



RAPPORT DE PROJET DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du

Diplôme du Master Sciences et Techniques

Spécialité : Génie Mécanique et Productique

Option : Ingénierie Mécanique

Thème :

AMELIORATION DE LA MAINTENANCE DES POMPES CENTRIFUGES ET CONCEPTION ANALYTIQUE D'UN CHÂSSIS

Présenté par :

- ❖ **Mr. Mohamed-Amine TOUMI**
- ❖ **Mr. Youssef AIT-IJJA**

Encadré par :

- ❖ **Mr. El Barkany Abdellah**, Professeur département Génie Mécanique, FST Fès
- ❖ **Mr. Souhli Noureddine**, Encadrant de l'OCP, Jorf lasfar
- ❖ **Mr. Grimah Yahya**, Encadrant de l'OCP, Jorf lasfar

Effectué à : Office Chérifien des Phosphates (OCP) - Jorf Lasfar

Soutenu le : 16/06/2017

Devant le jury :

- ❖ Mr. Abdellah El Barkany Faculté des Sciences et Technique de Fès
- ❖ Mr. Ahmed El Khalfi Faculté des Sciences et Technique de Fès
- ❖ Mr. Mohammed El Majdoubi Faculté des Sciences et Technique de Fès
- ❖ Mr. Noureddine Souhli OCP Jorf Lasfar
- ❖ Mr. Yahya Grimah OCP Jorf Lasfar

Année universitaire 2016/2017

AVANT-PROPOS

Au Maroc, l'industrie connaît une mutation considérable. La privatisation, le libéralisme commercial avec les accords de l'OMC, la disparition des monopoles et la mondialisation des échanges font que l'industrie marocaine doit faire front à une concurrence accrue, et doit de ce fait améliorer la qualité de ses produits et de ses services.

Chaque entreprise doit être évolutive et compétitive pour garantir sa continuité. Les besoins en acide phosphorique au Maroc ne cessent d'augmenter. Il en résulte que l'OCP pour faire face à cette demande croissante a entamé un programme d'investissement visant à augmenter et diversifier son parc de production.

Depuis 1986, l'OCP a effectué une réorganisation de sa structure afin d'être contemporaine. Dans ce cadre, l'OCP a entrepris une politique de perfectionnement des compétences de ces agents et d'adaptation entre les postes et leurs occupants. Pour mettre en œuvre ces objectifs, les agents profitent d'un vaste programme de formation tout au long de leurs parcours professionnels.

L'élaboration de ce rapport s'inscrit dans l'esprit de la mise en application des acquis de la formation de développement et d'accompagnement à l'évolution de nos connaissances pratiques dans le marché d'emploi.

DÉDICACES

❖ **A mes parents**

Merci, pour votre amour et vos sacrifices tout au long de mon parcours et pour le courage et la volonté que vous m'avez inculqués.
Que DIEU vous garde pour moi et vous donne une vie pleine de santé.

❖ **A mes chers frères HOUSSAM , NEZAR , SOUFIAN**

Aucun mot ne pourra décrire vos dévouement et vos sacrifices.

❖ **A toute la famille TOUMI.**

❖ **A tous mes amis sans exception**

Pour tous les moments inoubliables que j'ai passés avec vous.

❖ **A tous mes chers collègues de FST Fes.**

❖ **A tous ceux qui m'aiment.**

Je dédie ce travail.

AMINE

❖ **A mes parents**

Merci, pour votre amour et vos sacrifices tout au long de mon parcours et pour le courage et la volonté que vous m'avez inculqués.
Que DIEU vous garde pour moi et vous donne une vie pleine de santé.

❖ **A mes chers frères ZAKARIA , BILAL , SARA**

Aucun mot ne pourra décrire vos dévouement et vos sacrifices.

❖ **A toute la famille AIT-IJJA.**

❖ **A tous mes amis sans exception**

Pour tous les moments inoubliables que j'ai passés avec vous.

❖ **A tous mes chers collègues de FST Fes.**

❖ **A tous ceux qui m'aiment.**

Je dédie ce travail.

YOUSSEF

REMERCIEMENTS

Nous tenons à travers ce projet, à exprimer nos sincères remerciements aux nombreuses personnes qui nous ont contribuées à l'aboutissement de ce présent travail et plus particulièrement :

- ❖ Monsieur **RAMDANI** : Directeur de site industriel JORF LASFAR
- ❖ Monsieur **IGOURSAM** : Chef de Division **IDJ/GM/M**
- ❖ Monsieur **CHEKROUN** : Chef de Département **IDJ/GM/M**

Nous tenons à exprimer nos profondes gratitude ainsi que toutes nos reconnaissances à nos encadrants **Mr. NOUREDDINE SOULHI, Mr. YAHYA GRIMAH et Pr. ABDELLAH EL BARKANY** qui nous ont fait bénéficier de leurs savoir-faire, de leurs conseils perceptibles, de leurs disponibilités et pour l'intérêt manifeste qu'ils ont porté à ce projet.

Nos vifs remerciements vont à toutes les personnes de l'usine **MAROC PHOSPHORE JORF LASFAR III ET IV** qui sont tracassées d'améliorer et orner nos connaissances grâce à leurs efforts, leurs recommandations et leurs conseils.

Nous tenons également à exprimer nos respects et remerciements à nos professeurs du département **Génie Mécanique** de la Faculté des Sciences et Techniques de Fès subséquemment qu'aux membres du jury pour avoir accepté de juger notre travail.

Enfin, que tous ceux et celles qui ont contribués de près ou de loin à l'accomplissement de ce travail trouvent l'expression de nos remerciements les plus chaleureux.

PROGRAMME DU STAGE

✂ **Noms** : Toumi & Ait-ijja

✂ **Prénoms** : Mohamed-amine & Youssef

✂ **Spécialité** : Génie Mécanique et Productique

✂ **Statut** : Elèves Ingénieurs de la Faculté des Sciences et Techniques – Fès Saïss

✂ **Parrain de stage** : Mr. Soulhi Noureddine

Première partie

✂ Tournée d'information dans les ateliers de la maintenance centralisée.

Deuxième partie

✂ Dans le cadre de la mise en place de l'OPS (OCP Production System), il nous est demandé de :

1. Analyser globalement les prestations de révision des pompes au sein de la section ajustage montage mécanique des ACX (Ateliers Centraux).
2. Analyser les temps de révision des pompes centrifuges sur une période significative, et faire ressortir les pertes.
3. Analyser les processus de révision de ces pompes et faire ressortir les améliorations à y apporter.
4. Faire une étude de montage des différents types des garnitures mécaniques et proposer un standard de montage.
5. Elaborer une nouvelle version de la procédure de révision avec les précautions et standard des temps correspondant.
6. Elaborer un recueil des outillages et moyens à mettre à disposition pour sécuriser, optimiser et fiabiliser ces révisions.

RÉSUMÉ

Les ateliers centraux ont pour vocation la réalisation des prestations mécaniques afin de satisfaire les besoins de toutes les entités de la direction des industries chimiques de Jorf Lasfar, principalement en matière de révision des équipements mécaniques, de chaudronnerie et usinage.

En premier lieu, il est nécessaire de faire un portrait de la politique et la procédure de la maintenance régulière, pour pouvoir concevoir les états et les performances récentes, et de faire une étude historique et statistique sur une année de la révision des pompes centrifuges, pour savoir les principales pompes révisées, et ensuite d'analyser leurs sûretés de fonctionnement ainsi d'extraire les pertes des temps de révision.

Deuxièmement, nous avons besoin d'analyser les processus de révision des pompes afin de les améliorer en meilleur état, ainsi de faire une étude de montage des différents types des garnitures mécaniques en proposant un standard de montage.

Troisièmement, vu la rénovation des modes opératoires pour la révision des pompes , il nous a été demandé d'élaborer une nouvelle version des modes opératoires des pompes les plus révisés, pour cela il fallait tout d'abord faire une étude technique de chaque pompe , et ensuite assister aux révisions puis enfin élaborer ces modes en se basant sur l'ancienne standard.

La dernière partie est consacrée à l'élaboration d'un recueil d'outillages et moyen à mettre à disposition pour sécuriser, optimiser et fiabiliser ces révisions.

MOHAMED-AMINE TOUMI & YOUSSEF AIT-IJJA

ABSTRACT

The Central workshops have for vocation performing mechanical services to meet the needs of all entities in the direction of chemical industries of Jorf Lasfar, mainly in terms of revision of mechanical equipment, boiler making and machining.

In the first place, it is necessary to do a portrait of the policy and the procedure of the regular maintenance, in order to design the States and recent performance, and to make a historical and statistical study on a year of revision of centrifugal pumps, to see the revised main pumps, and then analyze their security of operation thus to extract the time of revision.

Secondly, we need to analyze the process of revision of the pumps in order to improve them in better shape, so to make a study of mounting of different types of mechanical seals by offering a standard of editing.

Third, saw the renovation of the procedures for the revision of the pumps, we were asked to develop a new version of the revised procedures of pumps, for that you first do a technical study of each pump, then attend the revisions, and then finally to develop these modes based on the old standard.

The last part is devoted to the development of a collection of tools and means to make available to secure, optimize and reliability of these revisions.

TABLE DES MATIÈRES

Avant – propos	1
Dédicaces	2
Remerciements	3
Programme du stage	4
Résumé	5
Abstract	6
Table des matières	7
Liste des figures	10
Liste des tableaux	13
Liste des abréviations	15
Introduction générale	16
Gestion Temporelle du Projet	17
CHAPITRE I : PRÉSENTATION DE L'ORGANISME ET DU SERVICE D'ACCUEIL	18
I.1. Groupe Chérifien des Phosphates (OCP).....	19
I.1.1. Activité	19
I.1.2. Organisation.....	19
I.2. Entreprise d'accueil : Maroc Phosphore III et IV	21
I.2.1 Atelier Sulfurique	21
I.2.2 Atelier des utilités	22
I.2.3 Atelier Phosphorique	22
I.2.4 Atelier des Engrais.....	22
I.2.5 Atelier de Fertilisants.....	22
I.3. Service entretiens centralisés	23
I.3.1. Mission	23
I.3.2. Organisation.....	24
CHAPITRE II : POLITIQUES DE LA MAINTENANCE AU SEIN DE L'OCP	28
II.1. La centralisation de la maintenance.....	29
II.2. Les services centralisés.....	29
II.3. Politique de maintenance	30
II.3.1. Étapes d'approbation de la demande d'intervention	30
II.3.2. Logigramme de maintenance	31
II.4. Méthodes de maintenance	32
II.4.1. Révision.....	32
II.4.2. Extraction	32
II.5. Contrôle qualité	32
CHAPITRE III : ANALYSE GLOBALE DES PRESTATIONS ET LES TEMPS DE RÉVISION DES POMPES CENTRIFUGES	33
III.1. Etude Statistique des prestations de révision des pompes centrifuges.....	34
III.1.1. Détermination des principaux types de pompes révisées	34
III.1.2. Répartition des pompes LC.....	36
III.2. Sûreté de fonctionnement des pompes révisées	38

III.2.1.Introduction.....	38
III.2.2.Fiabilité des pompes	39
III.2.2.1.Définition.....	39
III.2.2.2.Calcul des grandeurs fiabilistes	39
III.2.3.Maintenabilité des pompes	49
III.2.3.1.Définition.....	49
III.2.3.2.Caractéristique de la maintenabilité	49
III.2.3.3.Calcul de la maintenabilité	50
III.2.4.Disponibilité des pompes	52
III.2.4.1.Définition.....	52
III.2.4.2.Calcul de la Disponibilité	52
III.3. Étude des temps de révision des pompes centrifuges.....	53
III.3.1.Analyse temporaire de révision des pompes	53
III.3.2. Réalisation d'un diagramme 5M « Ishikawa ».....	56
III.3.3. Conclusion	58
CHAPITRE IV : ANALYSE ET AMÉLIORATION DES PROCESSUS DE RÉVISION DES POMPES CENTRIFUGES	59
IV.1. Description détaillée de principales pompes révisées.....	60
IV.1.1. Description des pompes LC	60
IV.1.2. Description des pompes Sulzer.....	62
IV.1.3. Description des pompes Ensival	63
IV.1.4. Description des pompes Puisard.....	63
IV.2.Analyse des processus de révision des principales pompes révisées.....	64
IV.2.1. Processus de révision des pompes	64
IV.2.2. Analyse révisionnelle.....	67
IV.3.Etude améliorative concernant la révision des pompes	68
IV.3.1. Etude conceptuelle du châssis	71
IV.3.1.1. Identification du concept	71
IV.3.1.2. Analyse fonctionnelle.....	71
IV.3.2. Analyse structurelle	72
IV.3.2.1. Analyse statique	73
IV.3.2.1.1. Exposition de la problématique	73
IV.3.2.1.2. Données du problème	74
IV.3.2.1.3. Résultats anticipés.....	80
IV.3.2.1.4. Planification du modèle numérique	81
IV.3.2.1.5. Modélisation	85
IV.3.2.1.6. Résultats Numériques	86
IV.3.2.1.7. Etude de convergence	86
IV.3.2.1.8. Conclusion	88
IV.3.2.2. Analyse de la fatigue	88
IV.3.2.2.1. Objectif	88
IV.3.2.2.2. Propriétés de fatigue du matériau	88
IV.3.2.3. Analyse modal.....	91

IV.3.2.3.1.Objectif	91
IV.3.2.3.2.Principe de calcul	91
IV.3.2.3.3.Modèle géométrique	92
IV.3.2.3.4.Conditions aux limites	93
IV.3.2.3.5.Résultats numériques	93
IV.3.3. Etude conceptuelle du système poulies-courroies	94
IV.3.3.1.Avantages et désavantages	94
IV.3.3.2.Processus de conception du système poulie-courroie	95
IV.3.4. Industrialisation du châssis	96
IV.3.5. L'achat de la courroie	102
IV.4. Conclusion	102
CHAPITRE V : ÉTUDE ET PROPOSITION D'UN STANDARD DE MONTAGE DES GARNITURES MÉCANIQUES	103
V.1. Introduction	104
V.2. Garnitures	104
V.2.1. Description de la garniture mécanique.....	104
V.2.2. Principe de fonctionnement	105
V.2.3. Comportement matériel.....	106
V.2.4. Avantages et spécifiés	106
V.2.5. Inconvénients	106
V.3. Instructions de montages généraux pour les garnitures mécaniques.....	107
V.3.1. Différentes types d'installation des garnitures mécaniques	107
V.3.2. Elaboration d'un standard de montage des garnitures mécaniques	113
V.4. Conclusion.....	116
CHAPITRE VI : ÉLABORATION D'UNE NOUVELLE PROCÉDURE DE RÉVISION DES POMPES CENTRIFUGES	117
VI.1. Introduction.....	118
VI.2. Élaboration du modèle des modes opératoires.....	118
VI.3. Mode opératoire de révision des pompes.....	121
VI.4. Élaboration d'un recueil des outillages	129
Conclusion générale	130
ANNEXES	131
ANNEXE I : Valeurs des constantes a et b selon β	132
ANNEXE II : Les dessins de définitions	133
ANNEXE III : Simulation numériques et statique du châssis	141
ANNEXE IV : Simulation numériques et dynamique du châssis	147
ANNEXE V : Dimensionnement du poulies-courroie	149
ANNEXE VI : Modes opératoires des pompes révisées	153
ANNEXE VII : Recueil des outillages	173
Bibliographie & webographie	176

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 : Interactions entre les différents ateliers de MP III et IV	23
Figure I.2 : Structure d'organisation du service.....	25
Figure II.1 : Service concernés par la centralisation.....	29
Figure II.2 : Logigramme de la maintenance	31
Figure III.1 : Proportions des pompes révisées	35
Figure III.2 : Courbe ABC des pompes LC.....	36
Figure III.3 : Distribution des zones	37
Figure III.4 : Fonction de défaillance F(t) pour pompe LC 450/500.....	41
Figure III.5 : Fonction de défaillance F(t) pour pompe LC 65/310.....	43
Figure III.6 : Fonction de défaillance F(t) pour pompe Ensival.....	45
Figure III.7 : Fonction de défaillance F(t) pour pompe Sulzer.....	46
Figure III.8 : Fonction de défaillance F(t) pour pompe Puisard.....	48
Figure III.9 : Distribution des pompes par Pareto	56
Figure III.10 : Diagramme d'Ishikawa traitant non-respect du temps	57
Figure IV.1 : Palier de la pompe LC	61
Figure IV.2 : Les Garnitures Mécaniques	61
Figure IV.3 : Pompe LC.....	62
Figure IV.4 : Pompe Sulzer	62
Figure IV.5 : Pompe Ensival.....	63
Figure IV.6 : Pompe Puisard.....	64
Figure IV.7 : Schéma descriptive du banc d'essai	70
Figure IV.8 : Conception d'un châssis sous CATIA V5 R21	73
Figure IV.9 : Champs des matériaux	75
Figure IV.10 : Distribution des matériaux	77
Figure IV.11 : Structure simplifié.....	81
Figure IV.12 : Paramètres géométrique du solide	82
Figure IV.13 : Structure importé en ANSYS15-WORKBENCH.....	82
Figure IV.14 : Chargement appliqué sur la structure.....	84
Figure IV.15 : Structure maillée	85
Figure IV.16 : Encastrement des pieds du châssis	85
Figure IV.17 : Zones critiques	87
Figure IV.18 : Evolution des contraintes	87

Figure IV.19 : Courbe de Wöhler de l'acier à haute teneur en carbone	88
Figure IV.20 : Champ de la durée de vie pour l'acier à haute teneur en carbone.....	90
Figure IV.21 : Champ de Cs prédéterminée pour l'acier à haute teneur en carbone	90
Figure IV.22 : Structure maillée	93
Figure IV.23 : Conditions aux limites.....	93
Figure IV.24 : Schéma d'un chalumeau soudeur	99
Figure IV.25 : Soudage à électrode enrobée	100
Figure V.1 : Principe garniture mécanique	105
Figure V.2 : Montage type cartouche avec plaques de réglages	107
Figure V.3 : Montage type cartouche avec cales de réglages	108
Figure V.4 : Montage type base-composantes	110
Figure V.5 : Montage type chemise pincée.....	111
Figure AII.1 : Ensemble de coupe de la pompe LC.....	133
Figure AII.2 : Repères et désignations de la pompe Puisard	135
Figure AII.3 : Ensemble de coupe de la pompe Sulzer et de sa partie de roulements (1)	136
Figure AII.4 : Ensemble de coupe de la pompe Sulzer et de sa partie de roulements (2)	137
Figure AII.5 : Ensemble de coupe de la pompe Ensival.....	139
Figure AIII.1 : Champ des contraintes de l'acier à basse teneur en carbone	141
Figure AIII.2 : Champ des déformations de l'acier à basse teneur en carbone.....	141
Figure AIII.3 : Champ du déplacement total de l'acier à basse teneur en carbone	141
Figure AIII.4 : Champ du coefficient de sécurité de l'acier à basse teneur en carbone	142
Figure AIII.5 : Champ des contraintes de l'acier à teneur moyenne en carbone	142
Figure AIII.6 : Champ des déformations de l'acier à teneur moyenne en carbone	142
Figure AIII.7 : Champ du déplacement total de l'acier à teneur moyenne en carbone	143
Figure AIII.8 : Champ du coefficient de sécurité de l'acier à teneur moyenne en carbone .	143
Figure AIII.9 : Champ des contraintes de l'acier à haute teneur en carbone	143
Figure AIII.10 : Champ des déformations de l'acier à haute teneur en carbone.....	144
Figure AIII.11 : Champ du déplacement total de l'acier à haute teneur en carbone	144
Figure AIII.12 : Champ du coefficient de sécurité de l'acier à haute teneur en carbone	144
Figure AIII.13 : Champ des contraintes de la fonte de fer ductile	145
Figure AIII.14 : Champ des déformations de la fonte de fer ductile.....	145
Figure AIII.15 : Champ du déplacement total de la fonte de fer ductile.....	145
Figure AIII.16 : Champ du coefficient de sécurité de la fonte de fer ductile.....	146

Figure AIV.1 : 1^{ère} Mode	147
Figure AIV.2 : 2^{ème} Mode	147
Figure AIV.3 : 3^{ème} Mode	147
Figure AIV.4 : 4^{ème} Mode	148
Figure AIV.5 : 5^{ème} Mode	148
Figure AIV.6 : 6^{ème} Mode	148
Figure AV.1 : Facteur K_1 appliqué à l'angle d'enroulement	151
Figure AVII.1 : Quelques photos d'EPI	175

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1 : Filiales de l'OCP	19
Tableau I.2 : Organigramme OCP	20
Tableau III.1 : Types des pompes révisées	34
Tableau III.2 : Variantes LC révisées.....	36
Tableau III.3 : Répartition des zones par Pareto	37
Tableau III.4 : TBF des pompes LC 450/500.....	40
Tableau III.5 : Calcul statistique concerne LC 450/500.....	41
Tableau III.6 : TBF des pompes LC 65/310.....	42
Tableau III.7 : Calcul statistique concerne LC 65/310.....	43
Tableau III.8 : TBF des pompes Ensival.....	44
Tableau III.9 : TBF des pompes Ensival.....	44
Tableau III.10 : TBF des pompes Sulzer.....	46
Tableau III.11 : Calcul statistique concerne Sulzer.....	46
Tableau III.12 : TBF des pompes Puisard.....	47
Tableau III.13 : Calcul statistique concerne Puisard.....	48
Tableau III.14 : Récapitulatif des résultats.....	49
Tableau III.15 : Interprétation des résultats	49
Tableau III.16 : TTR des pompes LC 450/500	50
Tableau III.17 : TTR des pompes LC 65/310	50
Tableau III.18 : TTR des pompes Ensival.....	51
Tableau III.19 : TTR des pompes Sulzer	51
Tableau III.20 : TTR des pompes Puisard.....	52
Tableau III.21 : Les pertes du temps de révision des pompes centrifuges.....	53
Tableau III.22 : Regroupement des pompes par type.....	55
Tableau IV.1 : Processus révisionnelle des pompes	65
Tableau IV.2 : Temps de révision des principales pompes révisées	67
Tableau IV.3 : Taux de satisfaction des 2 dernières années	68
Tableau IV.4 : Significations fonctionnels	72
Tableau IV.5 : Calcul statistique associé aux propriétés des matériaux.....	76
Tableau IV.6 : Propriétés mécaniques des matériaux.....	78
Tableau IV.7 : Coefficients de sécurité	86
Tableau IV.8 : Tableau contrainte alternée-Cycles	89

Tableau IV.9 : Propriétés de la fatigue du matériau	89
Tableau IV.10 : Les fréquences naturelles de la structure	94
Tableau IV.11 : Décomposition structurelle du châssis	98
Tableau IV.12 : Composition du coût d'une unité d'œuvre	101
Tableau V.1 : Outillages utilisés pour le montage des garnitures mécaniques.....	116
Tableau AI.1 : Constantes A et B.....	132
Tableau AII.1 : Repères et désignations de la pompe LC.....	134
Tableau AII.2 : Repères et désignations de la pompe Sulzer	138
Tableau AII.3 : Repères et désignations de la pompe Ensival	140
Tableau AV.1 : Facteur de service K_s	149
Tableau AV.2 : Dimensions des courroies trapézoïdales classiques et SI classiques.....	150
Tableau AV.3 : Longueur primitive L_p et facteur de correction K_2 , pour les courroies SI classiques.....	150
Tableau AV.4 : Constantes utilisées pour calculer la puissance brute des courroies P_r	151
Tableau AV.5 : Facteurs appliqués de correction K_A	151
Tableau AV.6 : Les prix des courroies trapézoïdales	152
Tableau AVII.6 : Quelques photos d'outillages spécifiques	173

LISTE DES ABRÉVIATIONS

OCP : Office Chérifien de Phosphates
OMC : Organisation Mondial du Commerce
ACP : Acide Phosphorique
MP : Maroc Phosphore
DAP : Di Ammonium Phosphates
TSP : Triple Super Phosphates
MAP : Mono Ammonium Phosphates
IDJ/GM/M : Direction Industrielle Jorf Lasfar / Moyens Généraux / Maintenance
MO : Main d'œuvre
AMM : Ajustage Montage Mécanique
ACX : Ateliers Centraux
DI : Demande d'Intervention
OT : Ordre de Travail
PCJ/PA : Pôle Chimie Jorf lasfar/ Production Acide phosphorique
PCJ/PE : Pôle Chimie Jorf lasfar/ Production des Engrais
PCJ/PI : Pôle Chimie Jorf lasfar/ Production Intermédiaire
PCJ/PN : Pôle Chimie Jorf lasfar/ Production infrastructure
PCJ/LM : Pôle Chimie Jorf lasfar/ Logistique & Matériel
PCJ/LA : Pôle Chimie Jorf lasfar/ Logistique Achat
EMAPHOS : Euro Maroc Phosphore
IMACID : Indo Maroc Acide
PMP : Pakistan Maroc Phosphore
PDR : Pièces De Rechange
CEM : Chef d'Equipe Mécanique
EPI : Equipements de Protection Individuels
CIJ : Chimie Infrastructure Jorf lasfar
UO : Unité d'œuvre
TBF : Temps de Bon Fonctionnement
TTR : Temps Techniques de Réparation
Do : Disponibilité opérationnelle
Da : Disponibilité asymptotique
Cs : Coefficient de sécurité
HS : Heures Supplémentaires

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Vue l'importance des stages pratiques au cours du cursus d'un ingénieur, et afin de livrer des lauréats opérationnels et prêts à intégrer le domaine industriel, la faculté des sciences et techniques de Fès, nous accorde l'opportunité d'effectuer, en plus des visites des sites industriels, des stages au sein des entreprises manufacturières, pour affuter la formation pluridisciplinaire acquise au département Génie Mécanique, et mettre nos compétences en épreuve.

Dans ce cadre, nous avons effectués avec un immense plaisir un stage de fin d'études au sein du Groupe OCP S.A – Site Jorf Lasfar, pour une durée de quatre mois, durant laquelle nous avons collaborés dans l'optimisation de la maintenance des pompes centrifuges révisés au sein de l'atelier mécanique du service maintenance centralisés.

