	22 000	10	20,7	31,7	600	325	*	*	*	*	39,7	1,02	3,18
	40	12	1	18 000	02	22,4	35,0	960	475	*	*	*	*	44,6	1,02	3,18
	47	14	1,5	16 000	03	24,5	40,3	1 350	660	*	*	*	*	52,7	1,02	3,58
	62	17	2	12 000	04	30,3	48,7	2 270	1 080	*	*			67,7	1,60	4,98
20	42	12	0,5	18 000	10	25,1	37,1	940	500	*	*	*	*	46,3	1,02	3,18
	47	14	1,5	15 000	02	26,2	41,1	1 280	660	*	*	*	*	52,7	1,02	3,58
	52	15	2	14 000	03	27,9	44,5	1 590	790	*	*	*	*	57,9	1,02	3,58
	72	19	2	10 000	04	37,4	69,6	2 950	1 550	*	*			78,6	1,60	4,98
25	47	12	0,5	16 000	10	30,1	42,1	1 010	590	*	*	*	*	52,7	1,02	3,18
	52	15	1,5	14 000	02	31,4	46,3	1 400	790	*	*	*	*	57,9	1,02	3,58
	62	17	2	12 000	03	34,9	53,1	2 370	1 220	*	*	*	*	67,7	1,60	4,98
	80	21	2,5	9 000	04	42,1	66,3	3 600	1 930	*	*			86,6	1,60	4,98
30	55	13	0,5	13 000	10	36,2	48,8	1 260	820	*	*	*	*	60,7	1,02	3,18
	62	16	1,5	10 000	02	38,0	54,6	1 950	1 130	*	*	*	*	67,7	1,60	4,98
	72	19	2	9 500	03	41,7	62,3	2 800	1 580	*	*	*	*	78,6	1,60	4,98
	90	23	2,5	8 000	04	47,0	73,0	4 350	2 380	*	*			96,5	2,36	5,74
35	62	14	0,5	11 000	10	41,2	56,2	1 600	1 030	*	*	*	*	67,7	1,60	3,78
	72	17	2	9 100	02	43,8	63,7	2 550	1 530	*	*	*	*	78,6	1,60	4,98
	80	21	2,5	8 500	03	46,4	68,4	3 350	1 910	*	*	*	*	86,6	1,60	4,98
	100	25	2,5	6 700	04	53,1	81,9	5 500	3 100	*	*			106,5	2,36	5,74
40	68	15	0,5	10 000	10	46,5	61,9	1 740	1 150	*	*	*	*	74,6	1,60	4,19
	80	18	2	8 500	02	49,8	70,7	2 900	1 790	*	*	*	*	86,6	1,60	4,98
	90	23	2,5	7 500	03	52,9	77,6	4 050	2 390	*	*	*	*	96,5	2,36	5,74
	110	27	3	6 300	04	59,6	90,4	6 400	3 650	*	*			116,6	2,36	5,74

exécution normale										exécutions particulières 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
45	75	16	1	9 000	10	52,3	68,1	2 100	1 520	*	*	*	*	81,6	1,60	4,19
	85	19	2	8 000	02	54,4	76,6	3 250	2 050	*	*	*	*	91,6	1,60	4,98
	100	25	2,5	6 700	03	59,2	86,7	5 300	3 150	*	*	*	*	106,5	2,36	5,74
	120	29	3	5 600	04	66,2	99,8	7 700	4 500	*	*			129,7	2,72	6,88
50	80	16	1	8 500	10	57,3	73,1	2 180	1 660	*	*	*	*	86,6	1,60	4,19
	90	20	2	7 500	02	59,4	81,1	3 500	2 320	*	*	*	*	96,5	2,36	5,74
	110	27	3	6 000	03	65,8	95,1	6 200	3 800	*	*	*	*	116,6	2,36	5,74
	130	31	3,5	5 000	04	72,2	107,8	9 200	5 400	*	*			139,7	2,72	6,88
55	90	18	1	7 500	10	63,3	82,5	2 850	2 130	*	*	*	*	96,5	2,36	5,33
	100	21	2,5	6 700	02	65,9	89,6	4 350	2 900	*	*	*	*	106,5	2,36	5,74
	120	29	3	5 300	03	72,1	103,4	7 200	4 500	*	*	*	*	129,7	2,72	6,88
	140	33	3,5	4 800	04	76,9	118,1	10 000	6 200	*	*			149,7	2,72	7,72
60	95	18	1	7 000	10	68,3	87,5	2 950	2 320	*	*	*	*	101,6	2,36	5,33
	110	22	2,5	6 000	02	70,9	98,7	5 200	3 600	*	*	*	*	116,6	2,36	5,74
	130	31	3	5 000	03	78,7	111,8	8 200	5 200	*	*	*	*	139,7	2,72	6,88
	150	35	3,5	4 300	04	84,0	125,5	10 900	7 000	*	*			159,7	2,72	7,72
65	100	18	1	6 700	10	73,3	92,5	3 050	2 500	*	*	*	*	106,5	2,36	5,33
	120	23	2,5	5 300	02	78,1	106,7	5 700	4 000	*	*	*	*	129,7	2,72	6,88
	140	33	3,5	4 600	03	85,2	120,3	9 300	6 000	*	*	*	*	149,7	2,72	7,72
	160	37	3,5	4 000	04	90,0	134,0	11 800	7 900	*	*			169,7	2,72	7,72
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	*	*	*	*	182,8	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	*	*					
90	140	24	1,5	4 500	10	102,9	127,9	5 800	4 950	*	*	*	*	149,7	2,72	6,53
	160	30	3	4 000	02	107,1	142,5	9 600	7 100	*	*	*	*	169,7	2,72	7,72
	190	43	4	3 400	03	117,8	163,0	14 300	10 700	*	*	*	*	202,9	3,00	8,79
	225	54	5	2 800	04			19 300	16 300	*	*					

e_s est une cote mini (e_s maxi = e_s+ 0,1 mm), D_s et L sont des cotes maxi