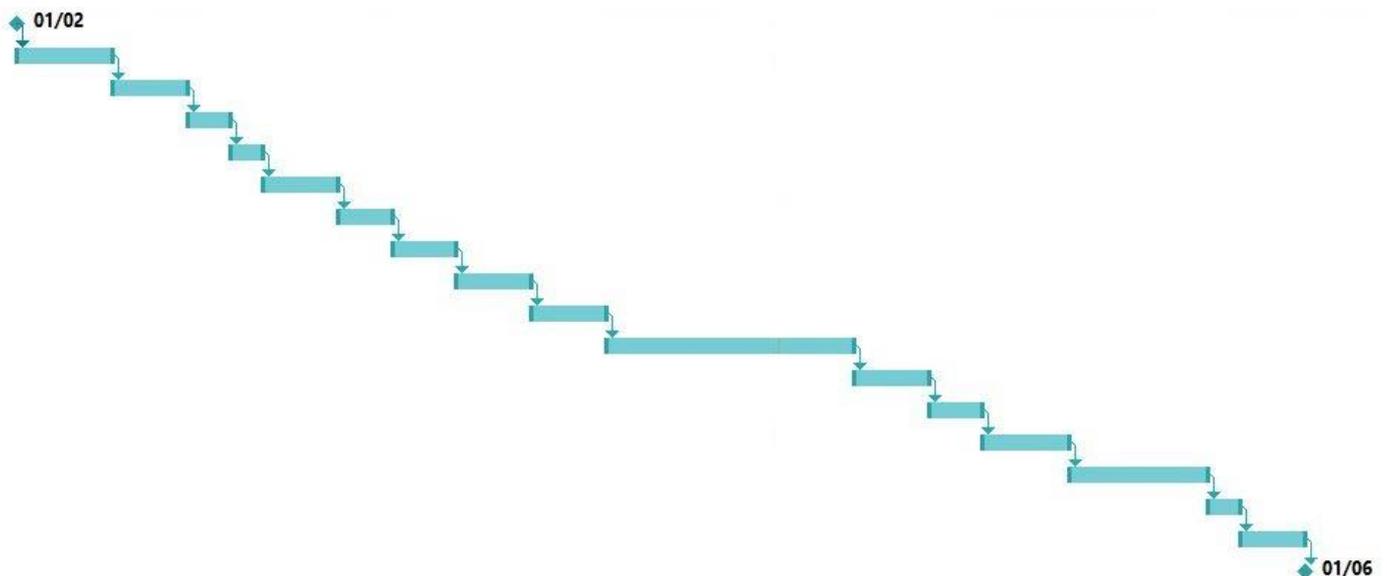
Le présent rapport sera entamé par une laconique présentation de l'entreprise d'accueil, ensuite une analyse globale des prestations et les temps de révision des pompes centrifuges au sein de la section AMM , puis une analyse des processus de révision des pompes en faisant ressortir des améliorations, ensuite une étude de montage des différentes type des garnitures mécaniques en proposant un standard de montage , et à la fin l'élaboration d'une nouvelle version de la procédure de révision et un recueil des outillages.

GESTION TEMPORELLE DU PROJET

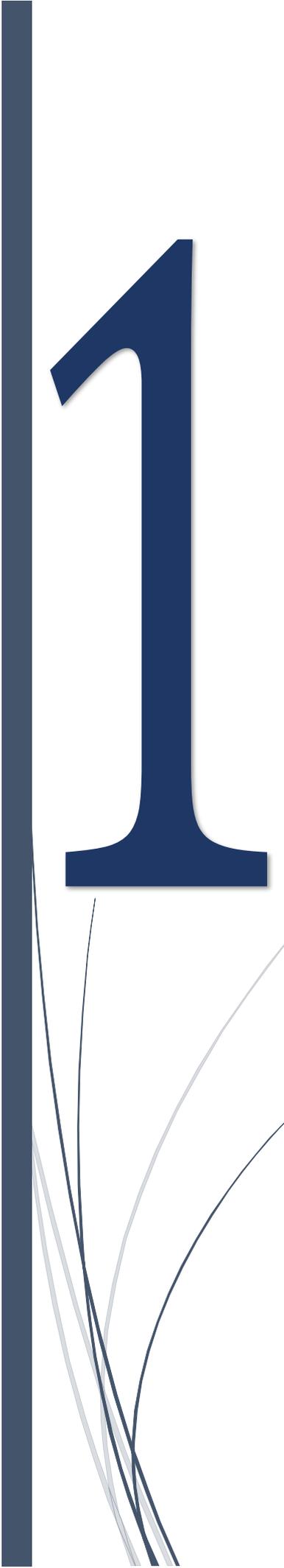
Tout d'abord avant d'entamer n'importe quel travail il faut faire une planification des principaux phases de l'élaboration du projet, et d'estimer les temps nécessaires pour chaque phase, et les ordonner chronologiquement ; ci-dessous le diagramme de Gant de notre projet.

Phases du projet

	Nom de la tâche	Durée	Début	Fin	Prédécesseurs
1	Tournée d'information	7 jours	Mer 01/02/17	Jeu 09/02/17	
2	Collecte des données pour l'étude statistique "Historiques"	5 jours	Ven 10/02/17	Jeu 16/02/17	1
3	Calcul proportionnel de chaque type de pompe révisée	2 jours	Ven 17/02/17	Lun 20/02/17	2
4	Tracer les diagrammes sous Excel des proportions	3 jours	Mar 21/02/17	Jeu 23/02/17	3
5	Calcul paramétrique de sureté de fonctionnement des pompes	5 jours	Ven 24/02/17	Jeu 02/03/17	4
6	Analyse des temps de révision et étude des contraintes qui cause le non-respect du temps	3 jours	Ven 03/03/17	Mar 07/03/17	5
7	Etude technique des principales pompes révisées	4 jours	Mer 08/03/17	Lun 13/03/17	6
8	Assister aux révisions des pompes-Prendre les notes	5 jours	Mar 14/03/17	Lun 20/03/17	7
9	Etude et analyse des processus révisionnelles des pompes	5 jours	Mar 21/03/17	Lun 27/03/17	8
10	Etude conceptuelle du châssis	17 jours	Mar 28/03/17	Mer 19/04/17	9
11	Etude conceptuelle du système poulies-courroie	5 jours	Jeu 20/04/17	Mer 26/04/17	10
12	Industrialisation du châssis et lancement du commande de l'achat du courroie	3 jours	Jeu 27/04/17	Lun 01/05/17	11
13	Etude des différents types de montage des garnitures mécaniques	6 jours	Mar 02/05/17	Mar 09/05/17	12
14	Elaboration de la nouvelle version des modes opératoires	9 jours	Mer 10/05/17	Lun 22/05/17	13
15	Elaboration d'un recueil des outillages	3 jours	Mar 23/05/17	Jeu 25/05/17	14
16	Mise en page et élaboration du rapport	4 jours	Ven 26/05/17	Mer 31/05/17	15



GANT du projet

A thick, dark blue vertical bar runs down the left side of the page. From the bottom of this bar, several thin, light blue lines curve upwards and to the right, creating an abstract, grass-like or reed-like effect.

1

CHAPITRE : PRÉSENTATION DE L'ORGANISME ET DU SERVICE D'ACCUEIL

CHAPITRE I :
PRESENTATION DE L'ORGANISME
ET DU SERVICE D'ACCUEIL

I.1. Office Chérifien des Phosphates (OCP) [Réf. 1]

I.1.1. Activité

L'OCP occupe une place importante tant à l'échelle nationale qu'à l'échelle internationale. En effet, le Maroc est le **3^{ème}** producteur et le **1^{er}** exportateur de phosphate à l'échelle mondiale.

La mission du groupe OCP peut être résumée dans deux points :

- ❖ Extraire le phosphate brut et le traiter pour le commercialiser.
- ❖ Valoriser une partie à la production dans les usines chimiques, soit sous forme d'acide phosphorique, soit sous forme d'engrais.

I.1.2. Organisation

L'OCP est une entreprise semi-publique qui fonctionne comme une société privée, dont le seul actionnaire est l'État marocain. Le directeur générale du groupe est nommé par DAHIR, et le conseil d'administration est présidé par le premier Ministre. Cependant, il bénéficie d'une autonomie dans sa gestion financière entièrement séparé de celle de l'état.

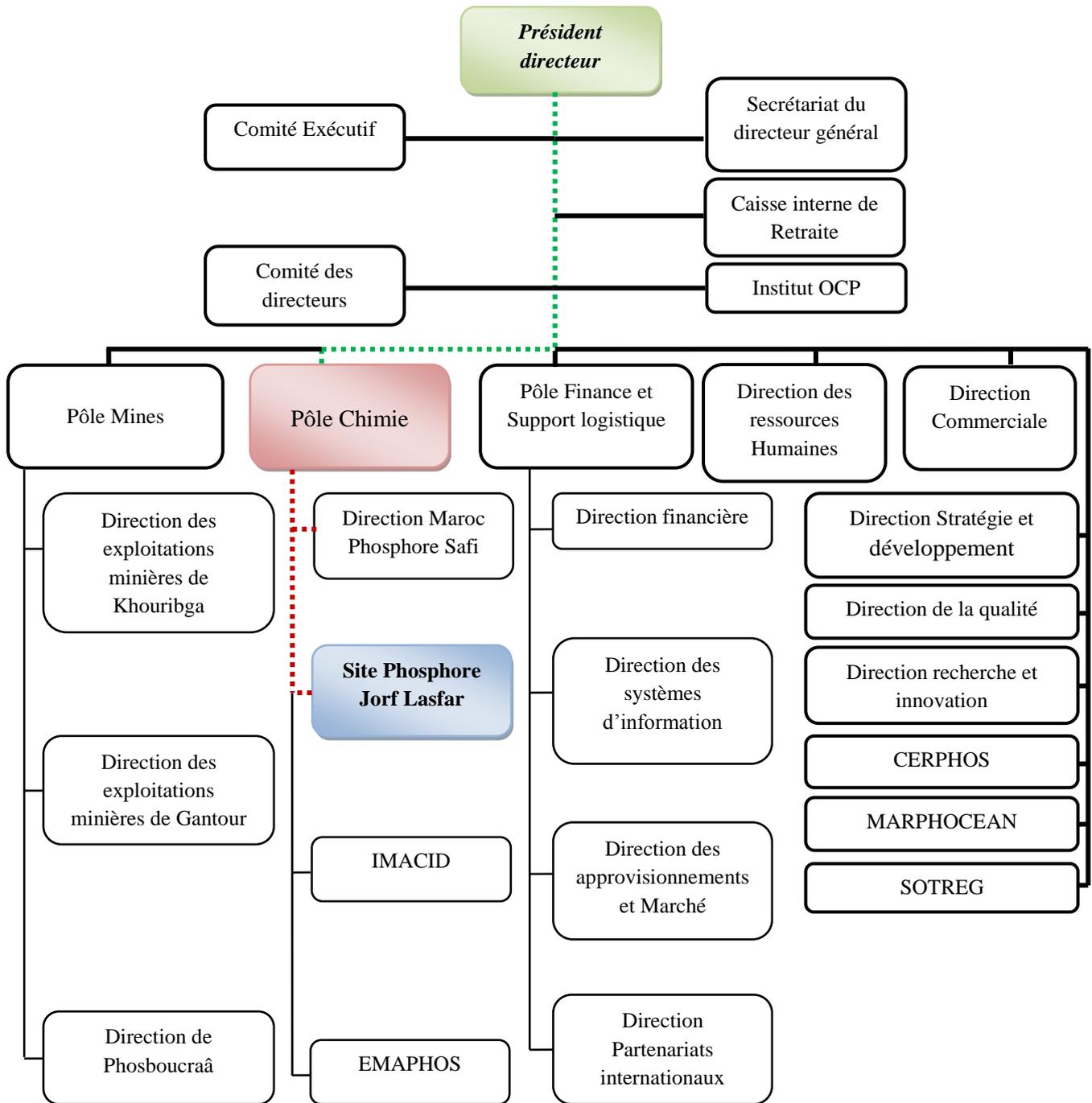
L'Office est inscrit au registre de commerce, et a les mêmes obligations fiscales (**patente, droit de douane, taxes, impôts sur les bénéfices, etc.**) que n'importe qu'elle entreprise privée. Chaque année il établit ses prix de revient, son compte d'exploitation, son bilan et participe au budget de l'état moyennant un versement de dividendes.

- **Filiales :**

Tableau I.1 : Filiales de l'OCP

Filiales	Activités
Maroc Phosphore	La production de l'acide phosphorique et d'engrais à Safi et Jorf Lasfar et leur exploitation
Phosboucraâ	L'extraction, le traitement, le transport et la commercialisation du minerai de phosphate
Marphocéan <i>(société de transport maritime des produits chimiques)</i>	Le transport maritime et les affrètements
SOTREG & SPCR <i>(société des transports régionaux)</i>	Le transport du personnel du groupe OCP
CERPHOS <i>(centre d'études et de recherches des phosphates minéraux)</i>	Recherche spécialisée dans les phosphates et ses produits dérivés

• **Organigramme :**



• **Organigramme du personnel :**

Il est classé selon les fonctions illustrées dans le tableau suivant :

Tableau I.2 : Organigramme OCP

Hors Cadre		Ingénieurs-Médecins-Chefs de service
TAMCA (Technicien Agents de Maîtrise et Cadres Administratifs)	X6	Chef d'atelier
	X5	Sous-chef d'atelier
	X4	Contre maître
	X3	Chef d'équipe

OE (Ouvriers et Employés)	Catégorie 7	Ouvrier professionnel 1 ^{ère} classe
	Catégorie 6	Ouvrier professionnel 2 ^{ème} classe
	Catégorie 5	Ouvrier professionnel
	Catégorie 4	Ouvrier qualifié
	Catégorie 3-2	Ouvrier spécialisé

I.2. Entreprise d'accueil : Maroc Phosphore III et IV [Réf. 1]

Après le Complexe Industriel MAROC PHOSPHORE I et II à Safi, le Groupe OCP a décidé de réaliser le Complexe Industriel MAROC PHOSPHORE III-IV à Jorf Lasfar (CIJ) pour doubler sa capacité de valorisation des phosphates. Ce complexe, qui a démarré en **1986**, dont le nombre d'effectifs atteint aujourd'hui **3000** agent et qui s'étend sur **1700** hectares, a permis de produire en 2016 :

- ❖ 3 millions de tonnes par an d'acide phosphorique P_2O_5 54%.
- ❖ 1,2 millions de tonnes par an d'acide phosphorique P_2O_5 purifié.
- ❖ 2,4 millions de tonnes par an des engrais sous forme de Mono Ammonium Phosphate (MAP), Di Ammonium Phosphate (DAP) et Triple Super Phosphate (TSP).

Nécessitant la transformation de :

- ❖ 8,2 millions de tonnes de phosphate extrait des gisements de Khouribga.
- ❖ 2,6 millions de tonnes de soufre.
- ❖ 0,8 millions de tonnes d'ammoniac.

Maroc Phosphore dispose de 5 principaux ateliers de production :

I.2.1. Atelier Sulfurique

L'atelier de production d'acide sulfurique de *Maroc Phosphore* III – IV Jorf Lasfar est composé de **six unités** de production identiques, de **deux bacs** de stockage de soufre liquide, de **six bacs** de stockage d'acide sulfurique, de **trois stations** de chargement de camions citernes.

L'acide sulfurique produit est destiné aux clients internes, Pôle Industriel Jorf / Production Acide phosphorique (IDJ/PA) pour la production de l'acide phosphorique, Pôle Industriel Jorf / Production Engrais (IDJ/PE) pour la production des engrais, Euro Maroc phosphore (EMAPHOS), Indo Maroc Acide (IMACID) et aux clients externes au pôle industriel Jorf Lasfar.

L'alimentation des clients internes (IDJ/PA, IDJ/PE, EMAPHOS, IMACID) se fait par des tuyauteries. Les clients externes sont desservis par des camions citernes.

I.2.2. Atelier des utilités

Cet atelier alimente les unités de production précitées en **énergie électrique, vapeur, air comprimé, eau alimentaire, eau de mer et air comprimé**. Il comprend :

- ❖ Un centrale thermoélectrique avec trois groupes turboalternateurs de **37MW chacun**.
- ❖ Un réservoir d'eau douce et une station de traitement de **2000 m³/h**.
- ❖ Une station de filtration et de pompage d'eau de mer.
- ❖ Une station de reprise d'eau de mer **60000 m³/h**.
- ❖ Une station de compression d'air.

I.2.3. Atelier Phosphorique

Il comprend :

- ❖ Huit lignes de broyage de phosphate.
- ❖ Huit lignes d'acide phosphorique.
- ❖ 20 échelons de concentration.

I.2.4. Atelier des Engrais

Il se compose de quatre unités de production de Di Ammonium Phosphate (DAP) dont deux peuvent produire du Triple Super Phosphate (TSP), Mono Ammonium Phosphate (MAP).

- ❖ Capacité pour chaque unité en MAP **1700 tonnes / jour / unité**.
- ❖ Capacité pour chaque unité en DAP **1600 tonnes / jour / unité**.
- ❖ Capacité pour chaque unité en TSP **1500 tonnes / jour / unité**.

I.2.5. Atelier de Fertilisants

Il comprend 4 unités de production de MAP et DAP dont deux peuvent produire du TSP.

- ❖ Capacité en MAP : **1200 tonnes / jour / unité**.
- ❖ Capacité en DAP : **1400 tonnes / jour / unité**.
- ❖ Capacité en TSP : **1200 tonnes / jour / unité**.

(Cf. *Figure I.1*)

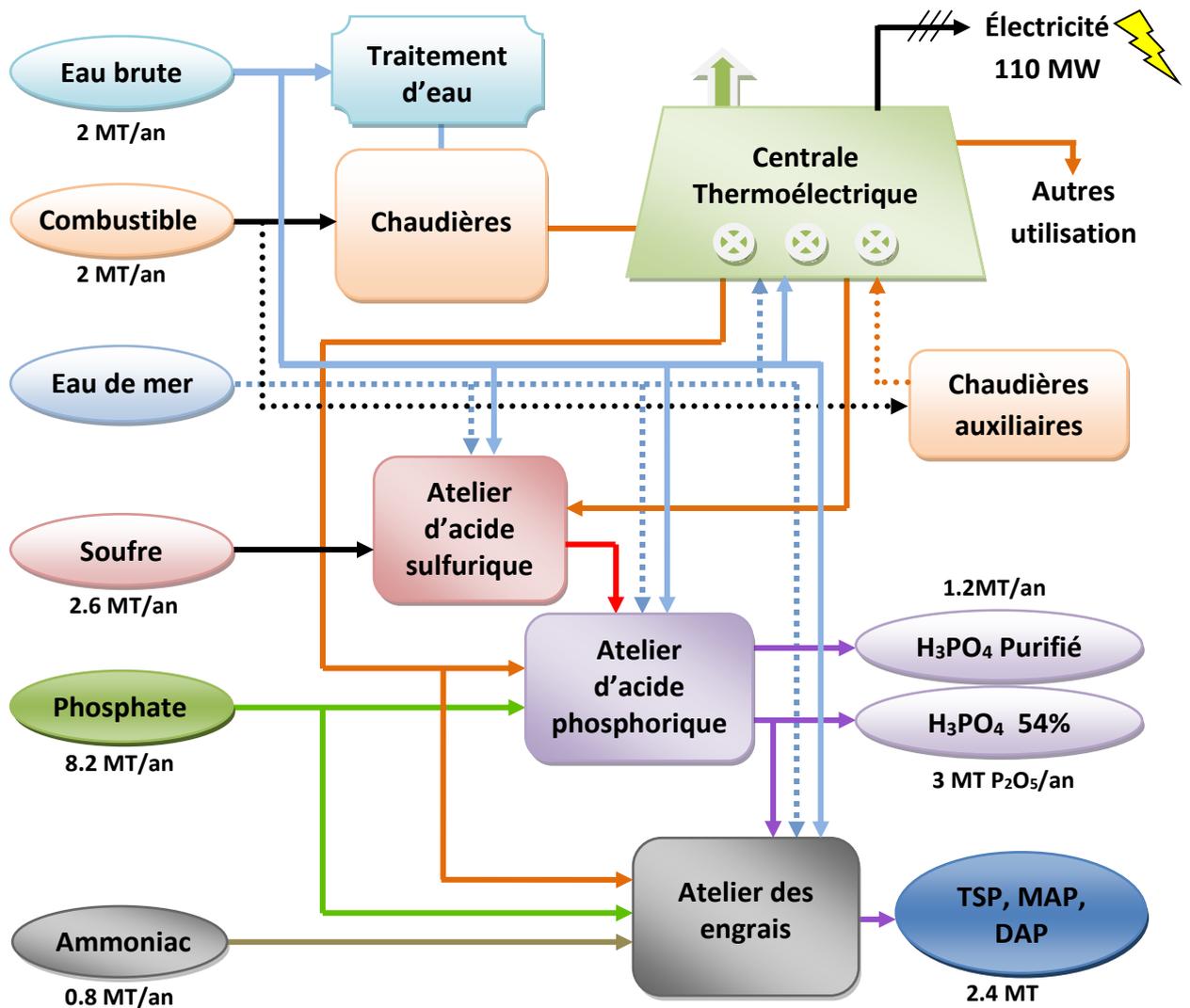


Figure I.1 : Interactions entre les différents ateliers de MP III et IV

I.3. Service entretiens centralisés [Réf. 1]

I.3.1. Mission

Les ateliers centraux sont des ateliers prestataires de service. Ils ont pour vocation principale de répondre aux besoins de toutes les entités du pôle chimique Jorf Lasfar, en matière de révision, d'usinage et de confection.

L'activité des ateliers centraux, dans sa globalité, peut être décomposée en trois rubriques :

- ❖ Travaux de dépannage ou de réparation, quand il s'agit de remettre en état provisoire (**dépannage**), ou définitif (**réparation**), un équipement.

- ❖ Travaux d'amélioration, lorsqu'un équipement présente des défauts de conception par rapport aux contraintes d'exploitation, ou d'intervention lors des opérations de maintenance ou révision.
- ❖ De plus, un autre type d'activité concernant l'aspect préventif et systématique de la maintenance. En effet, pour certains équipements (pompes, réducteurs...), et en particulier pour certains secteurs, les ateliers mécaniques prennent en charge la révision générale de ces équipements et ce pour différents raisons telles que le manque de moyens de manutention ou d'outillages spéciaux ainsi que les surcharges des équipes des secteurs.

I.3.2. Organisation

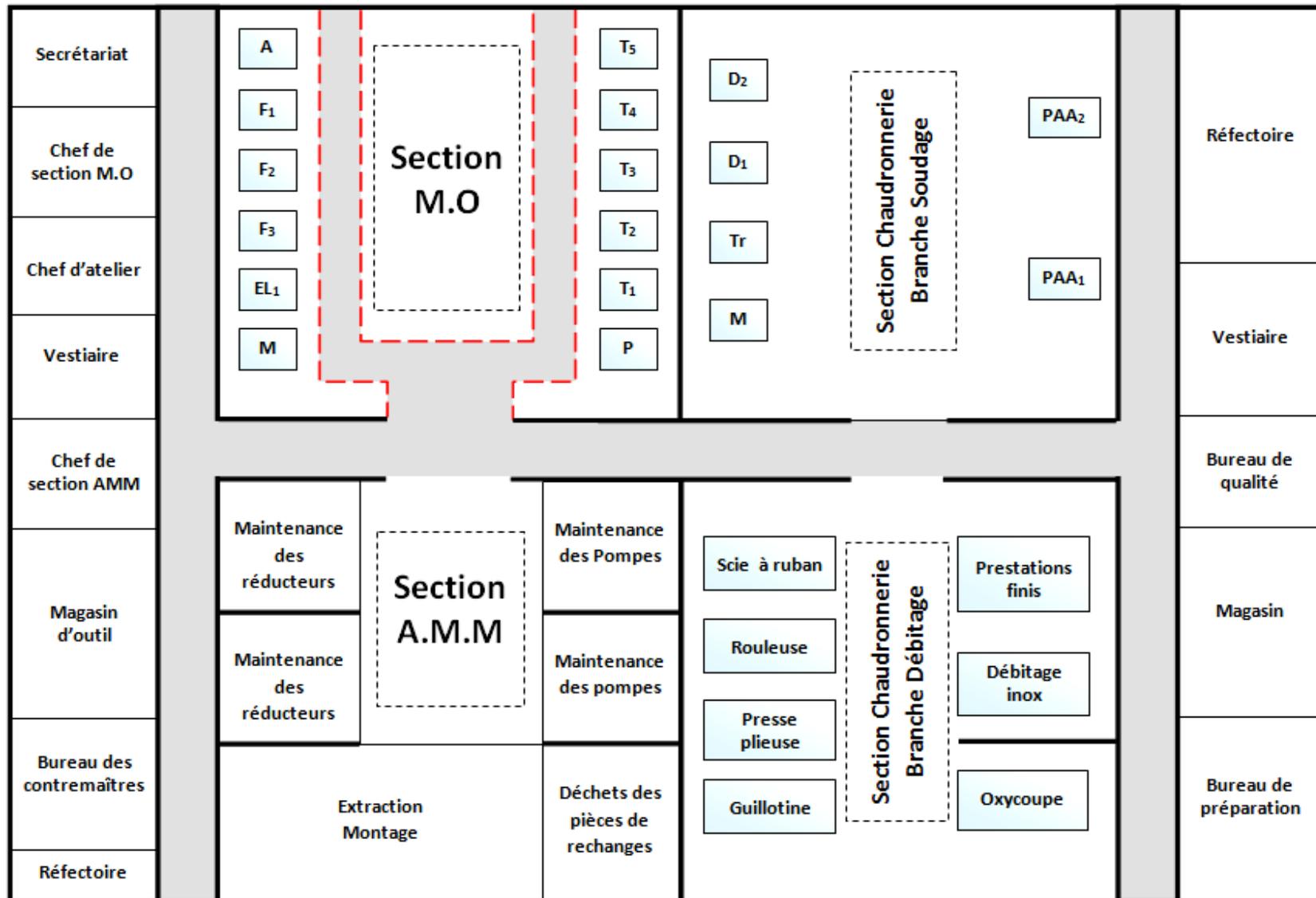


Figure I.2 : Structure d'organisation du service

Ces ateliers sont répartis en trois sections :

✎ **Section Ajustage Montage Mécanique (AMM) :** La vocation principale de cette section est la révision des équipements de production, demandée par les secteurs d'entretien. Les prestations réalisées aux ateliers centraux sont aussi importantes que variées, puisque tous les équipements peuvent y être admis, en fonction des besoins quotidiens des secteurs et des exigences de la production. Les opérateurs de la section AMM disposent d'un éventail d'outillage qui leur permet de réaliser leurs prestations dans des délais raisonnables.

❖ **Moyens humains (2016) :**

- ✓ 03 chefs d'équipe.
- ✓ 11 mécaniciens qualifiés.
- ✓ 04 aides mécaniciens.

❖ **Moyens matériels(2016) :**

- ✓ 02 presses hydrauliques 200T et 60T.
- ✓ 40 établis pour mécaniciens.
- ✓ Caisse à outils individuelle.

✎ **Section Machine-outil :** Les équipes de cette section assurent tous les travaux d'usinage de pièces, soit directement demandées par les secteurs, soit sous forme de bons de travaux internes dans le cas de confection de pièces de rechange.

❖ **Moyens humains(2016) :**

- ✓ 02 chefs d'équipe.
- ✓ 02 fraiseurs.
- ✓ 11 tourneurs.
- ✓ 01 mécanicien pour perçage.

❖ **Moyens matériels(2016) :**

- ✓ 05 tours parallèles.
- ✓ 02 fraiseuses universelles.
- ✓ 01 étau limeur.
- ✓ 01 touret d'affûtage.
- ✓ 01 tour à meuler.
- ✓ 01 perceuse radiale.

✎ **Section Chaudronnerie et Soudage :** Cette section prend en charge tous les travaux de chaudronnerie que ce soit des travaux de remises en état ou de travaux neufs. On peut en distinguer :

- ✓ Les travaux de réparation par les moyens de soudage.
- ✓ Les travaux de rechargement par soudure.
- ✓ Les travaux de confection de matériel neuf.
- ✓ Les travaux de coupe et de préparation pour les autres secteurs.

❖ **Moyens humains (2016) :**

- ✓ 03 chefs d'équipe.
- ✓ 14 soudeurs.
- ✓ 11 chaudronniers.

❖ **Moyens matériels(2016) :**

- ✓ 01 cisaille parallèle.
- ✓ 01 rouleuse croqueuse.
- ✓ 01 presse plieuse.
- ✓ 01 cisaille universelle.
- ✓ 01 touret à meuler.
- ✓ 01 cisaille manuelle.
- ✓ 01 poste arc air.
- ✓ 10 postes de soudage.
- ✓ 01 poste TIG.
- ✓ 02 postes oxycoupeurs.

Le suivi et l'organisation des travaux se fait par l'intermédiaire de plusieurs bureaux, chacun de ces bureaux accomplit des tâches bien déterminées grâce à un personnel compétent :

- ❖ **Bureau de secrétariat :** ce bureau a comme occupation l'assurance de la liaison des ACX avec les autres services et de contrôler le pointage du personnel ainsi que leur gestion.
- ❖ **Le magasin du matériel :** Il est chargé de livrer l'outillage aux agents chargés de l'exécution d'un travail ainsi que l'appareillage de contrôle et la gestion des matériels consommables.
- ❖ **Bureau de méthode ou de préparation :** ce bureau est le moyen de liaison entre le service demandeur et les ateliers centraux. Il reçoit **une demande d'intervention DI** du service client pour l'étudier et déterminer la ou les sections qui vont se charger du travail ainsi que le cumul du temps d'exécution de ce travail et le débitage de la matière demandée.



2

CHAPITRE : POLITIQUES DE LA MAINTENANCE AU SEIN DE L'OCP

CHAPITRE II

POLITIQUES DE LA MAINTENANCE AU SEIN DE L'OCP

En général, la maintenance des équipements (Réducteurs, pompes, coupleurs...etc.), consiste à garantir la disponibilité des **lignes de production**, optimiser **les coûts de maintenance directs et indirects**, améliorer **la qualité du produit**, protéger l'environnement et assurer **la sécurité**. Durant ce chapitre nous présenterons la stratégie et les méthodes de la maintenance actuelle.

II.1. La centralisation de la maintenance [Réf.2]

La maintenance des équipements mécaniques au sein de l'usine *Maroc Phosphore* est centralisée dans les ateliers centraux. Cette centralisation a pour but de réaliser les objectifs généraux, ces avantages sont comme suit :

- ❖ Vision globale de l'état du parc des équipements à gérer.
- ❖ Gestion des indisponibilités et des pièces de rechanges disponibles.
- ❖ Possibilité d'investir dans des matériels coûteux grâce au regroupement.
- ❖ Gestion plus facile et plus souple des moyens en personnels.
- ❖ Rationalisation des moyens matériels et optimisation de leur usage (amortissement plus rapide).
- ❖ Communication simplifiée avec les autres services grâce à sa situation centralisée.
- ❖ Normalisation des méthodes, des procédures et des moyens de communication.
- ❖ Standardisation des méthodes de maintenance.

II.2. Les services centralisés

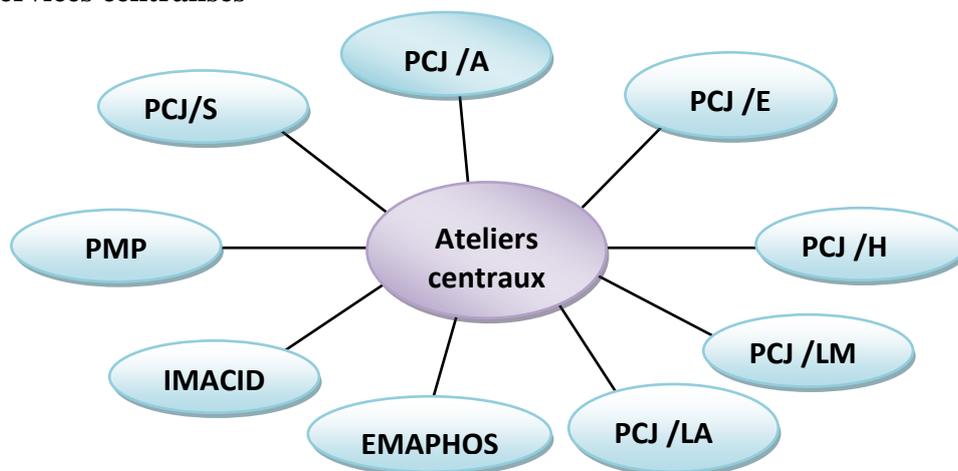


Figure II.1 : Service concernés par la centralisation

II.3. Politique de maintenance

La stratégie de maintenance de l'usine *Maroc Phosphore* est utilisée pour atteindre les objectifs souhaités.

II.3.1. Étapes d'approbation de la demande d'intervention

- ✓ Envoie de la *Demande d'Intervention* (DI) sur un Système de Gestion de Bases de Données (ici **ORACLE**) par le service demandeur (Client).
- ✓ **Réception de l'équipement au parc** : chaque partie de parc est réservée pour un type d'équipement, révisé ou on attend de révision.
- ✓ **Lavage de l'équipement** : cette étape se fait à l'air comprimé, permet d'éliminer les impuretés et les poussières collés sur l'équipement.
- ✓ **Contrôle à la réception** : le responsable dans le bureau de préparation fait le contrôle à la réception du mécanisme, ce contrôle concerne globalement : le niveau d'huile, la Visserie, les Cassures, le Vidange, la Peinture...etc.
- ✓ **Bureau de préparation** : Le rôle de ce bureau est de recevoir la DI du client est la convertir en *Ordre de Travail* (OT) comme suit :
 - ❖ Réception de la Demande d'Intervention (DI).
 - ❖ Étude de dossier (élaboration de : fiche technique, plan, documentation, manuel d'exploitation, catalogue...etc).
 - ❖ Préparation d'un ordre de travail (OT) sur ORACLE.
 - ❖ Enregistrement de l'OT sur la base AMM (fichier historique).
 - ❖ Après une étude de l'OT, le chef d'atelier précise le type de maintenance (planifié ou urgente). Les prestations urgentes ont la priorité de réalisation.

II.3.2. Logigramme de maintenance [Réf.2]

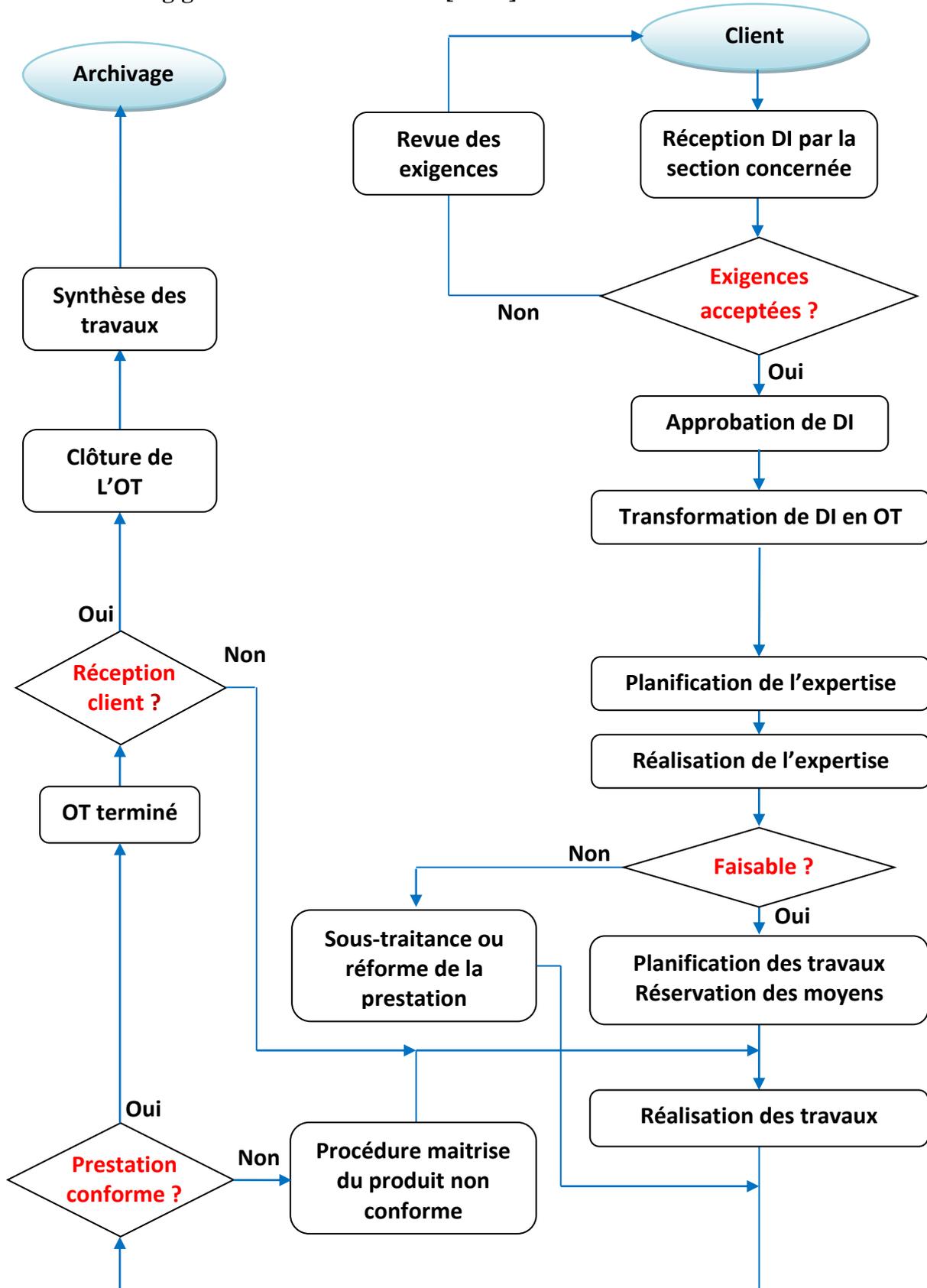


Figure II.2 : Logigramme de la maintenance

Toute prestation de maintenance, après sa rentrée dans les *Ateliers Centraux* (ACX), suit la même stratégie et les mêmes étapes. Dans ce qui suit nous allons détailler le cycle de la maintenance actuelle des équipements dès la réception jusqu'au remontage et retour au client.

II.4. Méthodes de maintenance

L'équipe de la section **AMM** a pour mission de faire toutes les étapes de maintenance qui restent (extraction ou révision).

II.4.1. Révision

Ensemble des actions d'examens, de contrôles et des interventions effectuées en vue d'assurer le bien contre toute défaillance majeure ou critique, pendant le temps.

Il faut distinguer suivant l'étendue des opérations à effectuer les révisions partielles et les révisions générales. Dans les **deux** cas, cette opération nécessite la dépose de différents sous-ensembles :

1. **Démontage** : Démonter tous les composants constituant le mécanisme.
2. **Expertise** : Examiner tous les composants de l'équipement (vis, arrêt d'huile, roulement, boîtier de roulement, turbine, roue...), déclarer tous les composants défaillants et les remplacer avec leur pièces de rechange.
3. **Remontage** : Remonter à nouveau l'équipement avec l'outillage et la méthode convenable.

II.4.2. Extraction

Tout équipement dans la section doit être extrait des autres équipements reliés avec lui, exemple d'extraction d'un moteur avec un coupleur.

II.5. Contrôle qualité

Après la révision des équipements dans la section ajustage montage mécanique, il vient le rôle de la section qualité ; le responsable de la section fait un contrôle final du produit fini (équipement), et surtout le point indiqué sur l'OT.

Finalement le responsable du bureau de préparation ferme le dossier de l'équipement sur **ORACLE** et ce dernier va être imprimé et placé dans l'archive avec les dossiers antécédents.



3

CHAPITRE : ANALYSE GLOBALE DES PRESTATIONS ET LES TEMPS DE RÉVISION DES POMPES CENTRIFUGES

CHAPITRE III

ANALYSE GLOBALE DES PRESTATIONS ET LES TEMPS DE RÉVISION DES POMPES CENTRIFUGES

III.1. Etude Statistique des prestations de révision des pompes centrifuges

L'objectif de cette partie est l'établissement d'une étude statistique portant sur les interventions effectuées par les ACX, le résultat de cette analyse nous aiderons à déduire les principales pompes révisées.

Pour ce faire nous nous sommes basés sur l'historique des demandes d'interventions du 06 août 2015 au 24 août 2016.

III.1.1. Détermination des principaux types des pompes révisées

Plusieurs variantes de pompes sont révisées, durant la période concernée ; le nombre de pompes qui ont subi une révision générale est de **247** Pompes et sont réparties comme montré dans le tableau III.1.

Tableau III.1 : Types des pompes révisées

Type des Pompes révisées	nombre d'OT	Pourcentage(%)	Cumulé	% Cumulé
LC	128	51,82%	128	51,82%
Ensival	28	11,34%	156	63,16%
Sulzer	18	7,29%	172	69,64%
Puisard	15	6,07%	185	74,90%
Autre Pompes	14	5,67%	197	79,76%
CRP	6	2,43%	203	82,19%
Pompe de circulation	5	2,02%	208	84,21%
MTCD	4	1,62%	212	85,83%
PLR	4	1,62%	216	87,45%
CN	4	1,62%	220	89,07%
Pompe à vide	5	2,02%	224	90,69%
Pompe de transfert	3	1,21%	227	91,90%
LCP	3	1,21%	230	93,12%
Chass-Lewis	2	0,81%	232	93,93%
CNK	2	0,81%	234	94,74%
Pompe de gasoil	2	0,81%	236	95,55%
Someflu	1	0,40%	240	97,17%
PLC	1	0,40%	241	97,57%
Pompe eau de refroidissement	1	0,40%	244	98,79%

Pompe en UB6	1	0,40%	246	99,60%
Total	247	100,00%	247	100,00%

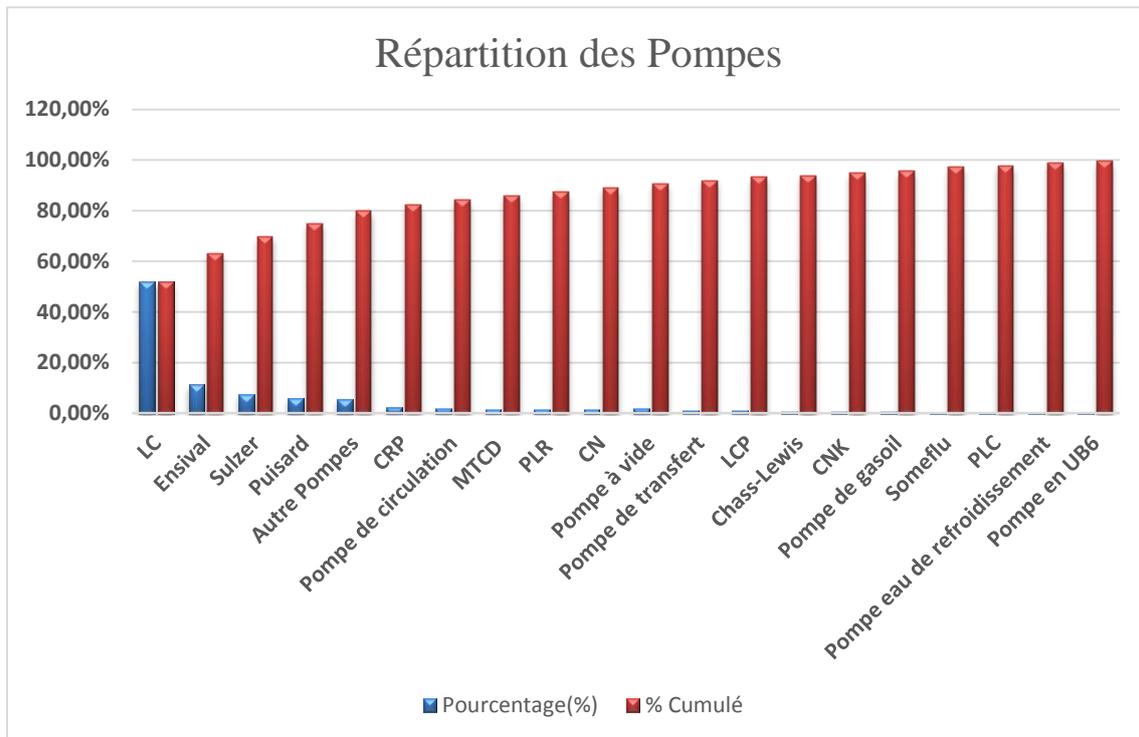
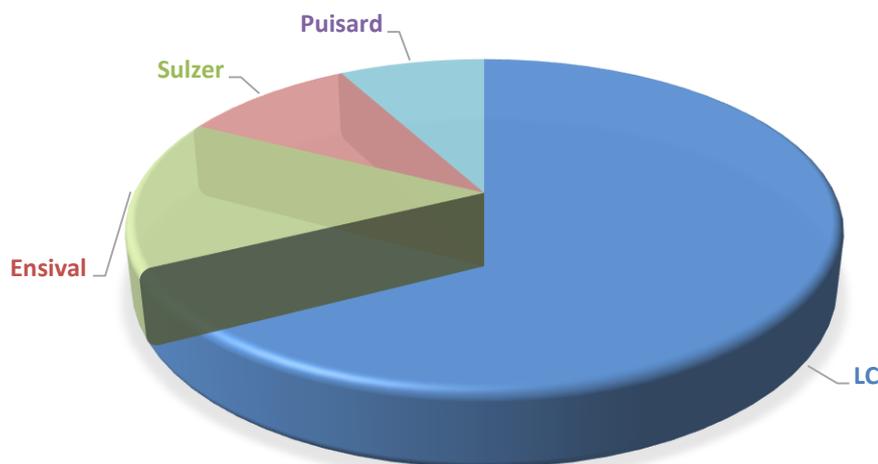


Figure III.1 : Proportions des pompes révisées

On remarque ainsi que les pompes les plus névralgiques sont **LC, Sulzer, Ensival et Puisard** ; ces dernières représentent à peu près **80 %** de la totalité des pompes révisées et sont considérées parmi les équipements les plus névralgiques dans les installations de l'acide phosphorique, leurs arrêts affectent directement la disponibilité des lignes de production.

→ Répartition des pompes névralgiques



D'après la répartition qu'on a aboutie, on voit que les pompes LC présente une grande portion par rapport à les autres ; par la suite on pourra définir ses principales variantes révisées au sein de la section AMM.

III.1.2. Répartition des Pompes LC

Plusieurs variantes de pompe LC sont révisées et sont réparties comme ci-dessous :

Tableau III.2 : Variantes LC révisées

% des pompes	Pompe	Nombre d'OT	Pourcentage (%)	Cumulé	% Cumulé
10,00%	LC 450/500	30	23,44%	30	23,44%
20,00%	LC 65/310	29	22,66%	59	46,09%
30,00%	LC 200/410	18	14,06%	77	60,16%
40,00%	LC 125/405	15	11,72%	92	71,88%
50,00%	LC 250/430	11	8,59%	103	80,47%
60,00%	LC 100/300	8	6,25%	111	86,72%
70,00%	LC 600/455	6	4,69%	117	91,41%
80,00%	LC 125/540	4	3,13%	121	94,53%
90,00%	LC 455/600	4	3,13%	125	97,66%
100,00%	LC 50/350	3	2,34%	128	100,00%
	Total	128	100,00%	128	100,00%

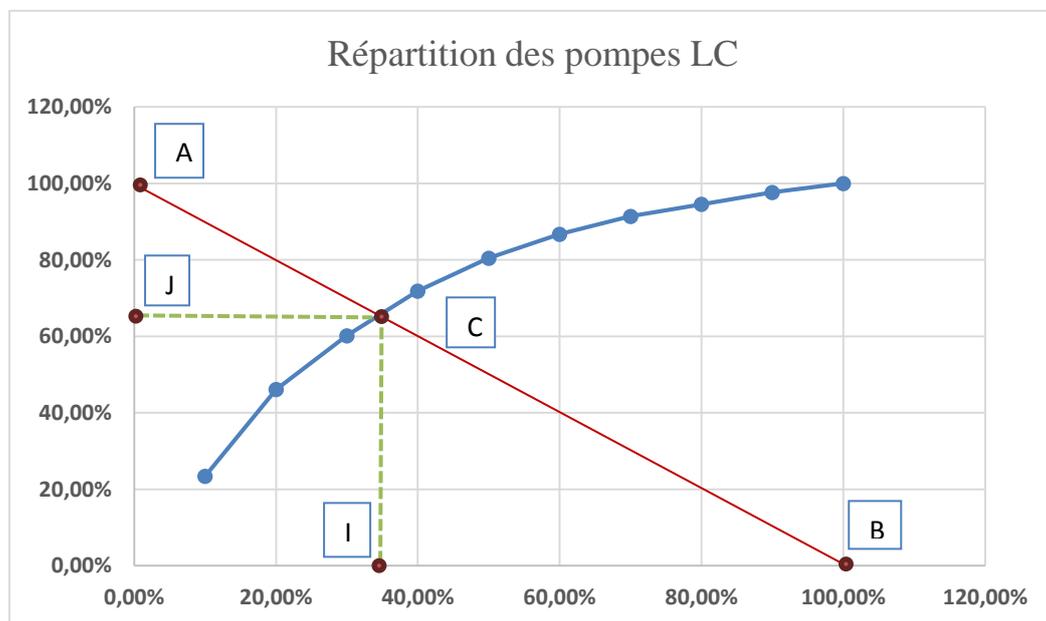


Figure III.2 : Courbe ABC des pompes LC

Tout d'abord, on va calculer le Ratio Discrimination R_D

$$R_D = \frac{\text{Longueur CB}}{\text{Longueur AB}} \quad (1)$$

On sait que ; $IB = 65 \text{ mm}$

Et on a ; $IC = 66,67 \text{ mm}$

Ainsi ; $CB = \sqrt{IB^2 + IC^2} = \sqrt{65^2 + 66,67^2} = 93,11 \text{ mm}$

Comme ; $AB = \sqrt{100^2 + 100^2} = 141,42 \text{ mm}$

Alors ; $R_D = \frac{93,11}{141,42} = 0,66$

Tableau III.3 : Répartition des zones par Pareto

Valeur R_D	A	B	C
$0,9 < R_D < 1$	10%	10%	80%
$0,85 < R_D < 0,9$	10%	20%	70%
$0,85 < R_D < 0,75$	20%	20%	60%
$0,75 < R_D < 0,65$	20%	30%	50%
$R_D < 0,65$	NON INTERPRÉTABLE		

Puisque on a ; $0,65 < R_D < 0,75 \Rightarrow$ Zone A de 20%, Zone B de 30% et Zone c de 50%

Par la suite, on aura la distribution suivante

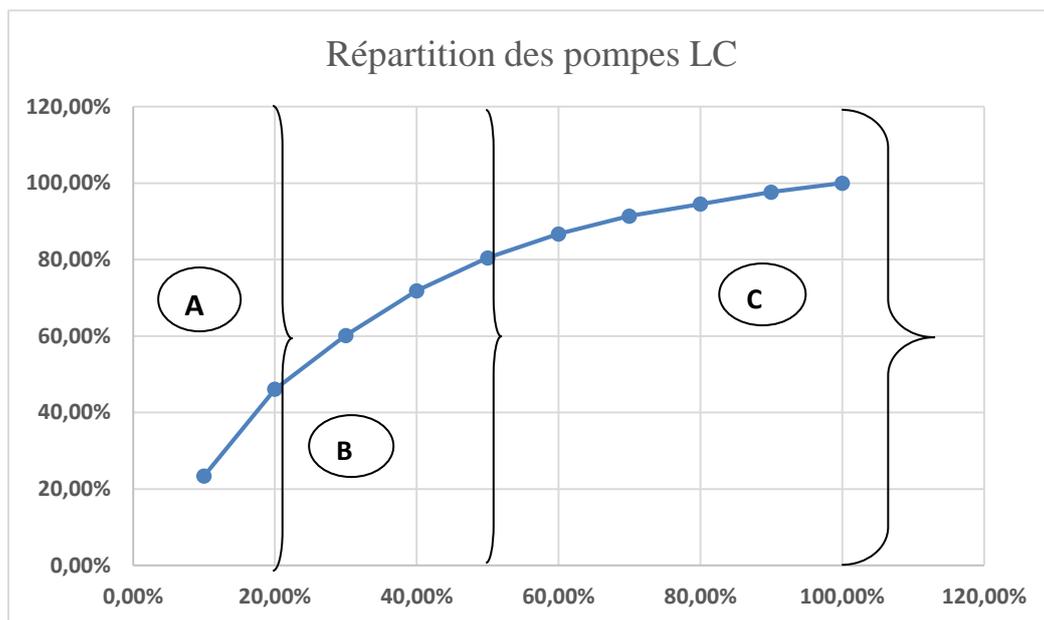


Figure III.3 : Distribution des zones

Ainsi la zone critique c'est qu'il contient les pompes LC suivants :

- ❖ LC 450/500
- ❖ LC 65/310

☒ Récapitulatif

Donc les principales pompes centrifuges révisés, et à qui on va faire une étude de sûreté de fonctionnement, sont :

❖ *LC 450/500*

❖ *LC 65/310*

❖ *Ensival*

❖ *Sulzer*

❖ *Puisard*

III.2. Sûreté de fonctionnement des pompes révisées

III.2.1. Introduction

Dans toute machine de production, les ensembles sont nombreux et il n'est pas raisonnable de donner le même degré d'importance à chacun d'eux en matière de maintenance; cela entraînera, en effet des travaux de maintenance trop nombreux, Il est donc plus judicieux de sélectionner l'ensemble ou les ensembles les plus importants en maintenance selon des critères bien déterminés.

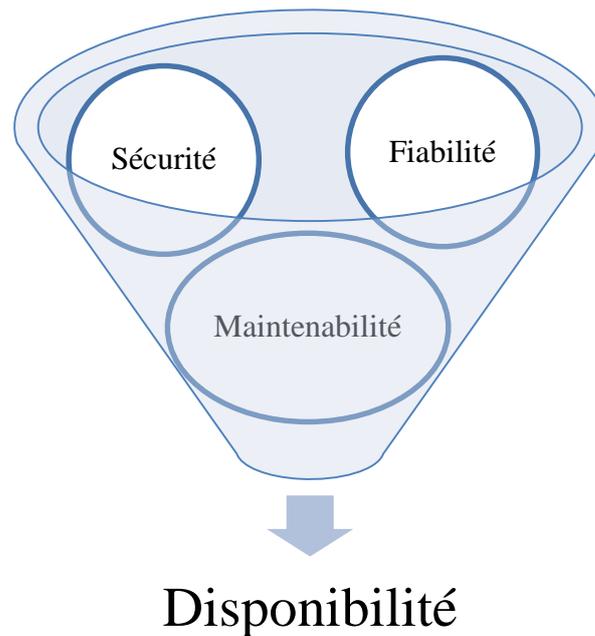
Les critères de choix qui peuvent être adoptés sont :

- ☒ Le temps d'arrêt de chaque ensemble.
- ☒ La fréquence d'apparition de la panne.
- ☒ Le coût de la maintenance.
- ☒ Le coût de l'indisponibilité.

Ainsi, la sûreté de fonctionnement est un terme générique qui regroupe 4 grands domaines :

- a) La fiabilité.
- b) La maintenabilité.
- c) La disponibilité.
- d) La sécurité.

Abréviation courante : FMDS



III.2.2. Fiabilité des pompes

III.2.2.1. Définition

« La fiabilité d'une installation définit son aptitude à remplir une fonction requise, dans des conditions données, pendant une durée déterminée » Norme AFNOR X 06-501 Elle est caractérisée par la **MTBF** (Mean Time Between Failure) ou moyenne des temps de bon fonctionnement, elle peut être aussi caractérisée par le nombre de défaillance pendant une durée donnée.

III.2.2.2. Calcul des grandeurs fiabilistes

Nous allons calculer les grandeurs fiabilistes associées à chaque pompe seule ; pour cela nous utilisons le modèle de Weibull car cette loi est la plus utilisée en maintenance.

C'est une loi à trois paramètres, très souple, qui couvre les cas de taux de défaillance décroissants ou croissants.

Son exploitation fournit :

- ❖ une estimation du MTBF.
- ❖ les équations de la fiabilité $R(t)$ et du taux de défaillance $\lambda(t)$.
- ❖ un paramètre de forme β qui peut orienter le diagnostic.

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \text{ Si } t > \gamma$$

La fiabilité vaut 1 si $t \leq \gamma$

Pour $\gamma = 0$ et $\beta = 1$, on retrouve la loi Exponentielle

Celle-ci est donc un cas particulier de la loi de Weibull.

→ Paramètre β

C'est un nombre sans dimension qui détermine la forme de la distribution $f(t)$ des défaillances

- ❖ Si $\beta = 1$, le taux de défaillance est constant.
- ❖ Si $0 < \beta < 1$, le taux de défaillance est décroissant.
- ❖ Si $\beta > 1$, le taux de défaillance est croissant.

→ Paramètre γ

Il est appelé paramètre de position.

Il fixe l'origine de l'étude et définit donc un changement d'origine dans l'échelle des temps.

- ❖ Si $\gamma > 0$, cela signifie qu'il n'y a pas eu de défaillance dans l'intervalle $[0, \gamma]$.
- ❖ Si $\gamma = 0$, il y a une panne dès la mise en route.
- ❖ Si $\gamma < 0$, la construction de l'équipement est défectueuse.

→ Paramètre η

Il est appelé paramètre d'échelle ou « caractéristique de vie », c'est un nombre positif permettant un changement de l'échelle des temps et il s'exprime dans la même unité que t .

1. Calcul fiabiliste de la pompe LC 450/500

Nous avons 30 TBF en jours comme suivants :

Tableau III.4 : TBF des pompes LC 450/500

23	112	188	222	234
26	133	189	229	362
27	144	192	230	364
30	149	201	230	376
75	152	207	230	377
95	163	208	231	384

→ Calcul du nombre de classe N_b et le pas de chaque classe k :

On sait que $N_b = \sqrt{n} \rightarrow N_b = \sqrt{30} = 5,48$ alors on prend $N_b \approx 6$

Et l'étendu $E = 384 - 23 = 361$

Ainsi ; $k = E / N_b = 361 / 5,48 = 65,88$

Et on aura finalement les six classes comme illustre le tableau suivant :

→ Dressage du tableau :

Tableau III.5 : Calcul statistique concerne LC 450/500

Classes	ti	Np	Np cumulé	F (ti)	X=Ln(ti)	Y=Ln[Ln(1/(1-F(ti)))]
[23 ; 88,87]	55,935	5	5	15%	4,02	-1,78
[88,87 ; 154,74]	121,805	6	11	35%	4,80	-0,86
[154,74 ; 220,61]	187,675	7	18	58%	5,23	-0,17
[220,61 ; 286,48]	253,545	7	25	81%	5,54	0,52
[286,48 ; 352,35]	319,415	0	25	81%	5,77	0,52
[352,35 ; 418,22]	385,285	5	30	98%	5,96	1,331

→ Traçage de la fonction de défaillance F(t) :

Pour cela, on emploie un papier à échelle « log log », imaginé par **ALLEN-PLAIT** et appelé encore « papier de Weibull ».

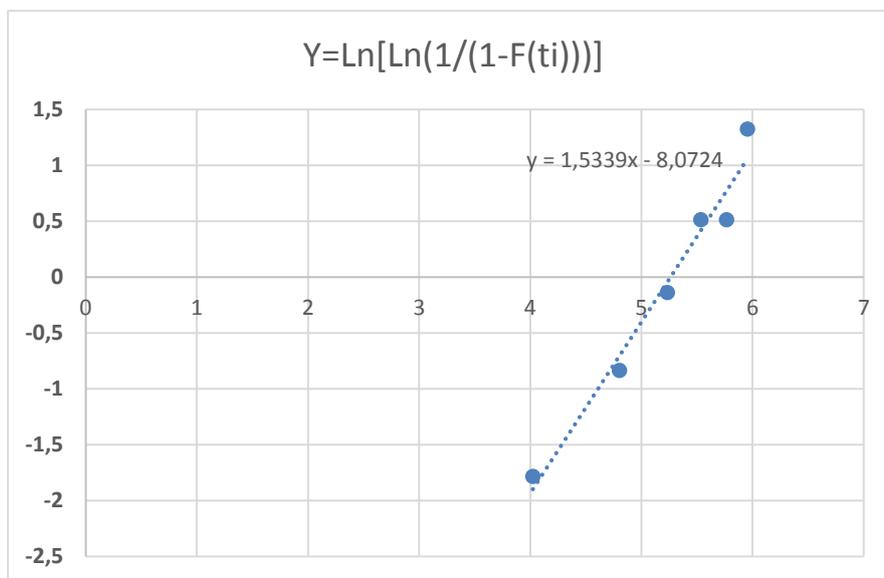


Figure III.4 : Fonction de défaillance F(t) pour pompe LC 450/500

→ Paramètres de la loi de Weibull :

La droite de Weibull est : $Y = \beta X - \beta \ln(\eta) = 1,5339X - 8,0724$

$$\rightarrow \begin{cases} \beta = 1,54 \\ \eta = \exp(\beta \ln(\eta) / \beta) = 193,009 \text{ jours} \\ \gamma = 0 \end{cases}$$

$$\text{Alors ; } R(t) = e^{-\left(\frac{t}{193,009}\right)^{1,54}}$$

$$\text{Donc ; } MTBF = A\eta + \gamma = 173,59 \text{ jours}$$

L'écart-type $\sigma = B\eta = 114,45$ jours

N.B : les constantes A, B sont montrées dans l'annexe 1.

La fiabilité associée à MTBF est $R(t) = e^{-\left(\frac{MTBF}{\eta}\right)^\beta} = 42,77\%$

→ Périodicité T_{10} :

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \rightarrow \text{Ln}(R(t)) = \text{Ln}\left(e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}\right)$$

$$\rightarrow \text{Ln}(R(t)) = -\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta$$

$$\rightarrow (-\text{Ln}R(t))^{1/\beta} = \frac{t-\gamma}{\eta}$$

$$\rightarrow T = \gamma + \eta(-\text{Ln}R(t))^{1/\beta}$$

$$\rightarrow T_{10} = \gamma + \eta\left(\text{Ln}\left(\frac{1}{R(t)}\right)\right)^{1/\beta}$$

Par la suite injectons $R(t)$ qui correspond à 90% et les paramètres de Weibull associé.

Donc on aura ; **$T_{10} = 44,76$ jours**

2. Calcul fiabiliste de la pompe LC 65/310

Nous avons 29 TBF en jours comme suivants :

Tableau III.6 : TBF des pompes LC 65/310

12	83	138	187	231
13	90	144	210	364
23	103	151	215	373
30	112	169	216	376
33	120	183	218	378
37	131	186	222	

→ Calcul du nombre de classe N_b et le pas de chaque classe k :

On sait que $N_b = \sqrt{n} \rightarrow N_b = \sqrt{29} = 5,39$ alors on prend $N_b \approx 6$

Et l'étendu $E = 378 - 12 = 366$

Ainsi ; $k = \frac{E}{N_b} = \frac{366}{5,39} = 67,90$

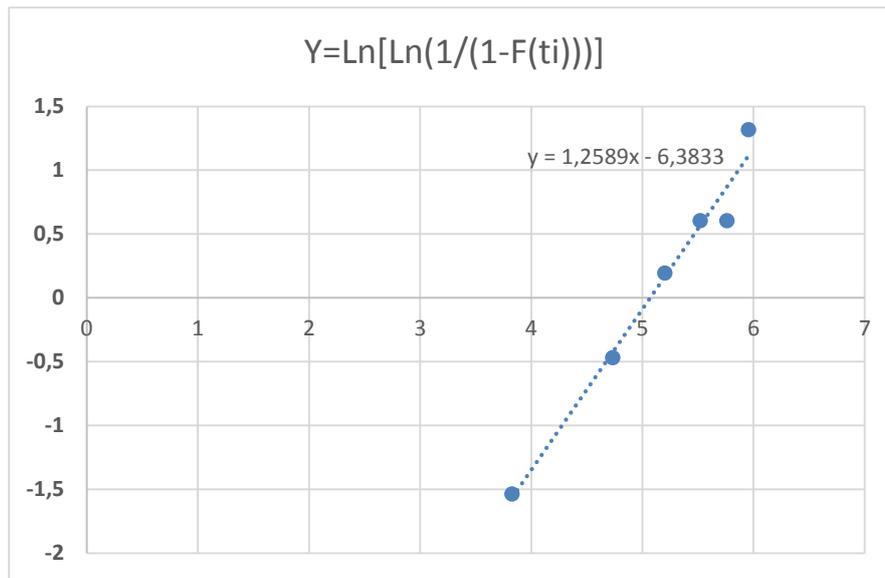
Et on aura finalement les six classes comme illustre le tableau suivant :

→ Dressage du tableau :

Tableau III.7 : Calcul statistique concerne LC 65/310

Classes	ti	Np	Np cumulé	F(ti)	X=Ln(ti)	Y=Ln[Ln(1/(1-F(ti)))]
[12 ; 79,9]	45,95	6	6	19%	3,83	-1,53
[79,9 ; 147,8]	113,85	8	14	47%	4,73	-0,47
[147,8 ; 215,7]	181,75	7	21	70%	5,20	0,2
[215,7 ; 283,6]	249,65	4	25	84%	5,52	0,61
[283,6 ; 351,5]	317,55	0	25	84%	5,77	0,61
[351,5 ; 419,4]	385,45	4	29	98%	5,95	1,32

→ Traçage de la fonction de défaillance F(t) :

**Figure III.5** : Fonction de défaillance F(t) pour pompe LC 65/310

→ Paramètres de la loi de Weibull :

La droite de Weibull est : $Y = \beta X - \beta \ln(\eta) = 1,2589X - 6,3833$

$$\rightarrow \begin{cases} \beta = 1,26 \\ \eta = \exp(\beta \ln(\eta) / \beta) = 159,25 \text{ jours} \\ \gamma = 0 \end{cases}$$

$$\text{Alors ; } R(t) = e^{-\left(\frac{t}{159,25}\right)^{1,26}}$$

$$\text{Donc ; } MTBF = A\eta + \gamma = 148,32 \text{ jours}$$

$$\text{L'écart-type } \sigma = B\eta = 119,43 \text{ jours}$$

$$\text{La fiabilité associée à MTBF est } R(t) = e^{-\left(\frac{MTBF}{\eta}\right)^\beta} = 40,07\%$$

→ Périodicité T_{10} :

$$T_{10} = \gamma + \eta \left(\ln \left(\frac{1}{R(t)} \right) \right)^{1/\beta} = 26,70 \text{ jours}$$

3. Calcul fiabiliste de la pompe Ensival

Nous avons 28 TBF en jours comme suivants :

Tableau III.8 : TBF des pompes Ensival

4	43	95	105	224
9	55	97	110	231
12	58	98	147	259
14	62	99	167	309
41	78	100	188	
41	79	100	203	

→ Calcul du nombre de classe N_b et le pas de chaque classe k :

On sait que $N_b = \sqrt{n} \rightarrow N_b = \sqrt{28} = 5,29$ alors on prend $N_b \approx 6$

Et l'étendu $E = 309 - 4 = 305$

Ainsi ; $k = E / N_b = 305 / 5,29 = 57,64$

Et on aura finalement les six classes comme illustre le tableau suivant :

→ Dressage du tableau :

Tableau III.9 : Calcul statistique concerne Ensival

Classes	t_i	N_p	N_p cumulé	$F(t_i)$	$X = \ln(t_i)$	$Y = \ln[\ln(1/(1-F(t_i)))]$
[4 ; 61,64]	32,82	9	9	31%	3,49	-1,01
[61,64 ; 119,28]	90,46	11	20	69%	4,50	0,17
[119,28 ; 176,92]	148,1	2	22	76%	5	0,37
[176,92 ; 234,55]	205,74	4	26	90%	5,33	0,86
[234,55 ; 292,20]	263,37	1	27	94%	5,57	1,06
[292,20 ; 349,83]	321,02	1	28	98%	5,77	1,31

→ Traçage de la fonction de défaillance $F(t)$:

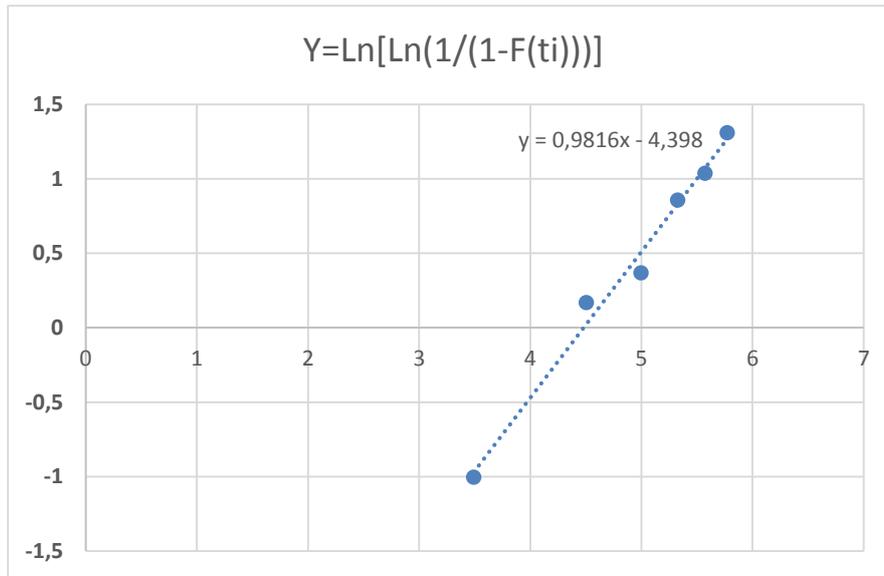


Figure III.6 : Fonction de défaillance $F(t)$ pour pompe Ensival

→ Paramètres de la loi de Weibull :

La droite de Weibull est : $Y = \beta X - \beta \text{Ln}(\eta) = 0,9816X - 4,398$

$$\rightarrow \begin{cases} \beta = 0,9816 \\ \eta = \exp\left(\frac{\beta \text{Ln}(\eta)}{\beta}\right) = 88,30 \text{ jours} \\ \gamma = 0 \end{cases}$$

Alors ; $R(t) = e^{-\left(\frac{t}{88,30}\right)^{0,9816}}$

→ Approximation à la loi exponentielle

$$R(t) \approx e^{-\left(\frac{t}{88,30}\right)} \approx e^{-\lambda t} \text{ avec } \lambda = 11,32 \cdot 10^{-3} \text{ panne/jour}$$

Donc ; $MTBF = A\eta + \gamma = 88,30 \text{ jours}$ ou bien $MTBF = 1/\lambda \approx 88,3 \text{ jours}$

L'écart-type $\sigma = B\eta = 88,30 \text{ jours}$

La fiabilité associée à MTBF est $R(t) = e^{-\left(\frac{MTBF}{\eta}\right)^\beta} = 36,78\%$

→ Périodicité T_{10} :

$$T_{10} = \gamma + \eta \left(\text{Ln}\left(\frac{1}{R(t)}\right)\right)^{1/\beta} = 8,92 \text{ jours}$$

4. Calcul fiabiliste de la pompe Sulzer

Nous avons 18 TBF en jours comme suivants :

Tableau III.10 : TBF des pompes Sulzer

4	74	215	297
13	82	218	328
43	127	234	365
48	133	238	
51	168	293	

→ Calcul du nombre de classe Nb et le pas de chaque classe k :

On sait que $Nb = \sqrt{n} \rightarrow Nb = \sqrt{18} = 4,24$ alors on prend $Nb \approx 5$

Et l'étendu $E = 365 - 4 = 361$

Ainsi ; $k = E/Nb = 361/4,24 = 85,14$

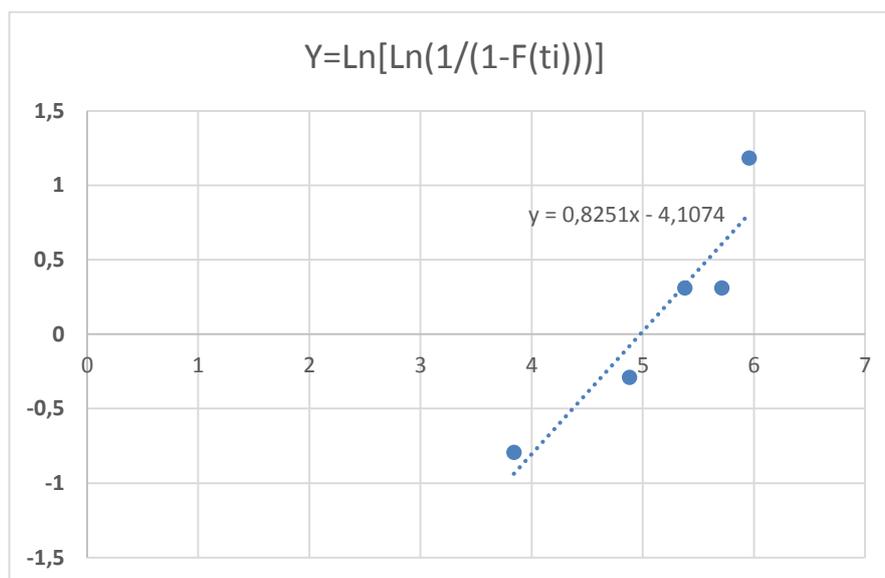
Et on aura finalement les cinq classes comme illustre le tableau suivant :

→ Dressage du tableau :

Tableau III.11 : Calcul statistique concerne Sulzer

Classes	ti	Np	Np cumulé	F(ti)	X=Ln(ti)	Y=Ln[Ln(1/(1-F(ti)))]
[4 ; 89,14]	46,57	7	7	36%	3,84	-0,79
[89,14 ; 174,28]	131,71	3	10	53%	4,88	-0,29
[174,28 ; 259,42]	216,85	4	14	74%	5,38	0,31
[259,42 ; 344,56]	301,99	0	14	74%	5,71	0,31
[344,56 ; 429,7]	387,13	4	18	96%	5,96	1,18

Traçage de la fonction de défaillance F(t) :

**Figure III.7 : Fonction de défaillance F(t) pour pompe Sulzer**

→ Paramètres de la loi de Weibull :

La droite de Weibull est : $Y = \beta X - \beta \text{Ln}(\eta) = 0,8251X - 4,1074$

$$\rightarrow \begin{cases} \beta = 0,83 \\ \eta = \exp(\beta \text{Ln}(\eta) / \beta) = 145,214 \text{ jours} \\ \gamma = 0 \end{cases}$$

Alors ; $R(t) = e^{-\left(\frac{t}{145,214}\right)^{0,83}}$

Donc ; $MTBF = A\eta + \gamma = 158 \text{ jours}$

L'écart-type $\sigma = B\eta = 187,33 \text{ jours}$

La fiabilité associée à MTBF est $R(t) = e^{-\left(\frac{MTBF}{\eta}\right)^\beta} = 34,21 \%$

→ Périodicité T_{10} :

$$T_{10} = \gamma + \eta \left(\text{Ln}\left(\frac{1}{R(t)}\right)\right)^{1/\beta} = 9,65 \text{ jours}$$

5. Calcul fiabiliste de la pompe Puisard

Nous avons 30 TBF en jours comme suivants :

Tableau III.12 : TBF des pompes Puisard

5	125	169
25	127	174
39	161	189
53	162	203
120	163	236

→ Calcul du nombre de classe N_b et le pas de chaque classe k :

On sait que $N_b = \sqrt{n} \rightarrow N_b = \sqrt{15} = 3,87$ alors on prend $N_b \approx 4$

Et l'étendu $E = 236 - 5 = 231$

Ainsi ; $k = E / N_b = 231 / 3,87 = 59,64$

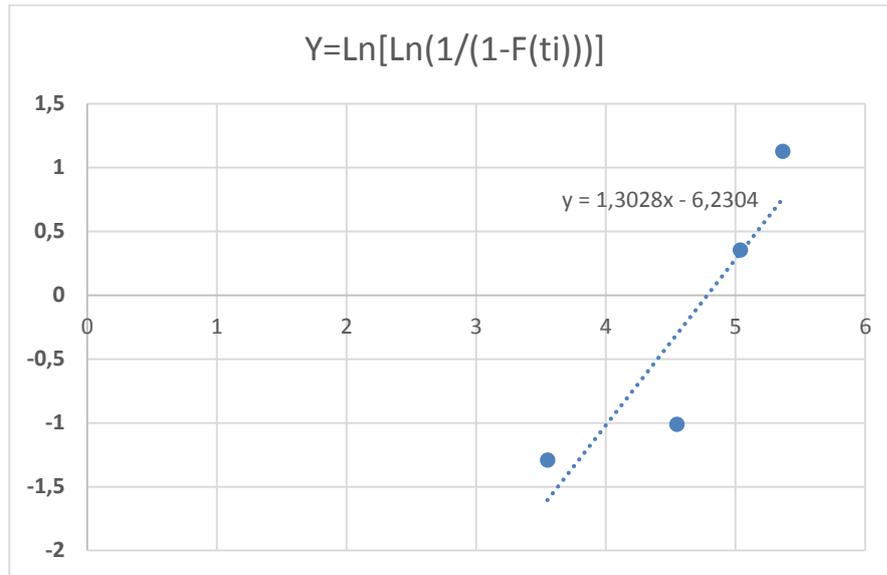
Et on aura finalement les quatre classes comme illustre le tableau suivant :

→ Dressage du tableau :

Tableau III.13 : Calcul statistique concerne Puisard

Classes	ti	Np	Np cumulé	F (ti)	X=Ln(ti)	Y=Ln[Ln(1/(1-F(ti)))]
[5 ; 64,64]	34,82	4	4	24%	3,550192	-1,29178935
[64,64 ; 124,28]	94,46	1	5	31%	4,548176	-1,010261447
[124,28 ; 183,92]	154,1	7	12	76%	5,037602	0,354897648
[183,92 ; 243,56]	213,74	3	15	95%	5,36476	1,128508398

→ Traçage de la fonction de défaillance F(t) :

**Figure III.8 : Fonction de défaillance F(t) pour pompe Puisard**

→ Paramètres de la loi de Weibull :

La droite de Weibull est : $Y = \beta X - \beta \ln(\eta) = 1,3028X - 6,2304$

$$\rightarrow \begin{cases} \beta = 1,30 \\ \eta = \exp(\beta \ln(\eta) / \beta) = 119,376 \text{ jours} \\ \gamma = 0 \end{cases}$$

Alors ; $R(t) = e^{-\left(\frac{t}{119,376}\right)^{1,30}}$

Donc ; $MTBF = A\eta + \gamma = 110,26 \text{ jours}$

L'écart-type $\sigma = B\eta = 85,47 \text{ jours}$

La fiabilité associée à MTBF est $R(t) = e^{-\left(\frac{MTBF}{\eta}\right)^\beta} = 40,58 \%$

→ Périodicité T_{10} :

$$T_{10} = \gamma + \eta \left(\ln\left(\frac{1}{R(t)}\right)\right)^{1/\beta} = 21,14 \text{ jours}$$

➤ Conclusion

Tableau III.14 : Récapitulatif des résultats

Pompe	β	MTBF (jours)	R(MTBF)	T ₁₀ (jours)
LC 450/500	1,54	173,59	42,77%	44,76
LC 65/310	1,26	148,32	40,07%	26,7
Ensival	0,9816	88,3	36,78%	8,92
Sulzer	0,83	158	34,21%	9,65
Puisard	1,30	110,26	40,58%	21,14

➤ Interprétation

Tableau III.15 : Interprétation des résultats

Pompe	β	Evolution du Taux de défaillance λ (t)	Période par rapport à la courbe en baignoire
LC 450/500	1,54	<u>croissante</u>	<u>vieillesse</u>
LC 65/310	1,26	<u>croissante</u>	<u>vieillesse</u>
Ensival	0,9816	<u>constante</u>	<u>maturité</u>
Sulzer	0,83	<u>décroissante</u>	<u>jeunesse</u>
Puisard	1,30	<u>croissante</u>	<u>vieillesse</u>

III.2.3. Maintenabilité des pompes

III.2.3.1. Définition

« La maintenabilité d'un système est son aptitude à être maintenu ou rétabli dans un état dans lequel il peut accomplir sa fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, avec des procédures et des moyens prescrits »
Norme AFNOR X 60-010.

La maintenabilité est caractérisée par la **MTTR** (Mean Time To Repair) ou la moyenne des temps techniques de réparation.

III.2.3.2. Caractéristique de la maintenabilité

Le TTR se compose en règle générale des temps suivants :

- 1) Temps de vérification de la réalité de la défaillance.
- 2) Temps de localisation.
- 3) Temps de diagnostic.
- 4) Temps d'accès à l'organe défaillant (dépose puis démontage).
- 5) Temps de dépannage ou de réparation proprement dit.
- 6) Temps de remontage.
- 7) Temps de contrôle et d'essais finals.

III.2.3.3. Calcul de la maintenabilité

Nous allons calculer les grandeurs de la maintenabilité associée à chaque pompe seule ; pour cela nous utilisons le modèle suivant $M(t) = 1 - e^{-\mu t}$

1. Calcul de la maintenabilité pour la pompe LC 450/500

Nous avons 30 TTR en heure comme suivants :

Tableau III.16 : TTR des pompes LC 450/500

31	21	14	28	14	28
14	35	42	28	4	42
34	35	28	4	8	14
21	35	28	21	4	7
40	28	14	21	6	35

→ Calcul des grandeurs de la maintenabilité

$$MTTR = \frac{\text{La somme des TTR}}{\text{Nombre de panne}}$$

$$MTTR = \frac{31+14+34+\dots+7+35}{30} = 22,8 \text{ h}$$

$$\mu = \frac{1}{MTTR} = 4,39 \cdot 10^{-2} \text{ panne/h}$$

Donc la maintenabilité s'écrit sous la forme : $M(t) = 1 - e^{-4,39 \cdot 10^{-2} \cdot t}$

$$\rightarrow M(MTTR) = 63,24\%$$

2. Calcul de la maintenabilité pour la pompe LC 65/310

Nous avons 29 TTR en heure comme suivants :

Tableau III.17 : TTR des pompes LC 65/310

7	21	12	14	14	21
14	10	14	10	7	21
14	21	14	14	14	14
21	17	12	14	21	14
14	14	14	14	13	

→ Calcul des grandeurs de la maintenabilité

$$MTTR = \frac{7+14+14+\dots+14+14}{29} = 14,62 \text{ h}$$

$$\mu = \frac{1}{MTTR} = 6,84 \cdot 10^{-2} \text{ panne/h}$$

Donc la maintenabilité s'écrit sous la forme : $M(t) = 1 - e^{-6,84 \cdot 10^{-2} \cdot t}$

$$\rightarrow M(MTTR) = 63,21\%$$

3. Calcul de la maintenabilité pour la pompe Ensival

Nous avons 28 TTR en heure comme suivants :

Tableau III.18 : TTR des pompes Ensival

26	7	21	7	14	36	7
35	28	28	28	14	21	7
3	14	28	21	14	7	14
36	49	28	10	7	35	7

→ Calcul des grandeurs de la maintenabilité

$$MTTR = \frac{26+35+3+\dots+14+7}{30} = 19,71 \text{ h}$$

$$\mu = \frac{1}{MTTR} = 5,07 \cdot 10^{-2} \text{ panne/h}$$

Donc la maintenabilité s'écrit sous la forme : $M(t) = 1 - e^{-5,07 \cdot 10^{-2} \cdot t}$

$$\rightarrow M(MTTR) = 63,18\%$$

4. Calcul de la maintenabilité pour la pompe Sulzer

Nous avons 18 TTR en heure comme suivants :

Tableau III.19 : TTR des pompes Sulzer

28	28	48	55	7	28
28	14	7	11	7	28
36	28	28	4	28	28

→ Calcul des grandeurs de la maintenabilité

$$MTTR = \frac{28+28+36+\dots+28+28}{18} = 24,5 \text{ h}$$

$$\mu = \frac{1}{MTTR} = 4,08.10^{-2} \text{ panne/h}$$

Donc la maintenabilité s'écrit sous la forme : $M(t) = 1 - e^{-4,08.10^{-2}.t}$

$$\rightarrow M(MTTR) = 63,31\%$$

5. Calcul de la maintenabilité pour la pompe Puisard

Nous avons 15 TTR en heure comme suivants :

Tableau III.20 : TTR des pompes Puisard

28	14	24	21	41
21	28	38	14	12
35	21	28	14	63

→ Calcul des grandeurs de la maintenabilité

$$MTTR = \frac{28+21+35+\dots+12+63}{15} = 26,8 \text{ h}$$

$$\mu = \frac{1}{MTTR} = 3,73.10^{-2} \text{ panne/h}$$

Donc la maintenabilité s'écrit sous la forme : $M(t) = 1 - e^{-3,73.10^{-2}.t}$

$$\rightarrow M(MTTR) = 63,19\%$$

III.2.4. Disponibilité des pompes

III.2.4.1. Définition

La disponibilité est l'aptitude d'un bien à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données, à un instant donné ou durant un intervalle de temps donné, en supposant que la fourniture des moyens extérieurs est assurée. Les moyens autres que la logistique de maintenance (personnel, documentation, rechanges, etc.) n'affectent pas la disponibilité d'un bien.

III.2.4.2. Calcul de la Disponibilité

Puisque LC 450/500, LC 65/310, Sulzer, Puisard présentent un taux de défaillance $\lambda(t)$ **monotone** alors on ne peut calculer que la disponibilité opérationnelle qui se définit par la

$$\text{relation suivante } D_o = \frac{MUT}{MTBF} = 1 - \frac{MTTR}{MTBF}$$

Pompe	Disponibilité Opérationnelle
LC 450/500	98,12%
LC 65/310	98,59%
Sulzer	97,78%
Puisard	96,52%

Puisque la pompe Ensival présente un taux de défaillance $\lambda(t)$ **constante**, alors on peut calculer les 2 disponibilités (asymptotique et opérationnelle) associé qui se définissent par les relations suivantes.

$$D(t) = \frac{\mu}{\mu+\lambda} + \frac{\lambda}{\lambda+\mu} e^{-(\lambda+\mu)t} \rightarrow D_a = \lim_{t \rightarrow \infty} D(t) = \frac{\mu}{\mu+\lambda} = 96,9\%$$

$$D_o = \frac{MUT}{MTBF} = 1 - \frac{MTTR}{MTBF} = 96,81\%$$

III.3. Étude des temps de révision des pompes centrifuges

III.3.1. Analyse temporaire de révision des pompes

Tableau III.21 : Les pertes du temps de révision des pompes centrifuges

<u>Dates réels de fin des travaux</u>	<u>Dates prévus de fin des travaux</u>	<u>Désignation</u>	<u>Les Pertes(j)</u>
11/08/15	09/08/15	Révision de la Pompe LC 250/430	2
20/08/15	14/08/15	Réparation Arbre de la Pompe Ensival	6
20/08/15	04/08/15	Révision de la Pompe LC 600/455	16
28/08/15	04/08/15	Révision de la Pompe 26ip03/2	24
29/08/15	21/08/15	Révision de la Pompe LC 450/500	8
29/08/15	21/08/15	Révision de la Pompe LC 65/310	8
31/08/15	07/08/15	Révision de la Pompe Puisard	24
01/09/15	31/07/15	Révision de la Pompe LC 200/410	32
01/09/15	29/08/15	Révision de la Pompe LC 250/430	3
04/09/15	31/08/15	Révision de la Pompe LC 600/455	4
05/09/15	14/08/15	Révision de la Pompe LC 65/310	22
08/09/15	30/07/15	Révision de la Pompe LC 125/405	40
09/09/15	31/07/15	Révision de la Pompe LC 200/410	40
10/09/15	02/09/15	Réparation de la Pompe des Forces Ax	8
12/09/15	31/08/15	Révision de la Pompe LC 65/310	12
15/09/15	01/07/15	Révision de la Pompe Someflu	76
18/09/15	31/08/15	Révision de la Pompe Sulzer	18
18/09/15	22/07/15	Révision de la Pompe Ensival	58

18/09/15	29/07/15	Révision de la Pompe Sulzer	51
18/09/15	04/09/15	Révision de la Pompe puisard	14
18/09/15	31/08/15	Révision de la Pompe Sulzer	18
26/09/15	25/09/15	Révision de la Pompe Sulzer	1
28/09/15	31/08/15	Révision de la Pompe puisard	28
28/09/15	23/09/15	Alésage du fond de la Pompe puisard	5
30/09/15	04/08/15	Révision de la Pompe Ensival	57
07/10/15	06/08/15	Révision de la Pompe Ensival	62
09/10/15	03/10/15	Révision de la Pompe LC 200/410	6
27/10/15	21/10/15	Révision de la Pompe Sulzer	6
30/10/15	07/10/15	Révision de la Pompe CRP 450/500	23
30/10/15	20/10/15	Révision de la Pompe de circulation	10
30/10/15	20/10/15	Révision de la Pompe 53ip03 → Coincement Au Niveau Turbine	10
10/11/15	10/10/15	Entretien sur la Pompe de Transfert	31
12/11/15	10/11/15	Révision de la Pompe Ensival	2
12/11/15	10/11/15	Révision de la Pompe CRP 450/500	2
17/11/15	12/11/15	Révision de la Pompe LC 65/310	5
20/11/15	05/11/15	Révision de la Pompe eau de refroidissement	15
30/11/15	20/11/15	Révision de la Pompe CNK 80/40	10
08/12/15	19/11/15	Révision 01 Pompe Centrifuge Ensival	19
09/12/15	25/10/15	Remise état courroie de la Pompe	45
09/12/15	22/10/15	Remise état de la Pompe de Gasoil	48
16/12/15	10/12/15	Révision de la Pompe LC 125/405	6
17/12/15	10/12/15	Révision de la Pompe LC 450/500	7
21/12/15	07/11/15	Révision de la Pompe LC 200/410	44
22/12/15	05/12/15	Révision de la Pompe LC 65/310	17
23/12/15	18/12/15	Révision de la Pompe 155-LP11	5
28/12/15	17/12/15	Révision de la Pompe LC 65/310	11
28/12/15	10/12/15	Révision de la Pompe LC 450/500	18
02/01/16	23/12/15	Révision de la Pompe LC 450/500	10
15/01/16	25/12/15	Révision de la Pompe PLC 50/350	21
20/01/16	16/01/16	Démontage Moteur du châssis Pompe	4
22/01/16	06/01/16	Révision de la Pompe Puisard	16
28/01/16	21/01/16	Usinage portée sur arbre Pompe LC 450/500	7
29/01/16	26/01/16	Révision de la Pompe LC 200/410	3
05/02/16	03/02/16	Confection 2 coussinets pour Pompe H2S04	2
08/02/16	14/01/16	Rechargement + usinage arbre Pompe circulation	25
25/02/16	24/02/16	Révision de la Pompe LC 200/410	1
29/02/16	23/02/16	Révision de la Pompe LC 450/500	6
01/03/16	26/02/16	Problème de coincement de la Pompe LC 125/405	4
01/03/16	04/02/16	Révision de la Pompe LC 125/405	26
04/03/16	11/11/15	Confection Boite à tresse pour Pompe en UB6	114

09/03/16	01/03/16	Révision de la Pompe LC 65/310	8
15/03/16	31/01/16	Usinage 2 potées sur arbre Pompe LC 65/310	44
22/03/16	12/03/16	Révision de la Pompe LC 50/350	10
23/03/16	10/03/16	Confection 6 calles Pour châssis Pompe LC 450/500	13
24/03/16	23/03/16	Réalisation 2 trous borne sur chemise de la Pompe Ensival	1
25/03/16	10/03/16	Confection 2 chemises arbre de la Pompe Ensival	15
27/03/16	13/11/15	Changement manchette aspiration de Pompe LC 450/500	135
30/03/16	17/03/16	Révision de la Pompe LC 200/410	13
30/03/16	31/10/15	Permutation manchon accouplement Pompe 03AP20	151
30/03/16	30/12/15	Extraction ½ manchon de la Pompe LC600/455	91
31/03/16	30/03/16	Perçage 6 platine pour Fixation châssis de la Pompe Sulzer	1
01/08/16	30/07/16	Révision de la Pompe MTCD 125/4	2
05/08/16	02/08/16	Révision de la Pompe MTCD 125/4	3
10/08/16	18/06/16	Révision de la Pompe LC 200/410	53

Tableau III.22 : Regroupement des pompes par type

Pompes	Pertes (jours)	Pourcentage (%)	Cumulé (jours)	% Cumulé
LC	746	42,48%	746	42,48%
Pompe Ensival	224	12,76%	970	55,24%
Pompe 03AP20	151	8,60%	1121	63,84%
Puisard	132	7,52%	1253	71,36%
Pompe en UB6	114	6,49%	1367	77,85%
Pompe Sulzer	95	5,41%	1462	83,26%
Pompe Someflu	76	4,33%	1538	87,59%
Pompe de gasoil	48	2,73%	1586	90,32%
Pompe de Circulation	35	1,99%	1621	92,31%
Pompe de Transfert	31	1,77%	1652	94,08%
Pompe CRP	25	1,42%	1677	95,50%
Pompe 26ip03/2	24	1,37%	1701	96,87%
Pompe eau de refroidissement	15	0,85%	1716	97,72%
Pompe CNK	10	0,57%	1726	98,29%
Pompe 53ip03	10	0,57%	1736	98,86%
Pompe des Forces Ax	8	0,46%	1744	99,32%
MTCD	5	0,28%	1749	99,60%
Pompe 155-LP11	5	0,28%	1754	99,89%
Pompe H2S04	2	0,11%	1756	100,00%
Total	1756	100%	1756	100%

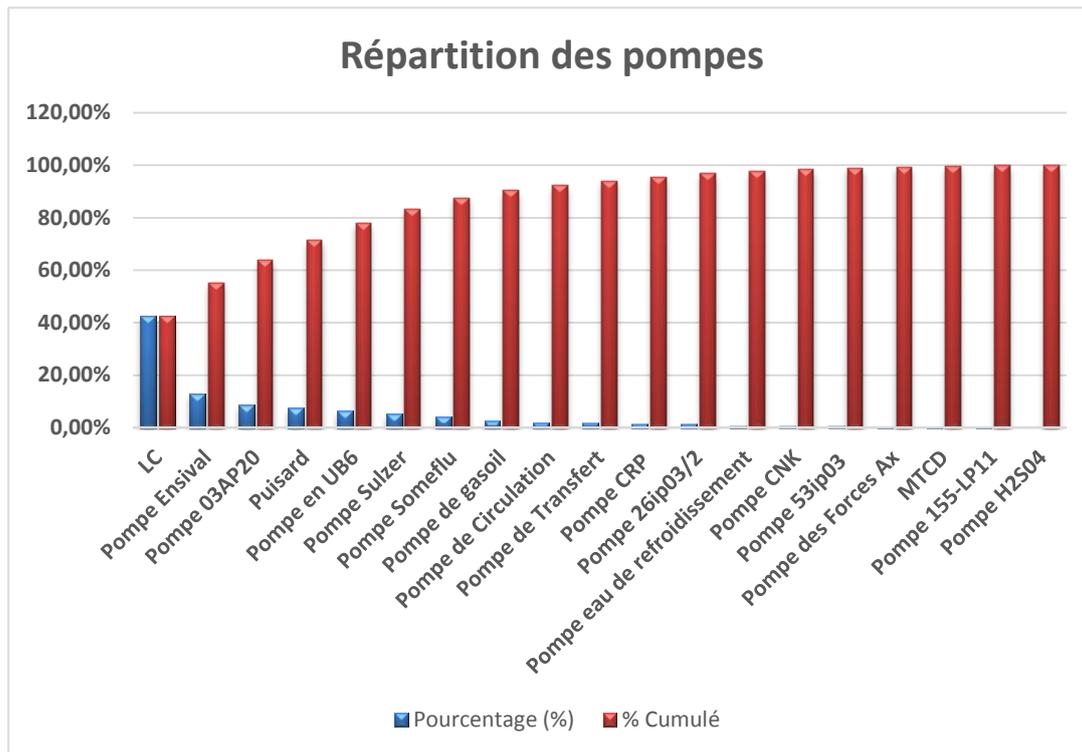


Figure III.9 : Distribution des pompes par Pareto

On remarque ainsi que les pompes qui gaspillent le temps de révision sont **LC, Ensival, Pompe 03AP20, Puisard et la pompe en UB6** ; ces dernières représentent à peu près **80 %** de la totalité des pertes de temps concernant les pompes révisées.

III.3.2. Réalisation d'un diagramme 5M « Ishikawa »

- **Effet recherché** : non-respect du temps.
- **Mode opératoire** : Recueillir et lister les différents problèmes qui existent les non-respects en les classant selon 5 catégories :
 - **Matériel** : Perte d'outils – Machine – Interchangeabilité.
 - **Méthode** : Mauvaise planification des Demande d'intervention – Mauvaise coordinations avec les clients – Accessibilité – Documentation.
 - **Matières** : Manque des pièces de rechange – Qualités des lubrifiants – Pièces de rechange non adaptables.
 - **Milieu** : Bruit – Insuffisance d'aération – Manque de propreté – Désorganisation.
 - **Main d'œuvre** : Absentéisme – Compétences – Motivation.

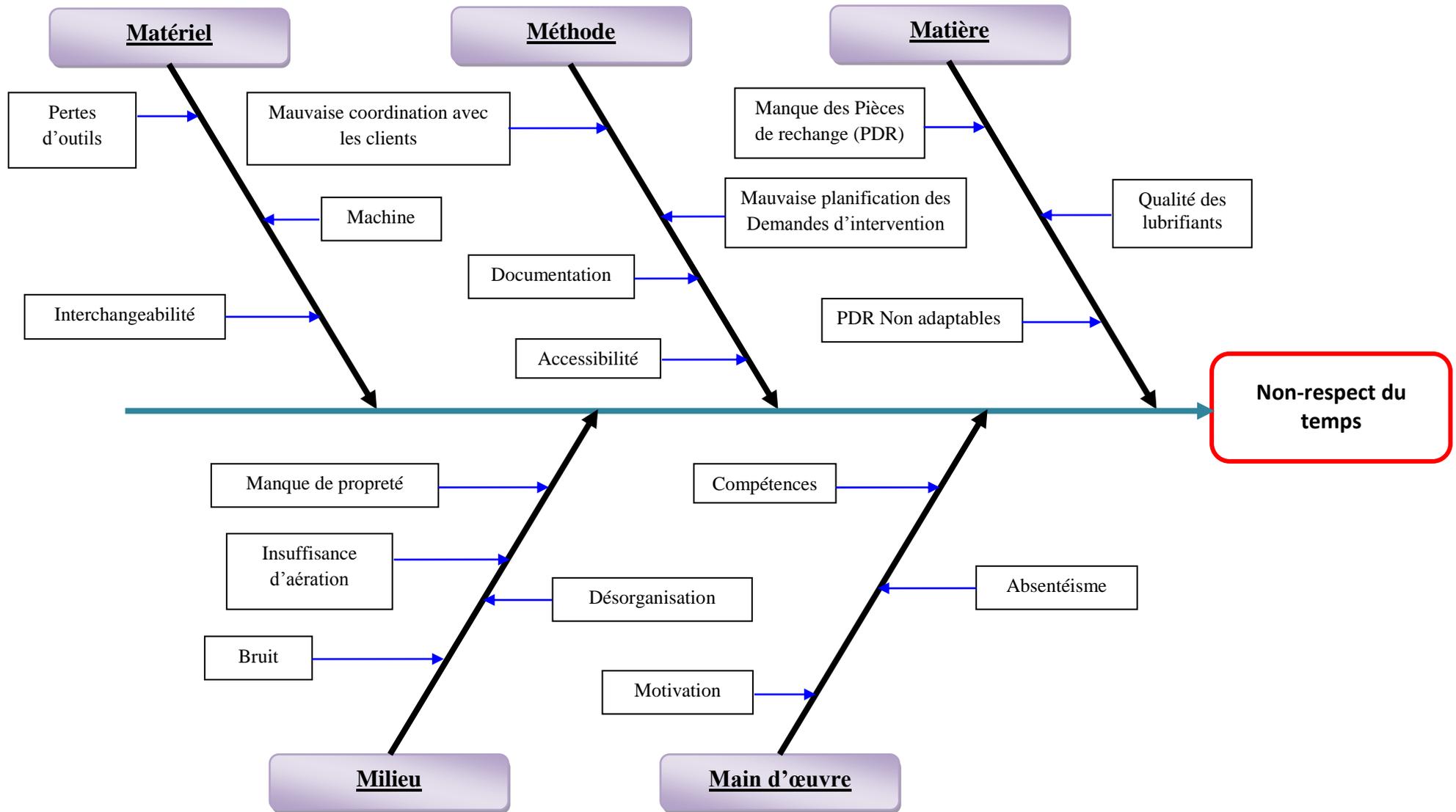


Figure III.9 : Diagramme d'Ishikawa traitant non-respect du temps

Toutefois le manque des pièces de rechange et de matières premières reste le premier problème qui cause les pertes du temps, ce qui explique l'absence d'une bonne gestion d'approvisionnement chez le magasin général qui fournit les pièces de rechange aux clients de la section AMM, pour remédier à cela il faut choisir la méthode à point de commande la plus adéquate pour la gestion des approvisionnements.

L'état des moyens matériels a aussi un grand impact sur l'existence des pertes et cela est dû à :

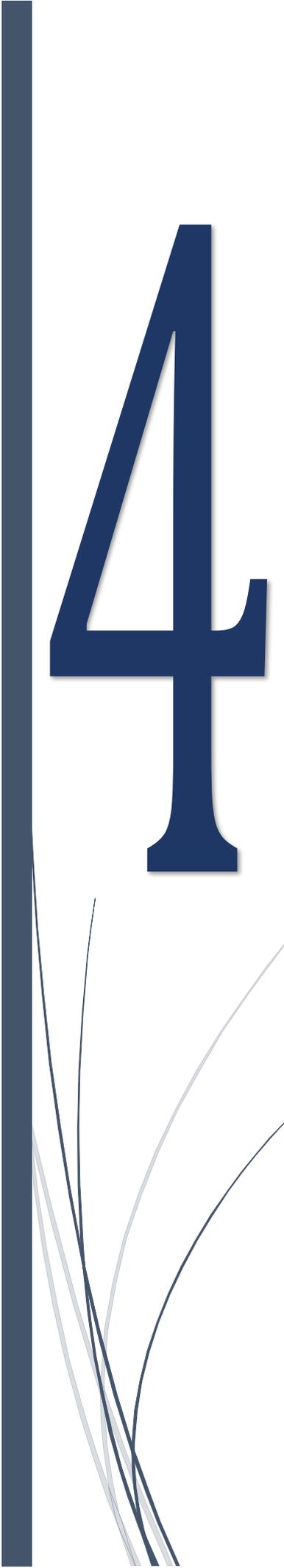
- ❖ Son insuffisance face au volume des travaux.
- ❖ Son degré de dégradation suite à son vieillissement.

On devra aussi appliquer les **5S** au sein de l'atelier et ceci pour avoir :

- ❖ Une propreté et un ordre des postes de travail.
- ❖ Une meilleure gestion de l'espace.
- ❖ Une meilleure ambiance du milieu de travail.

III.4. Conclusion

Cette étude nous a permis de détecter les pompes centrifuges les plus révisées dans la section AMM des ateliers centraux et de calculer ses grandeurs de la fiabilité, maintenabilité et disponibilité et de déceler les contraintes qui causent les pertes du temps. Par la suite nous allons faire une analyse de processus de révision détaillée des pompes les plus révisées, puis faire des améliorations appropriées.



4

CHAPITRE : ANALYSE ET AMÉLIORATION DES PROCESSUS DE RÉVISION DES POMPES CENTRIFUGES

CHAPITRE IV

ANALYSE ET AMÉLIORATION DES PROCESSUS DE RÉVISION DES POMPES CENTRIFUGES

IV.1. Description détaillée de principales pompes révisées

Avant de commencer l'analyse des processus de révision des pompes tout d'abord on doit faire une description des pompes les plus révisées, c'est ce qui est traité dans cette première partie.

IV.1.1. Description des pompes LC

Les pompes LC sont des pompes centrifuges de type monocellulaire à aspiration horizontale axial ; elles se composent :

Composants hydrauliques

- ❖ **Le conduit d'amenée** du fluide vers l'impulseur de la pompe, est un simple cône ayant son axe confondu avec l'axe de la machine. Le fluide ne subit dans ce conduit ni apport, ni prélèvement d'énergie.
- ❖ **La roue de la pompe**, ou **impulseur** est l'élément essentiel de la machine, il est constitué d'aubes, ou ailes. Les aubes sont décalées angulairement de façon régulière ; les aubes sont inclinées en arrière ; elle est fermée.
- ❖ **La volute** son rôle est de recueillir le fluide sortant à grande vitesse de l'impulseur, de le canaliser, puis de le ralentir.
- ❖ **Des dispositifs d'étanchéité internes** sont destinés à limiter le retour vers l'aspiration des débits de fuite prélevés sur le débit principal ayant traversé l'impulseur.

Composants mécaniques

Ils comprennent les éléments suivants :

- ❖ **L'arbre** a pour fonction de porter l'impulseur, et de transmettre le mouvement.
- ❖ **La pivoterie** a un rôle double : d'une part, assurer le centrage de l'arbre (fonction palier radial) ; d'autre part, absorber les efforts axiaux qui s'exercent sur l'équipage mobile (fonction butée), le palier de butée est généralement constitué de deux roulements à contact obliques montés dos à dos en X et il est situé du côté de l'accouplement. Le palier radial qui doit être glissant est constitué d'un roulement à rouleaux. Le graissage est réalisé à la graisse ou à l'huile.

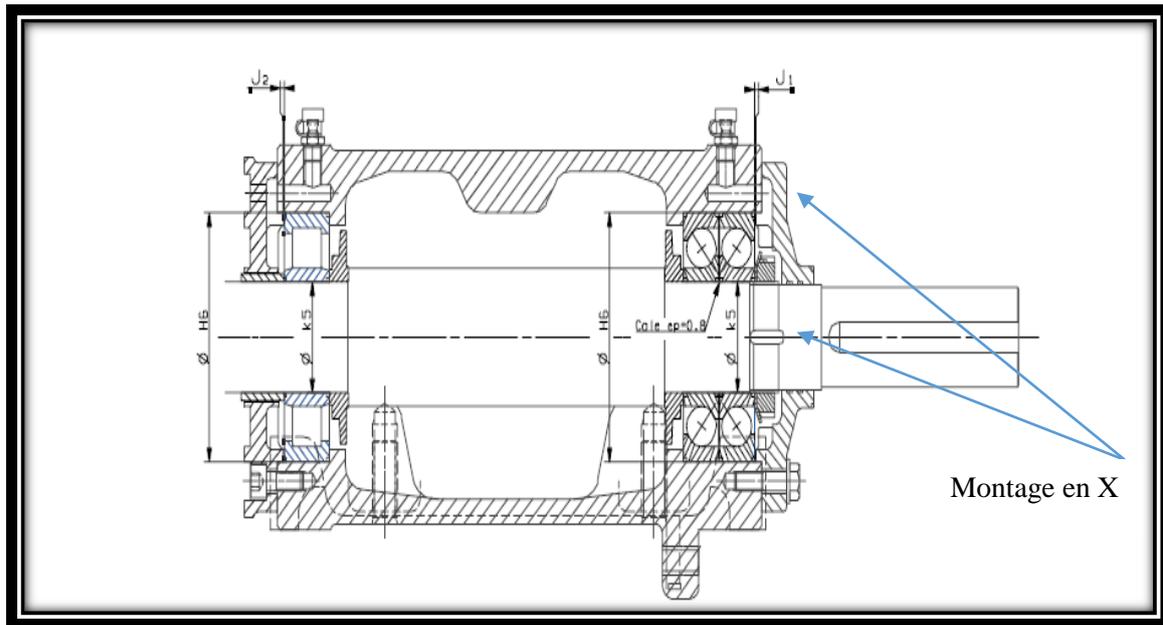


Figure IV.1 : Palier de la pompe LC

- ❖ **Un système d'étanchéité** vers l'extérieur a pour fonction d'empêcher une fuite externe ou, tout au moins, d'en limiter l'importance. Ce système est classé parmi les composants mécaniques, car il comporte des éléments de contact et de friction entre parties tournantes et parties fixes. L'étanchéité externe est assurée par une garniture mécanique.

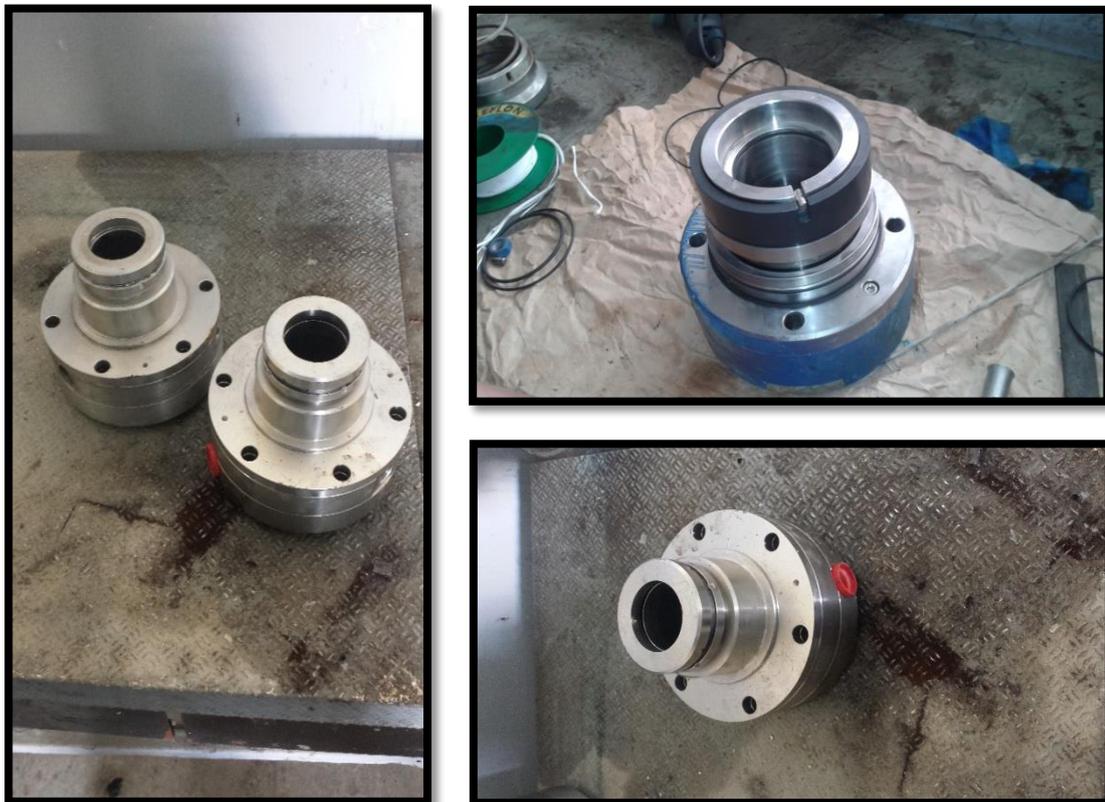


Figure IV.2 : Les Garnitures Mécaniques

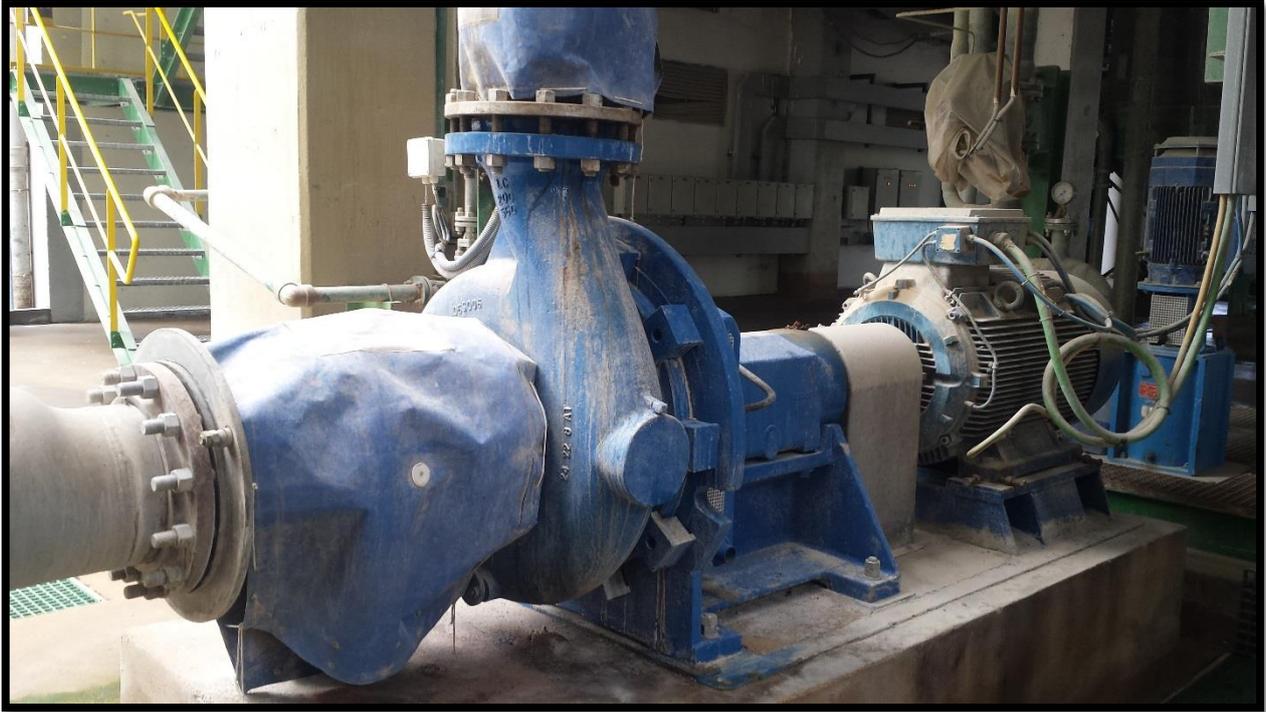


Figure IV.3 : Pompe LC

IV.1.2. Description des pompes Sulzer

C'est une pompe centrifuge de type monocellulaire qui a les mêmes composantes que la pompe LC, sauf qu'elle ne dispose pas de garniture mécanique, la garniture mécanique est remplacée par **un joint statique** qui assure l'étanchéité interne, de plus le palier de butée est constitué de deux roulements à contact obliques montés en **O**. La turbine de la pompe Sulzer est ouverte, il y'a aussi existence d'une contre turbine.



Figure IV.4 : Pompe Sulzer

IV.1.3. Description des pompes Ensival

C'est une pompe centrifuge monocellulaire, ressemble à la pompe LC sauf qu'elle possède.

- ❖ *Une roue ouverte fileté sur l'arbre.*
- ❖ *Une garniture mécanique éclatée.*
- ❖ *Un palier de butée à roulements double rangée de galets à rotule.*



Figure IV.5 : Pompe Ensival

IV.1.4. Description des pompes Puisard

Les pompes Puisard sont des pompes immergées conventionnelles de type vertical. La partie hydraulique est disposée juste au-dessus du fond du réservoir. La conduite forcée longe l'arbre d'entraînement de la pompe, passe par le couvercle avec trou d'homme pour ressortir à l'extérieur.

- ❖ La roue est disposée sur un arbre qui est fixé par des paliers de guidage lubrifiés par le liquide, plusieurs paliers sont requis selon la profondeur du réservoir.
- ❖ On considère, qu'en général, un palier de guidage est nécessaire à des intervalles de **1,2 à 1,6 m**, en fonction de la taille de la pompe.

Les paliers sont disposés dans un tube porteur fixé sur couvercle.

- ❖ L'étanchéité par rapport à l'atmosphère est assurée par un joint torique. Le moteur d'entraînement conventionnel est installé en dehors du réservoir et est utilisable pour tous les types de protection dont la protection antidéflagrante.



Figure IV.6 : Pompe Puisard

N.B : Les dessins de définitions des pompes les plus révisées sont montrées dans l'annexe 2.

IV.2. Analyse des processus de révision des principales pompes révisées

IV.2.1. Processus de révision des pompes

Tableau IV.1 : Processus révisionnelle des pompes

	DEMONTAGE	EXPERTISE	REMONTAGE
LC	<ol style="list-style-type: none"> 1. Démontage de la volute 2. Démontage de la turbine 3. Démontage du fond avec garniture mécanique 4. Démontage du boitard 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Nettoyage de l'ensemble des pièces constituant la pompe 2. Changer tous les roulements et les joints d'étanchéité 3. Contrôle visuel de tous les composants de la pompe 4. Changer les pièces où se présentent des fissures ou des usures 5. Contrôle de l'arbre 6. Contrôler des portées roulements, chemise et accouplement à l'aide d'un micromètre 7. Contrôle de la partie intérieure du boitard pour vérifier l'ajustement à l'aide d'un micromètre 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Remontage des roulements du boitard 2. Pré montage du fond et de la turbine 3. Remontage du fond avec garniture mécanique 4. Remontage de la turbine 5. Remontage de l'escargot
ENSIVAL	<ol style="list-style-type: none"> 1. Démontage de la volute 2. Démontage de la turbine 3. Démontage du fond avec garniture mécanique 4. Démontage du boitard 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Nettoyage de l'ensemble des pièces constituant la pompe 2. Changer tous les roulements et les joints d'étanchéité 3. Contrôle visuel de tous les composants de la pompe 4. Changer les pièces où se présentent des fissures ou des usures 5. Contrôle de l'arbre 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Remontage des roulements du palier 2. Remontage du fond avec garniture mécanique 3. Remontage de la turbine 4. Remontage de la volute

SULZER	<ol style="list-style-type: none"> 1. Démontage de la volute 2. Démontage de la turbine 3. Démontage du fond et les pièces associées 4. Démontage du boitard 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Nettoyage de l'ensemble des pièces constituant la pompe 2. Changer tous les roulements et les joints d'étanchéité 3. Contrôle visuel de tous les composants de la pompe 4. Changer les pièces où se présentent des fissures ou des usures 5. Contrôle de l'arbre 6. Contrôler des portées roulements, chemise et accouplement à l'aide d'un micromètre 7. Contrôler de la partie intérieure du boitard pour vérifier l'ajustement à l'aide d'un micromètre 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Remontage du boitard 2. Remontage du fond et les pièces associées 3. Remontage de la turbine 4. Remontage de la volute
PUISARD	<ol style="list-style-type: none"> 1. Démontage de l'escargot 2. Démontage de la turbine 3. Démontage du fond 4. Desserrage et démontage du tuyau de suspension 5. Démontage du boitier des roulements 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Nettoyage de l'ensemble des pièces constituant la pompe 2. Changer tous les roulements et les joints d'étanchéité (Arrêt d'huile, Vring, Joint torique) 3. Contrôle visuel de tous les composants de la pompe 4. Changer les pièces où se présentent des fissures ou des usures 5. Contrôle de l'arbre 6. Contrôler des portées roulements 7. Contrôle du fond, la turbine et l'escargot 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Remontage du boitier des roulements 2. Remontage du tuyau de suspension 3. Pré montage du fond et de la turbine 4. Remontage du fond 5. Remontage de la turbine 6. Remontage de l'escargot

IV.2.2. Analyse révisiionnelle

Afin d'analyser les processus de révision qu'on a déjà vue précédemment pour chaque pompe, nous nous sommes basés sur une version ancienne des modes opératoires concernant ces pompes et nous allons trouver les résultats comme suivants.

Tableau IV.2 : Temps de révision des principales pompes révisées

Pompes	Gamme de révision	Temps de révision	Déduction
LC	Démontage	1 h 35 min	$T_{\text{rév}} > 2 \text{ h } 55 \text{ min}$ $\rightarrow T_{\text{dém/mon}} = 2 \text{ h } 55 \text{ min}$
	Expertise	<u>Indéterminé</u>	
	Remontage	1 h 20 min	
Ensival	Démontage	1 h 15 min	$T_{\text{rév}} > 2 \text{ h } 35 \text{ min}$ $\rightarrow T_{\text{dém/mon}} = 2 \text{ h } 35 \text{ min}$
	Expertise	<u>Indéterminé</u>	
	Remontage	1 h 20 min	
Sulzer	Démontage	1 h 20 min	$T_{\text{rév}} > 2 \text{ h } 10 \text{ min}$ $\rightarrow T_{\text{dém/mon}} = 2 \text{ h } 10 \text{ min}$
	Expertise	<u>Indéterminé</u>	
	Remontage	50 min	
Puisard	Démontage	1 h 12 min	$T_{\text{rév}} > 2 \text{ h } 22 \text{ min}$ $\rightarrow T_{\text{dém/mon}} = 2 \text{ h } 22 \text{ min}$
	Expertise	<u>Indéterminé</u>	
	Remontage	1 h 10 min	

On remarque que les pompes LC prennent un temps de démontage/montage très important par rapport aux autres types ce qui va nous amener de déduire que les pompes LC est beaucoup plus compliqué à démonter/monter et ça revient à leurs conception mécanique.

Concernant le temps d'expertise, malheureusement il est indéterminable car il dépend selon la complexité de révision de la pompe ce qui provoque le retard de livraison de l'équipement dans le délai négocié, par conséquent on aura un effet négatif sur l'évolution du taux de satisfaction qu'on peut calculer par la relation suivante :

$$\tau_s = \frac{\text{Bons de travaux réalisées dans le délai négocié}}{\text{Bons de travaux reçues}} \quad (2)$$

Tableau IV.3 : Taux de satisfaction des 2 dernières années

Année	2015	2016
Bons de travaux reçus	127	120
Bons de travaux réalisés dans le délai négocié	79	92
Taux de satisfaction	62,20%	76,76%

On voit qu'il existe une augmentation à peu près **15%** du taux de satisfaction de **2015 à 2016**, et maintenu à plus de **70 %** durant **2016**, mais ce taux reste inférieur aux objectifs souhaités cela est dû principalement à la mauvaise gestion et l'indisponibilité des pièces de rechange.

IV.3. Etude améliorative concernant la révision des pompes

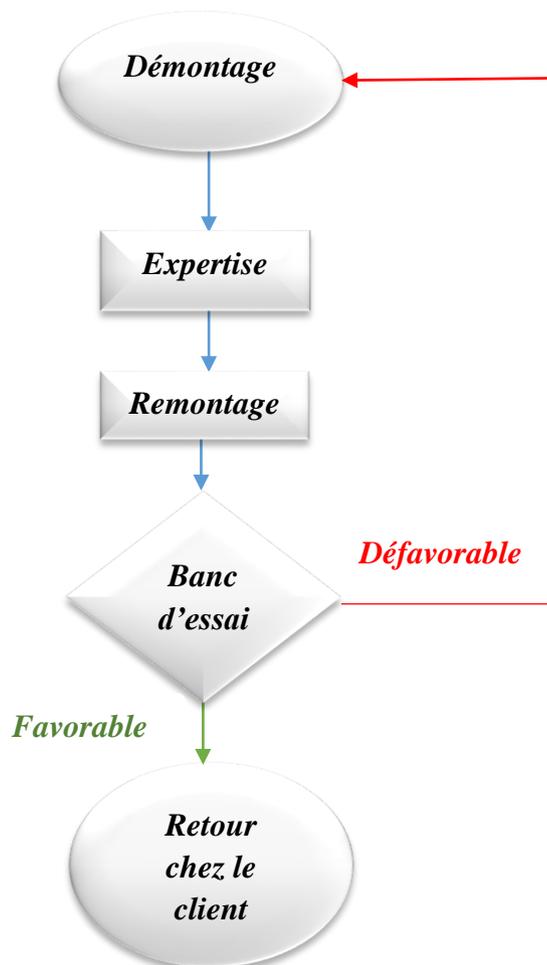
Au cours de la révision des pompes centrifuges au sein de la section **AMM**, le responsable de maintenance recommande d'adopter un programme de maintenance correspondant à ces instructions d'utilisation et comprenant les points suivants :

- ❖ La pompe doit être complètement aérée et purgée, et rendue inerte avant toute opération de démontage.
- ❖ Tous les systèmes auxiliaires installés doivent être contrôlés, si nécessaire, pour s'assurer qu'ils fonctionnent correctement.
- ❖ Pendant le nettoyage de la pompe il faut s'assurer de la compatibilité entre les produits de nettoyage et les joints.
- ❖ Vérifier l'état des joints.
- ❖ Les garnitures de presse-étoupe doivent être réglées correctement pour que les fuites soient visibles et pour obtenir un alignement concentrique du suiveur de presse-étoupe afin d'éviter les températures excessives de la garniture ou du suiveur.
→ Il ne doit pas y avoir de fuite au niveau des garnitures mécaniques.
- ❖ Inspecter pour détecter les fuites des joints et des garnitures.
→ On doit vérifier régulièrement le bon fonctionnement de la garniture d'étanchéité de L'arbre.
- ❖ Vérifier le niveau de lubrifiant du palier, et vérifier si le nombre d'heures de fonctionnement indique qu'il est temps de remplacer le lubrifiant.
- ❖ Vérifier que les conditions d'utilisation correspondent à l'intervalle de sécurité de fonctionnement pour la pompe.

- ❖ Mesurer les vibrations, le niveau sonore et la température de surface des paliers pour confirmer le bon fonctionnement.
- ❖ Vérifier le serrage des connexions.
- ❖ Enlever la poussière et la saleté dans les zones autour des pièces à jeux réduits, des corps de paliers et des moteurs.
- ❖ Vérifier l'alignement de l'accouplement et le réaligner si nécessaire.
- ❖ **Vérifier le bon fonctionnement du système.**

↳ C'est l'objectif de la partie suivante qui consiste à faire une amélioration sur le processus de révision des pompes par l'ajoute d'une autre gamme de plus s'appelle **banc d'essai**.

Pour cela nous proposons de rendre le processus de révision comme montre le logigramme suivant :



D'après les opérateurs nous avons conclu que la pompe LC 450/500 est la seule parmi les pompes les plus révisés ayant une grande chance de rester en panne après la révision.

Pour que notre nouvelle gamme soit **réalisable**, elle nécessite d'avoir un **châssis** et un **système poulie-courroie**.

Ainsi, la suite de ce chapitre va fonder sur une étude globale du châssis associée à la pompe LC 450/500 et ensuite un choix justifiant de la courroie qui fait la transmission de la puissance du moteur vers l'impulseur de la pompe comme illustre le schéma au-dessous.

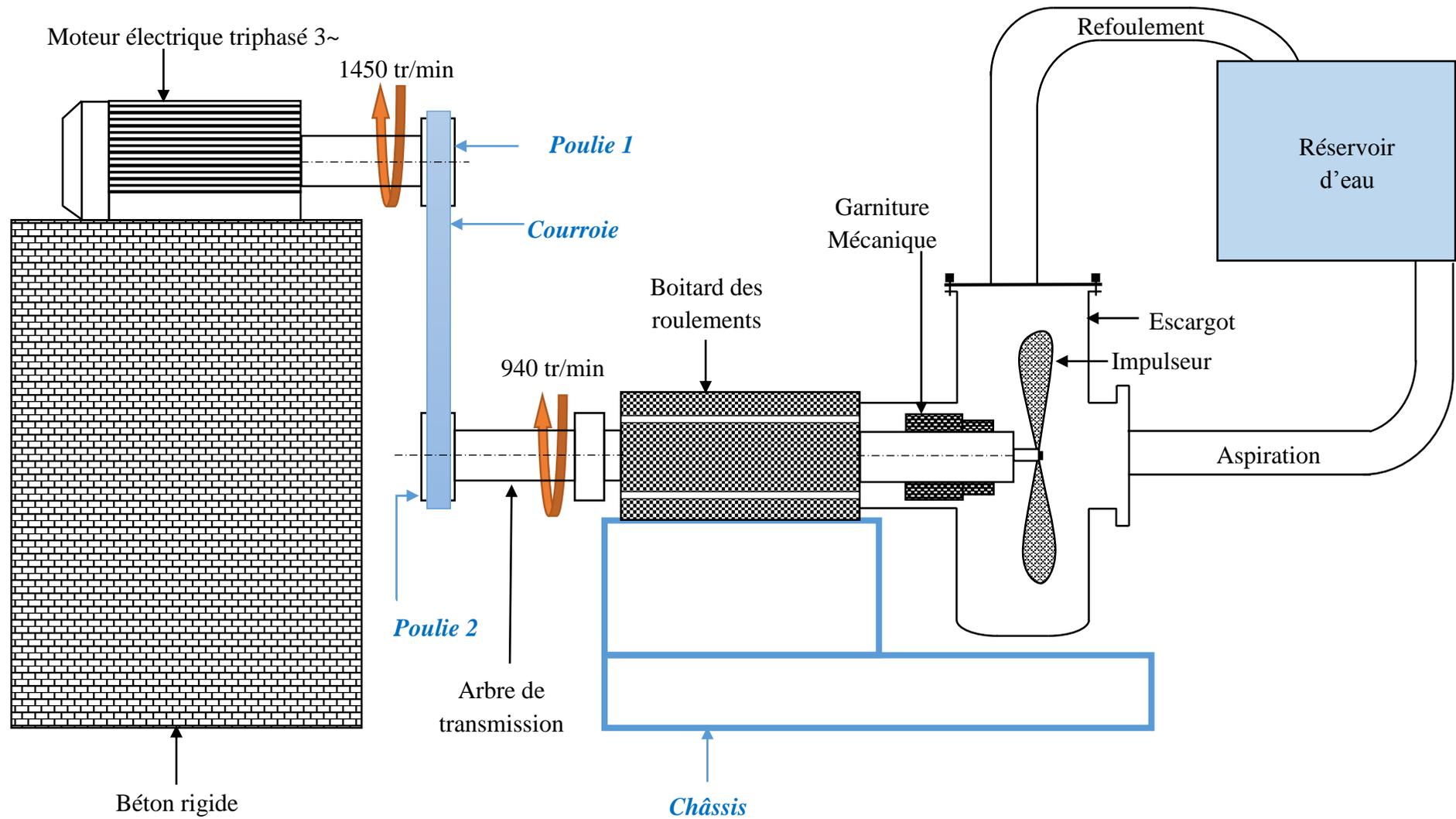


Figure IV.7 : Schéma descriptive du banc d'essai

IV.3.1. Etude conceptuelle du châssis

Tout d'abord nous allons faire une conception mécanique avec une simulation numérique du châssis.

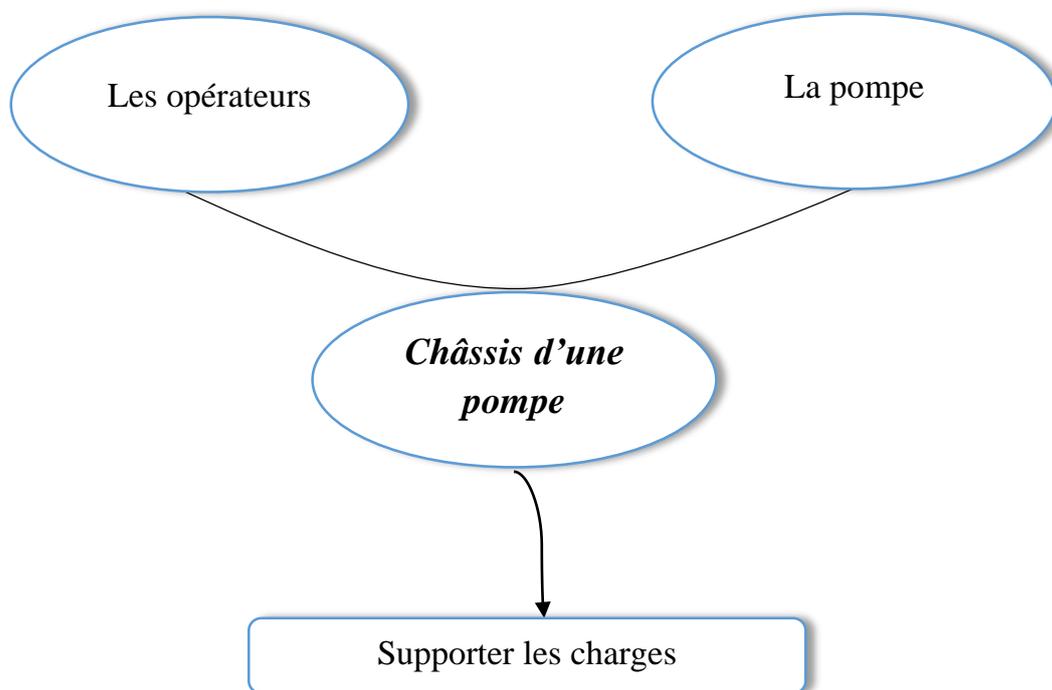
III.3.1.1. Identification du concept

1. Définition

Un châssis est un cadre rigide ou mobile fait d'une matière résistante, destiné à entourer ou supporter quelque chose.

III.3.1.2. Analyse fonctionnelle

1. Diagramme bête à corne



Cet outil de représentation est là pour répondre à **trois questions fondamentales** ;

✂ **A qui le produit rend-t-il service ?**

Il rend service aux opérateurs des ACX.

✂ **Sur quoi agit-il ?**

Il agit sur la pompe.

✂ **Dans quel but ?**

Il peut servir à de nombreuses utilisations, notamment que le châssis permet de positionner et supporter la charge statique et dynamique de la pompe.

2. Diagramme de pieuvre

Le diagramme ci-dessous recense les fonctions de service (**principales et de contraintes**) que doit assurer le châssis avec les éléments du milieu extérieur.

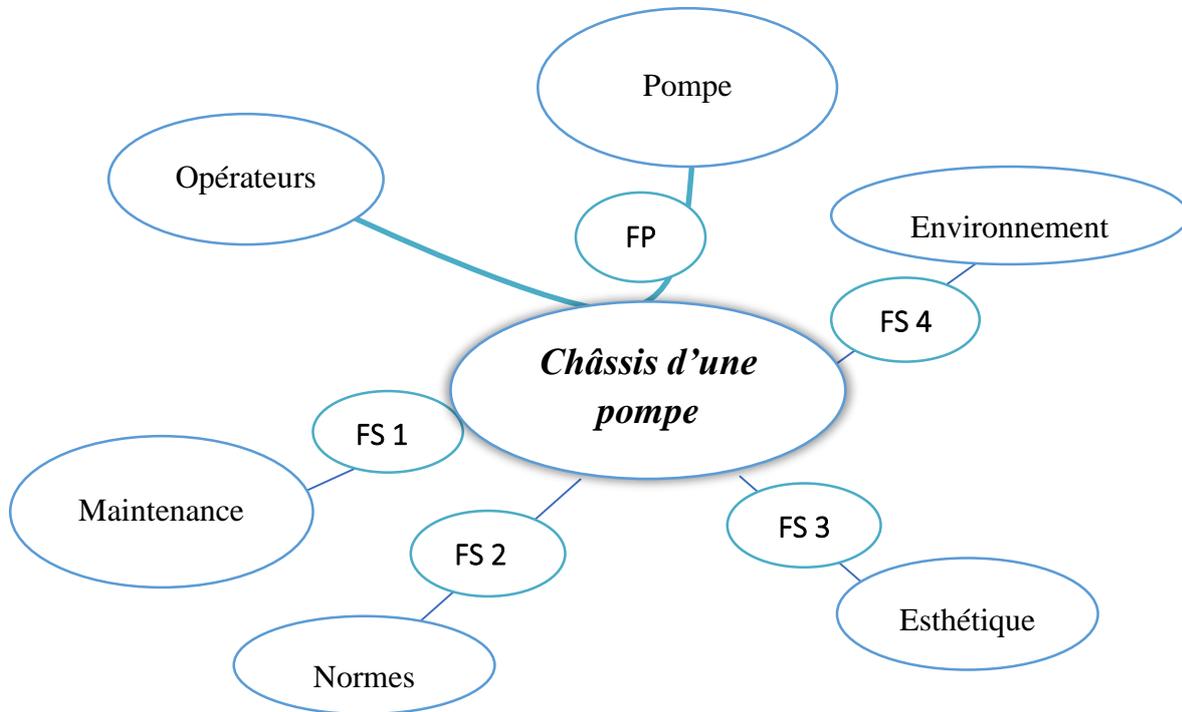


Tableau IV.4 : Significations fonctionnels

Fonctions	Significations
FP	Supporter la charge statique et dynamique de la pompe
FS 1	Facile à entretenir et maintenir
FS 2	Respecter les normes en vigueur
FS 3	Plaire à l'opérateur
FS 4	S'adapter à l'environnement

IV.3.2. Analyse structurelle

Tout d'abord nous avons notre structure qui ce n'est autre qu'un châssis de la pompe LC 450/500, par la suite nous allons faire une analyse complète de toute la structure afin de la valider conceptuellement.

IV.3.2.1. Analyse statique

IV.3.2.1.1. Exposition de la problématique

1. Enoncé

Durant cette étude on va analyser numériquement et statiquement le comportement d'un châssis à l'aide d'un logiciel élément fini.

Ici c'est **ANSYS 15-WORKBENCH**.

2. Concept préliminaire

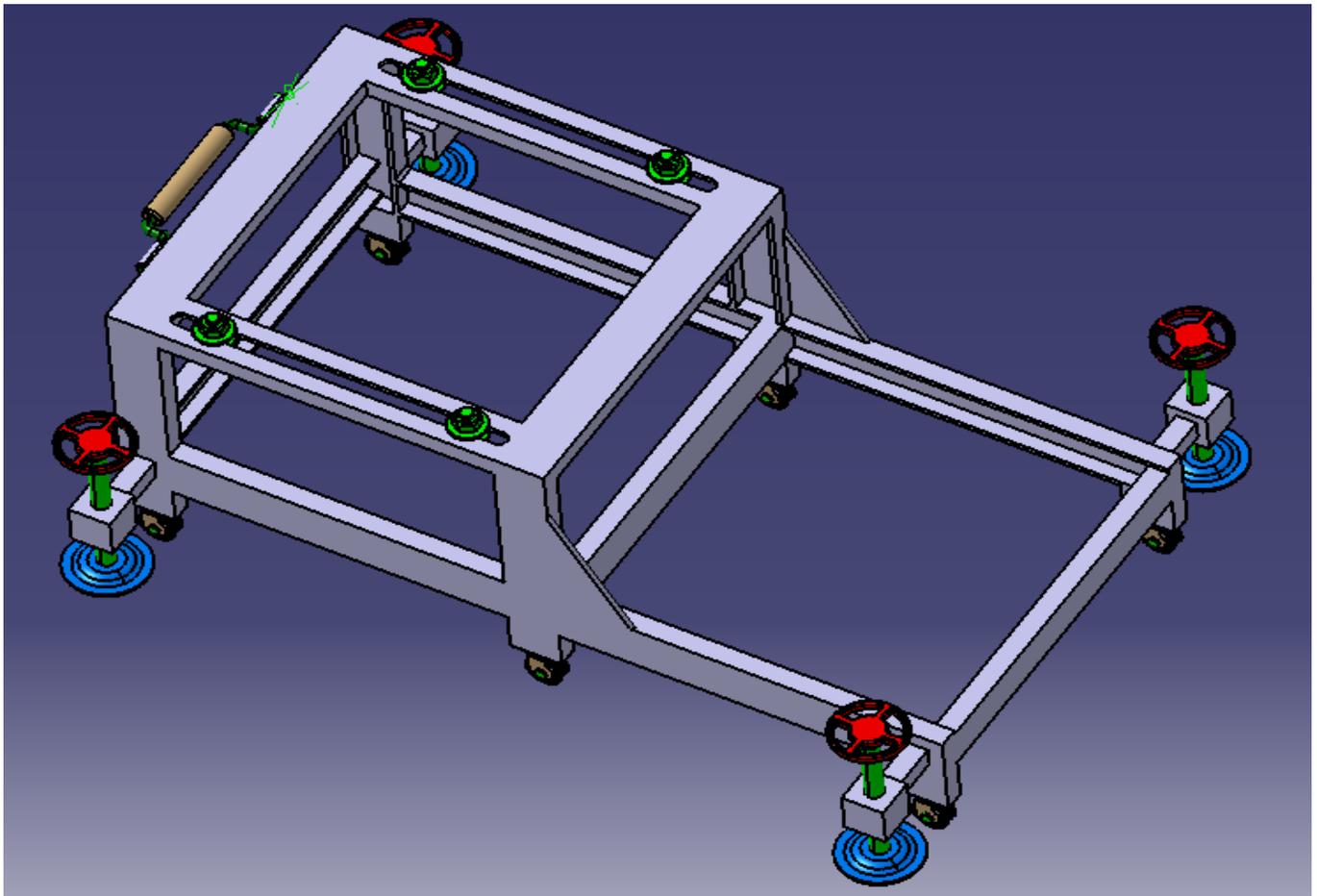


Figure IV.8 : Conception d'un châssis sous CATIA V5 R21

3. Contexte pédagogique

La présente étude vise à se familiariser avec la notion de convergence dans l'analyse statique par éléments finis.

4. Objectif

Sachant que le matériau utilisé pour la pièce est ductile et que le problème est statique, l'objectif de l'étude est de vérifier le critère de résistance de Von misés et de choisir le matériau ayant un coefficient de sécurité le plus grand et le moins chère.

IV.3.2.1.2. Données du problème

1. Choix du matériau

En se basant sur le logiciel **CES-Edupack** pour déterminer les matériaux qu'ont un allongement A assez faible et une limite élastique R_e plus élevé.

Soit l'indice de performance avec lequel on va trouver notre domaine :

$$I_M = f(R_e, A)$$

Ainsi les meilleurs matériaux choisis respectant I_M ;

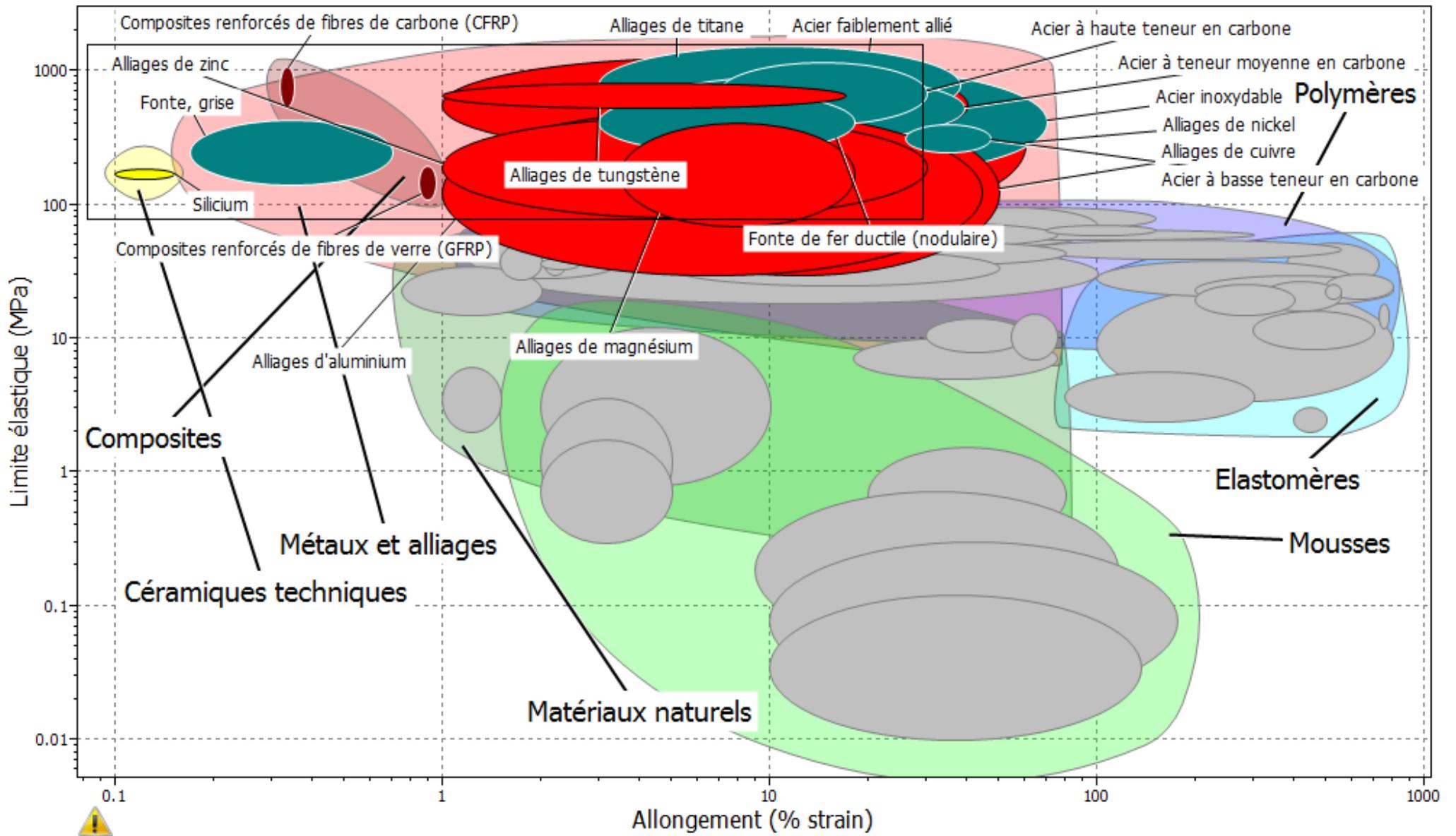


Figure IV.9 : Champs des matériaux

Il nous reste maintenant de choisir le matériau ou bien les matériaux ayant un facteur de sélection M , d'unité $\text{GPa} \cdot \text{€}^{-1} \cdot \text{Kg}$, plus grand qu'on le définit par la relation suivante :

$$M = \frac{\text{Module de young}}{\text{Coût}} \quad (3)$$

Tableau IV.5 : Calcul statistique associé aux propriétés des matériaux

Les matériaux	E	Coût	M	% M	Cumulé M	% cumulé
Acier à basse teneur en carbone	207,5	0,5145	403,3042	17,95%	403,3042	17,95%
Acier à teneur moyenne en carbone	208	0,544	382,3529	17,02%	785,6571	34,98%
Acier à haute teneur en carbone	207,5	0,5845	355,0043	15,80%	1140,661	50,78%
Fonte de fer ductile	172,5	0,5	345	15,36%	1485,661	66,14%
Acier faiblement allié	211	0,6875	306,9091	13,66%	1792,571	79,80%
Fonte grise	109	0,4375	249,1429	11,09%	2041,713	90,89%
Alliage de Zinc	81,5	1,86	43,8172	1,95%	2085,531	92,84%
Alliage d'aluminium	75	1,805	41,55125	1,85%	2127,082	94,69%
Acier inoxydable	199,5	6,375	31,29412	1,39%	2158,376	96,09%
Alliage de cuivre	130	5,335	24,36739	1,08%	2182,743	97,17%
Alliage de tungstène	345	17,1	20,17544	0,90%	2202,919	98,07%
Silicium	147,5	8,89	16,59168	0,74%	2219,51	98,81%
Alliage de magnésium	44,5	3,615	12,30982	0,55%	2231,82	99,36%
Alliage de nickel	205	29,7	6,902357	0,31%	2238,723	99,66%
CFRP	109,5	30,9	3,543689	0,16%	2242,266	99,82%
Alliage de titane	115	44,5	2,58427	0,12%	2244,851	99,94%
GFRP	21,5	14,95	1,438127	0,06%	2246,289	100,00%
Total	2589,5	168,298	2246,28874	100,00%	2246,289	100,00%

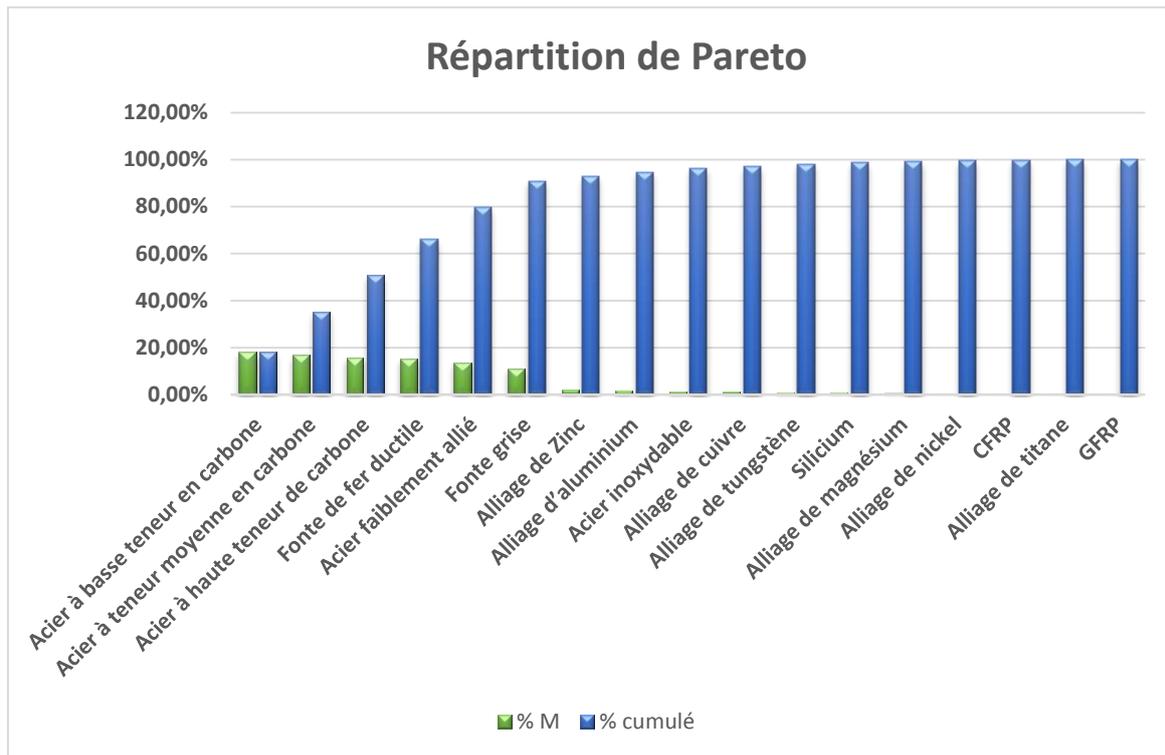
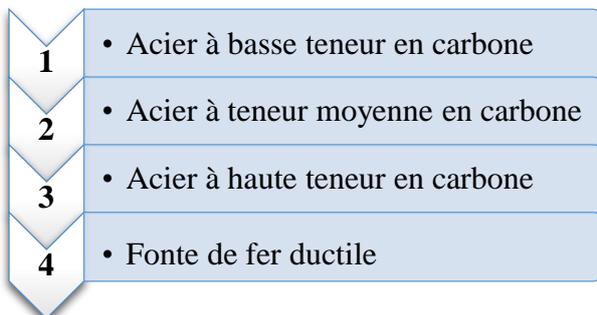


Figure IV.10 : Distribution des matériaux

On constate ainsi que les Matériau les plus satisfaisantes à notre conception sont **Acier à basse teneur en carbone, Acier à teneur moyenne en carbone, Acier à haute teneur en carbone et Fonte de fer ductile** ; ces quatre matériaux représentent à peu près **80 %** de la totalité des matériaux choisis.

Ainsi nous avons bien définis notre domaine des matériaux avec lesquels on va simuler notre structure à chacun seul et on va déterminer par la suite le matériau qui satisfait notre objectif de base.



2. Propriétés des matériaux

Les propriétés de ces matériaux seront utilisées dans l'analyse. Ils sont donnés ci-dessous.

Tableau IV.6 : Propriétés mécaniques des matériaux

<u>Propriétés</u>	<u>Acier à basse teneur en carbone</u>	<u>Acier à teneur moyenne en carbone</u>	<u>Acier à haute teneur en carbone</u>	<u>Fonte de fer ductile</u>
<i>Masse volumique (Kg/m³) - ρ</i>	7850	7850	7850	7150
<i>Module d'élasticité (GPa) - E</i>	207,5	208	207,5	172,5
<i>Module de cisaillement (GPa) - G</i>	81,5	81	80,5	67,5
<i>Coefficient de poisson - ν</i>	0,29	0,29	0,29	0,27
<i>Résistance ultime en tension (MPa) - S_{ut}</i>	462,5	805	1095	620
<i>Coefficient de dilatation thermique (C⁻¹)</i>	$1,225 \cdot 10^{-5}$	$1,2 \cdot 10^{-5}$	$1,225 \cdot 10^{-5}$	$1,125 \cdot 10^{-5}$
<i>Limite d'écoulement (MPa) - S_y</i>	322,5	602,5	780	465
<i>Résistance ultime en compression (MPa) - S_{uc}</i>	322,5	1032,5	747,5	520

3. Hypothèses simplificatrices

- ✗ Dans l'analyse, on néglige les roulettes situées à l'extrémité inférieure du châssis qui sont encastées via un soudage par des butées et qui servent à le déplacer facilement par rapport à les autres postes.
- ✗ La manchette qui se situe dans l'extrémité gauche du châssis sert à le déplacer confortablement.
- ✗ Ces roulettes et la manchette ont des dimensions très faibles devant les dimensions du châssis et n'ont aucun rôle structural.
- ✗ Le cadre fait approximativement **172 Kg**. Cette masse est non négligeable par rapport à la masse d'environ **5,2 tonnes** supportée de la pompe parce qu'elle présente à peu près **3,30%** de cette dernière. Par conséquent, l'effet de la gravité sera tenir en compte.
- ✗ Les pré-maintiens existant dans les ovales servent à fixer le boîtier de la pompe dans le châssis, par la suite on les néglige car ils n'ont aucun effet structural.

4. Calcul statique

On utilise une accélération gravitationnelle de $9,81\text{m/s}^2$ pour calculer le poids de la pompe exerçant sous forme d'un effort sur le châssis.

Soit les caractéristiques mécaniques et hydrauliques de la pompe LC 450/500

<i>Marque</i>	<i>DRESSER POMPE (J.S) ou équivalent</i>
<i>Type</i>	LC 450/500 ou équivalent
<i>Débit nominal</i>	2200 m ³ /h
<i>Débit mini/Maxi</i>	2000/2600m ³ /h
<i>Vitesse tr/mn</i>	940 max
<i>HET mini/Maxi</i>	12.5/18 mcl
<i>NPSH requise</i>	8 mcl
<i>Nature de fluide</i>	acide phosphorique 54% en P2O5
<i>Poids</i>	5200kg
<i>Température</i>	76.6°C
<i>Puissance moteur</i>	22 KW
<i>Matière</i>	fonte au chrome

Ce qui implique que ;

$$R = P_{\text{pompe}} = M_{\text{pompe}} \cdot g = 5200 \cdot 9,81 = 51012 \text{ N}$$



Centre de gravité

On sait que ;

$$\vec{M} = \overline{GM} \wedge \vec{R} = (D.\vec{e}_z + C.\vec{e}_x) \wedge R.\vec{e}_x = R.D \vec{e}_y$$

Or ; A = 615 mm et B = 200 mm

$$\rightarrow D = A - B = 615 - 200 = 415 \text{ mm}$$

Ainsi ; la pompe exerce un moment suivant l'axe de rotation \vec{e}_y sur le châssis

$$M_y = \vec{M} \cdot \vec{e}_y = R \cdot D = P_{\text{pompe}} \cdot D = 51\,012 \cdot 415 = \mathbf{21\,169\,980 \text{ N.mm}}$$

Par conséquent le torseur statique appliqué sur le châssis est :

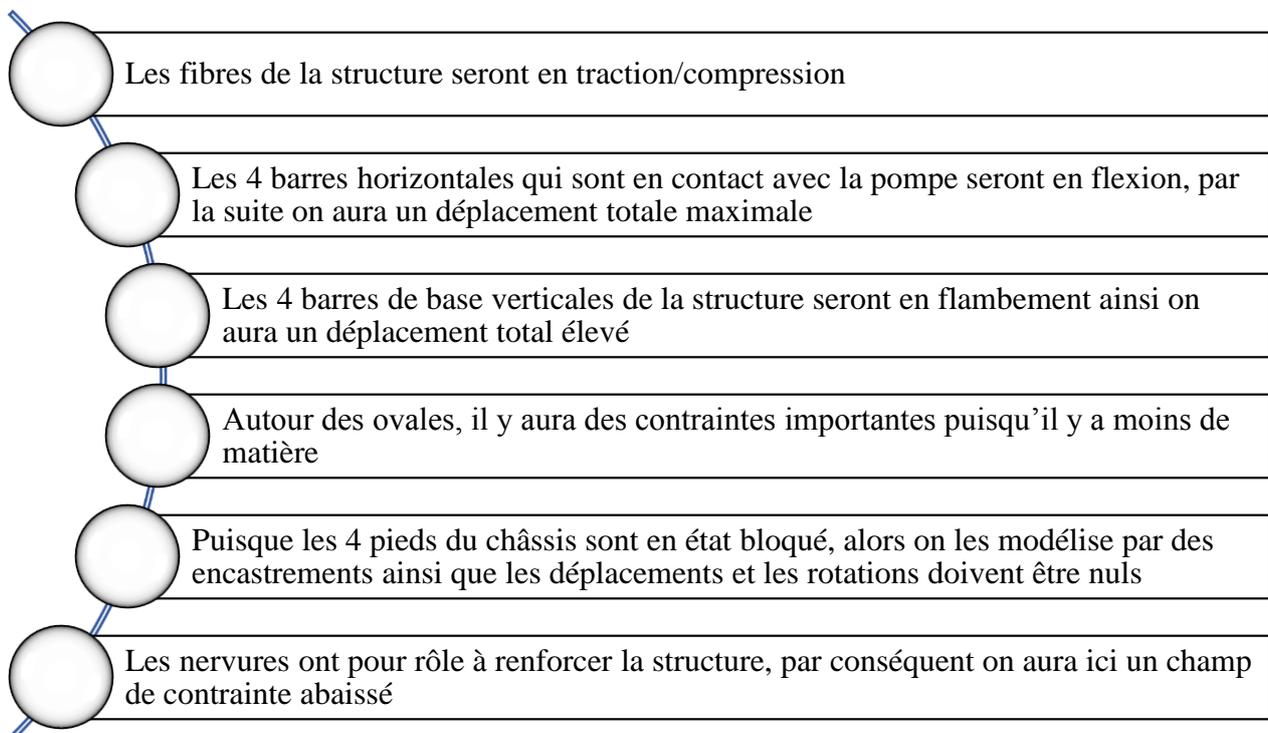
$$\mathbf{T}_s = \begin{pmatrix} 51012 & 0 \\ 0 & 21\,169\,980 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}_{R(\vec{e}_x, \vec{e}_y, \vec{e}_z)}$$

5. Effet de concentration de contrainte sur les matériaux

Ces matériaux avec beaucoup de porosité incluent. Ce qui a pour effet, du moins en statique, de réduire les concentrations de contrainte. Par conséquent, les résultats obtenus par la méthode des éléments finis devront être interprétés en conséquence et ne pas surévaluer l'importance des concentrations de contrainte.

IV.3.2.1.3. Résultats anticipés

1. Qualitatifs



IV.3.2.1.4. Planification du modèle numérique

1. Type de problème

On fera une analyse statique afin de calculer les déplacements, les contraintes, les déformations et les coefficients de sécurité.

- ✎ On peut modéliser la structure avec des éléments solides parce qu'elle est construite généralement par des barres en forme U et qui sont épaisses.
- ✎ Comme le torseur statique appliqué sur le châssis est réparti uniformément sur toute la structure alors ce dernier présentera un état de contrainte **3D**. On peut donc résoudre le problème physique en **3D** et pas en **2D**.
- ✎ Une modélisation **3D** serait ici utile même si qu'elle est beaucoup plus fastidieuse en termes de mise en œuvre, de convergence et de temps de calcul.

2. Modèle géométrique

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

Les roulettes, les pré-maintiens et la manchette sont négligés pour les raisons mentionnées dans la section « *Hypothèses simplificatrices* ».

- ✎ Concept étudié sous Catia V5-R21

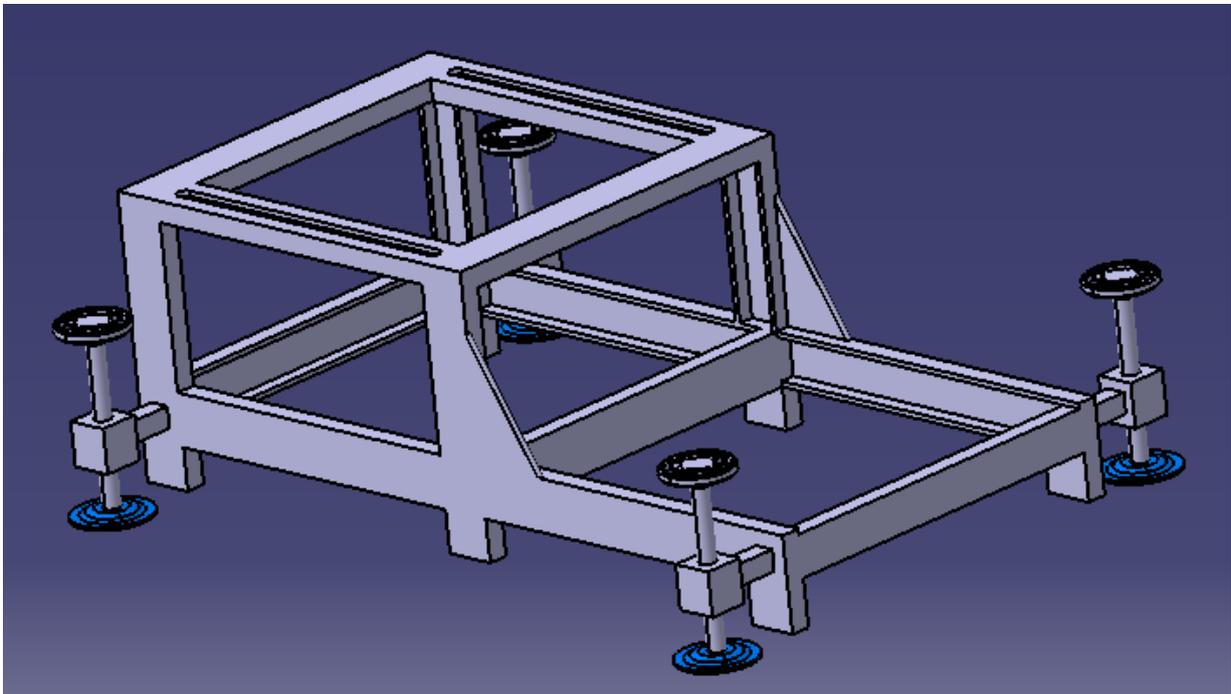


Figure IV.11 : Structure simplifié

Définition

Sélection : New_chassis.1\Corps principal...Product1_AllCATPart

Résultats

Mode de calcul : Exact

Type : Volume

Caractéristiques		Centre de gravité (G)	
Volume	0,022m ³	Gx	-104,8mm
Aire	3,999m ²	Gy	375,014mm
Masse	171,921kg	Gz	590,567mm
Masse volumique	7850kg_m ³		

Inertie / G | Inertie / O | Inertie / P | Inertie / Axis | Inertie / système d'axe

Matrice d'inertie / G

loxG	81,757kgxm ²	loyG	61,707kgxm ²	lozG	29,959kgxm ²
lyyG	-1,072e-004kgxm ²	lzxG	-4,302kgxm ²	lyzG	6,585e-004kgxm ²

Moments principaux / G

M1	29,604kgxm ²	M2	61,707kgxm ²	M3	82,111kgxm ²
----	-------------------------	----	-------------------------	----	-------------------------

Garder les mesures

Créer la géométrie Exporter Personnaliser...

OK Annuler

Figure IV.12 : Paramètres géométrique du solide

Importation sur ANSYS 15-WORKBENCH

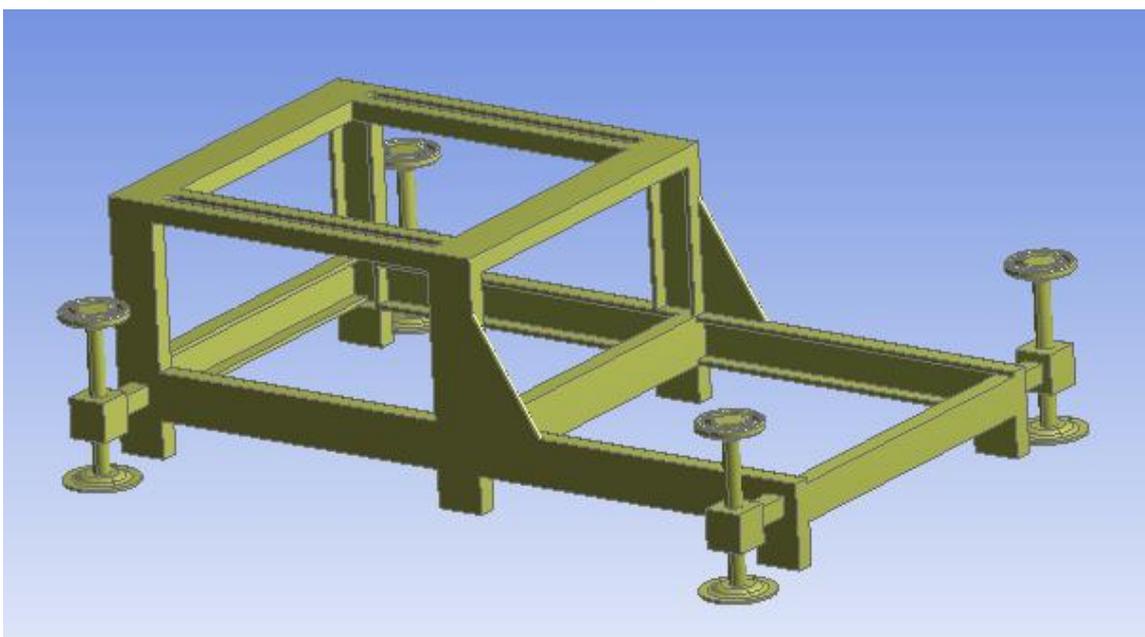
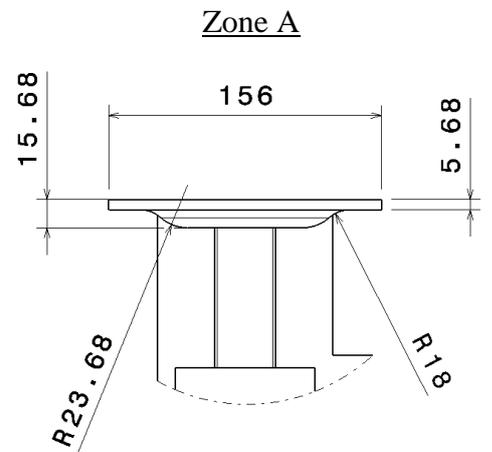
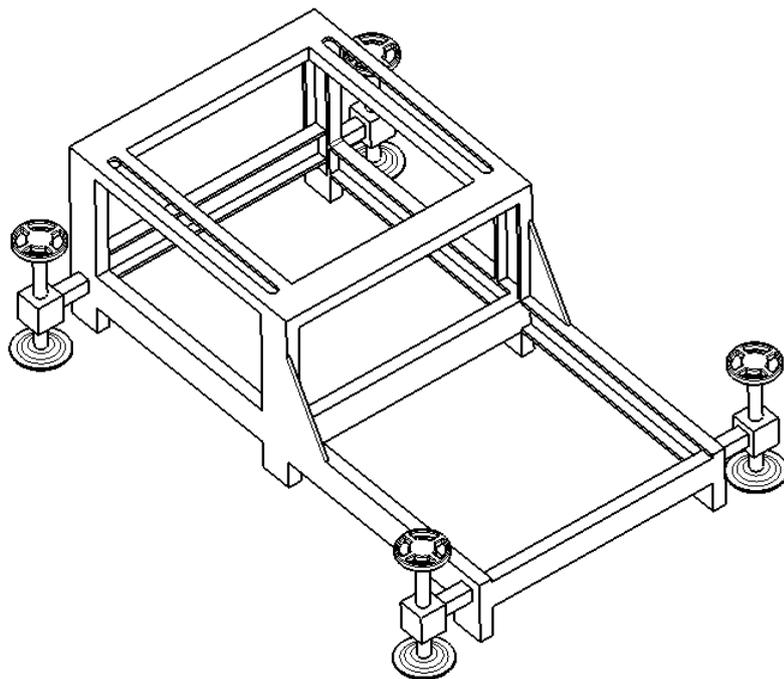
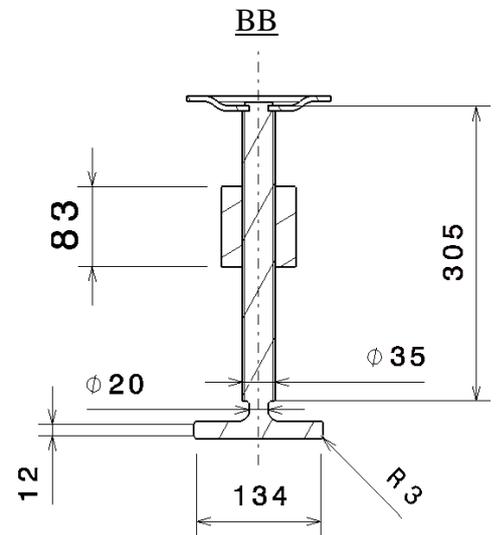
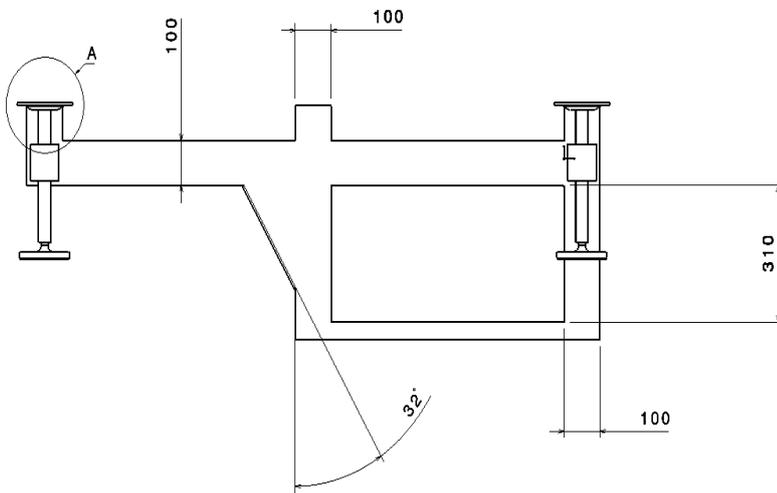
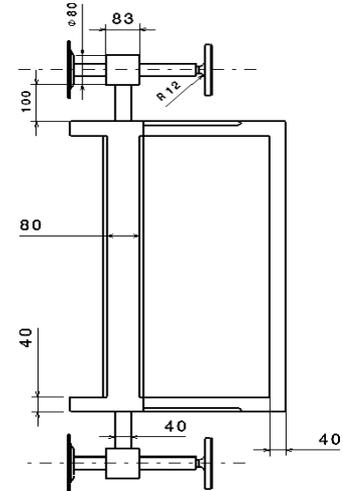
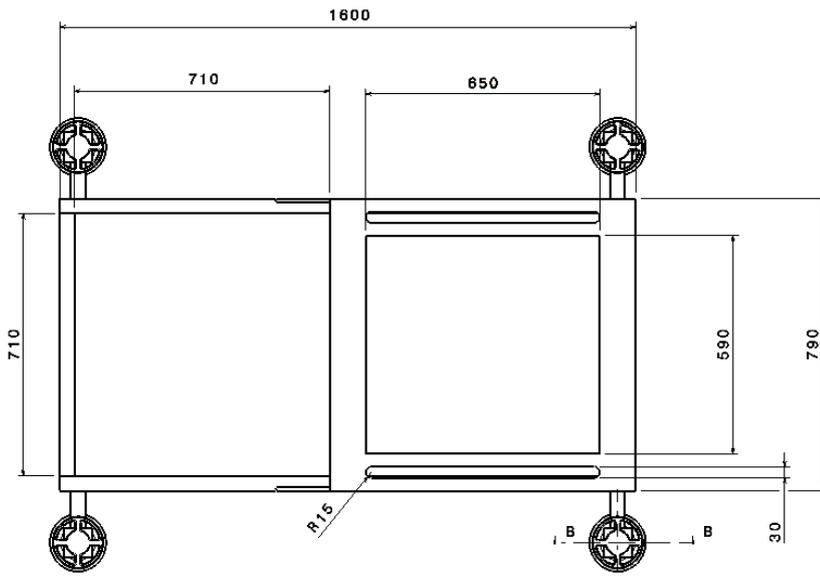


Figure IV.13 : Structure importé en ANSYS15-WORKBENCH

3. Dimensions



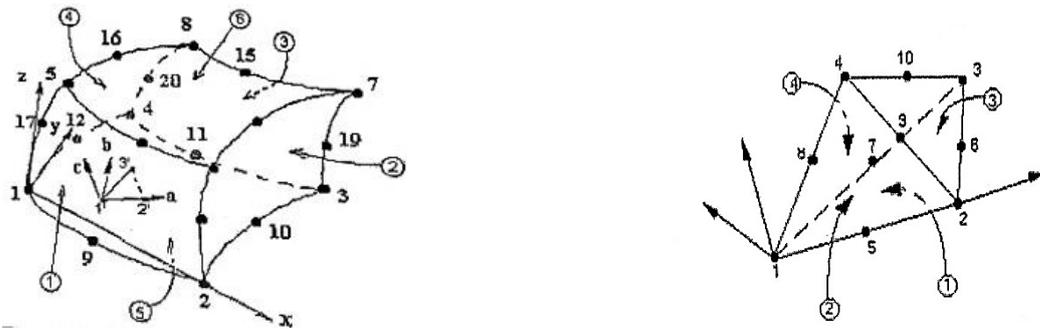
4. Maillage

Le maillage de la géométrie utilisera principalement des éléments solides **3D** tétraèdres (prisme) paraboliques et quelques éléments **3D** hexaèdres (brique) paraboliques.

Les raisons du choix des éléments sont :

- ✗ Analyse **3D** en état de contrainte → éléments **3D**.
- ✗ Compression/Traction → éléments solides.
- ✗ Forme prismatique → éléments hexaèdres (convergent mieux que tétraèdres).
- ✗ Ovalisation → éléments tétraèdres (convergent mieux qu'hexaèdres).
- ✗ Forme arrondie due aux voulants → éléments tétraèdres (aide à minimiser distorsion).
- ✗ Flambement → éléments paraboliques (représentent mieux les déplacements).

5. Propriétés physique des éléments



6. Conditions aux frontières

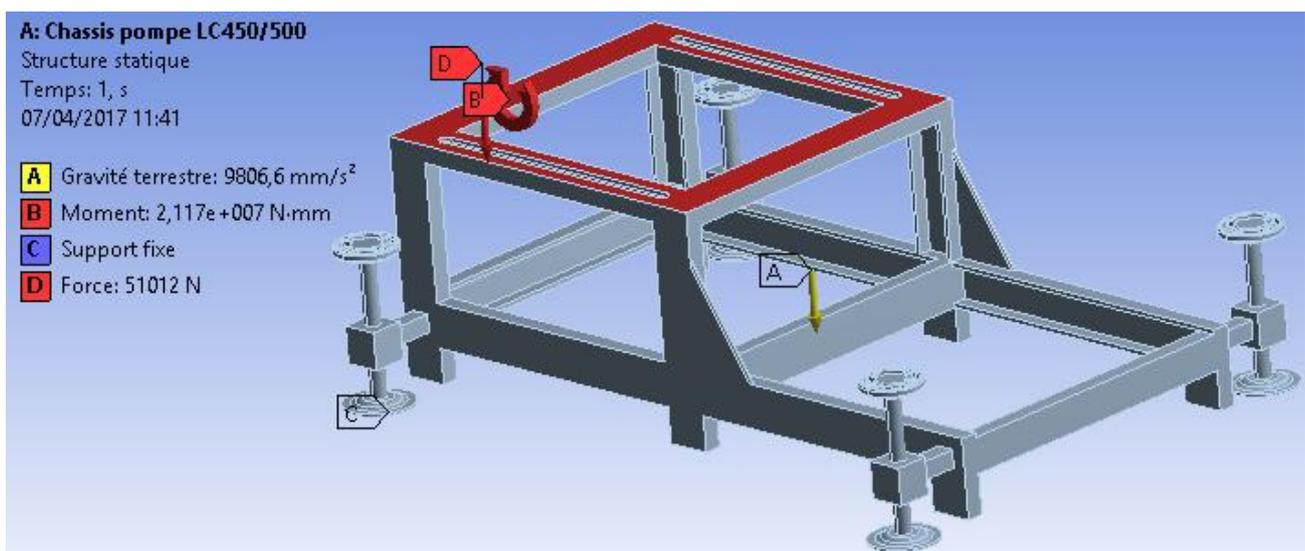


Figure IV.14 : chargement appliqué sur la structure

IV.3.2.1.4. Modélisation

1. Modèle géométrique

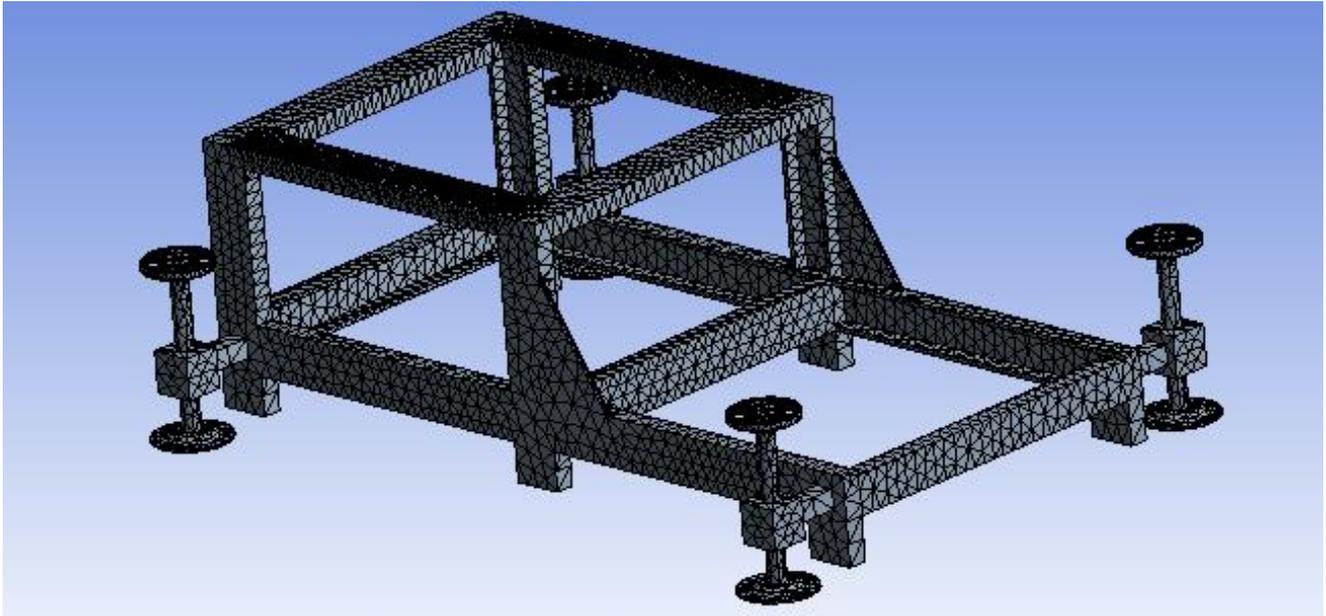


Figure IV.15 : Structure maillée

2. Conditions aux limites

Les conditions aux limites sont illustrées ci dessous.

- ❖ On bloque tous les d.d.l à support fixe (encastrement) en tous les 4 pieds de la structure.

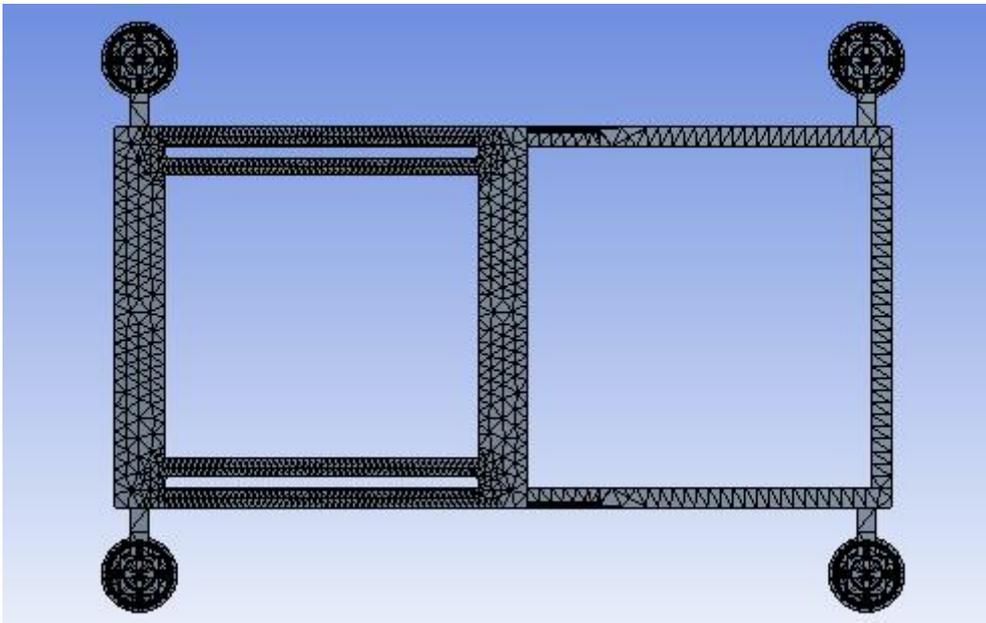


Figure IV.16 : Encastrement des pieds du châssis

IV.3.2.1.5. Résultats Numériques

1. Contraintes, déformations, déplacements et coefficients de sécurité

- ❖ *Acier à basse teneur en carbone.*
- ❖ *Acier à teneur moyenne en carbone.*
- ❖ *Acier à haute teneur en carbone.*
- ❖ *Fonte de fer ductile.*

N.B : La simulation de ces quatre matériaux est montrée dans l'annexe 3.

Récapitulatif

Tableau IV.7 : Coefficients de sécurité

<u>Les Matériaux</u>	<u>Coefficient de sécurité</u>
Acier à basse teneur en carbone	0,8730
Acier à teneur moyenne en carbone	1,6309
Acier à haute teneur en carbone	2,1113
Fonte de fer ductile	1,2567

Puisque le matériau **Acier à basse teneur en carbone** présente un $Cs < 1$ alors on doit l'éliminer.

Ainsi on voit que les 3 matériaux suivants (**Acier à teneur moyenne en carbone, Acier à haute teneur en carbone, Fonte de fer ductile**) présentent un Cs satisfaisantes, par conséquent nous allons choisir comme matériau basique Acier à haute teneur en carbone qui possède un $Cs = 2,11$.

2. Conclusion sur les résultats du premier modèle

La bonne comparaison des résultats d'éléments finis du modèle grossier associé à l'acier à haute teneur en carbone et des résultats anticipés montre la validité du modèle.

IL RESTE DONC A FAIRE UNE ETUDE DE CONVERGENCE.

IV.3.2.1.6. Etude de convergence

1. Identification des zones critiques

La contrainte de Von Misés doit être plus petite que la limite d'écoulement.

On doit donc étudier la convergence des contraintes dans la région illustré au-dessous.

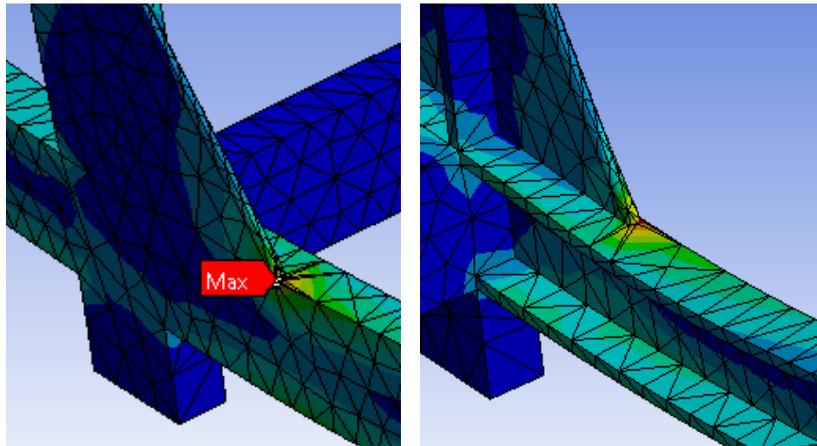
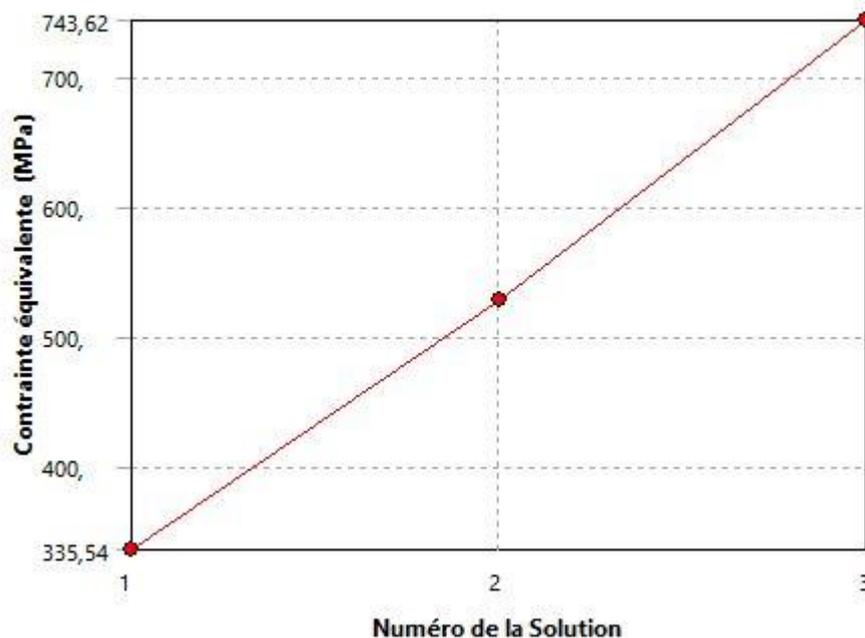


Figure IV.17 : Zones critiques

2. Analyse de convergence

On augmente le nombre maximale de boucle de raffinement jusqu'à **6** avec une modification autorisée de **20%**, ainsi on va voir l'évolution du matériau au niveau de contrainte.



	Contraente équivalente (MPa)	Variation (%)	Nœuds	Éléments
1	335,54		70669	39158
2	528,34	44,635	84970	45401
3	743,62	33,851	87875	45490

Figure IV.18 : Evolution des contraintes

Notre boucle de simulation converge vers la 3^{ème} solution qui donne une contrainte maximale de l'ordre **743,62 MPa** ainsi que le coefficient de sécurité finale de la structure est égale **1,47** ce qui est bonne.

IV.3.2.1.7. Conclusion

D'après l'analyse technique que nous allons faire durant cette étude, il en ressort que le modèle proposée concernant la structure est celle qui est techniquement faisable et qui vérifie à :

1. Distribuer la concentration de contrainte sur toute la structure, cela permet d'éviter le problème de propagation de fissures.
2. Avoir un facteur de sécurité satisfaisant.
3. Avoir une durée de vie optimale.

Par la suite l'étape suivante consiste à déterminer les performances de la structure qui se manifeste à estimer sa durée de vie et de calculer ses fréquences naturelles en leur mode vibratoire.

IV.3.2.2. Analyse de la fatigue

IV.3.2.2.1. Objectif

Sachant que le matériau utilisé pour la structure est ductile et que le problème est statique cyclique, l'objectif de l'étude est de vérifier le critère de fatigue de Goodman et d'estimer la durée de vie de la structure.

IV.3.2.2.2. Propriétés de fatigue du matériau

L'étude se fait sur le matériau acier à haute teneur en carbone

1. La courbe de Wöhler

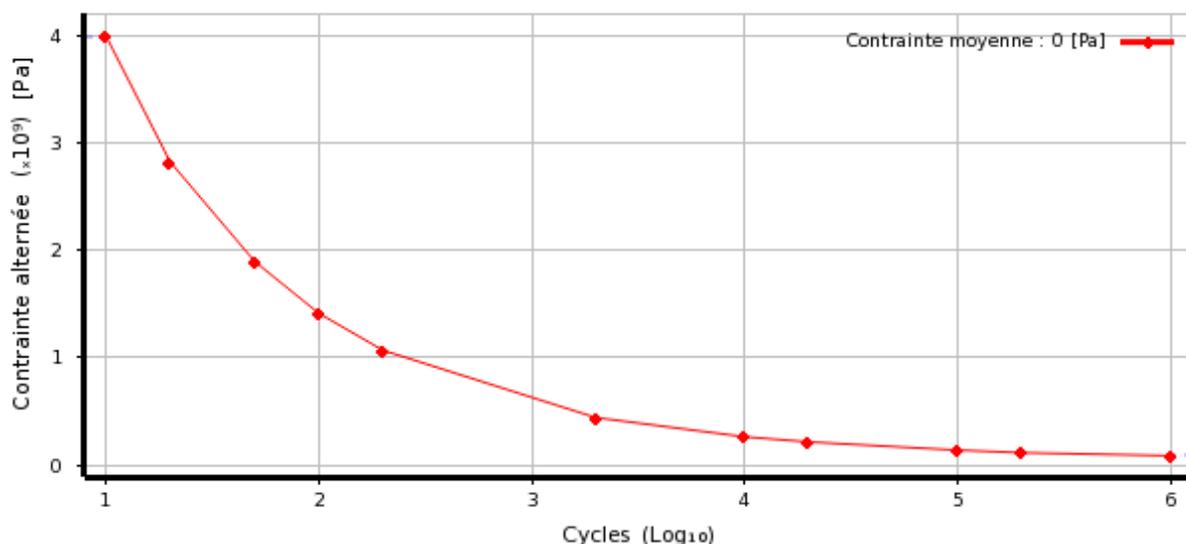


Figure IV.19 : Courbe de Wöhler de l'acier à haute teneur en carbone

Tableau IV.8 : Tableau contrainte alternée-cycles

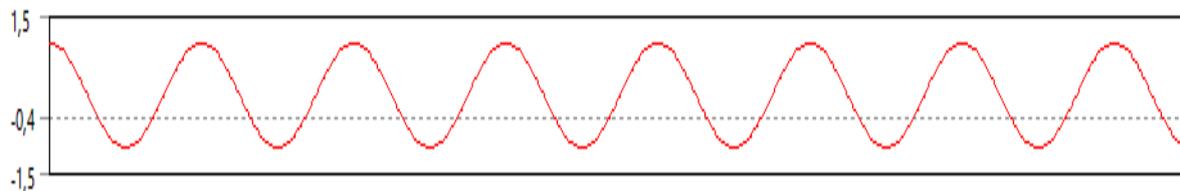
	B	C
1	Cycles	Contrainte alternée (Pa)
2	10	3,999E+09
3	20	2,827E+09
4	50	1,896E+09
5	100	1,413E+09
6	200	1,069E+09
7	2000	4,41E+08
8	10000	2,62E+08
9	20000	2,14E+08
10	1E+05	1,38E+08
11	2E+05	1,14E+08
12	1E+06	8,62E+07

2. Paramètres de durée de vie

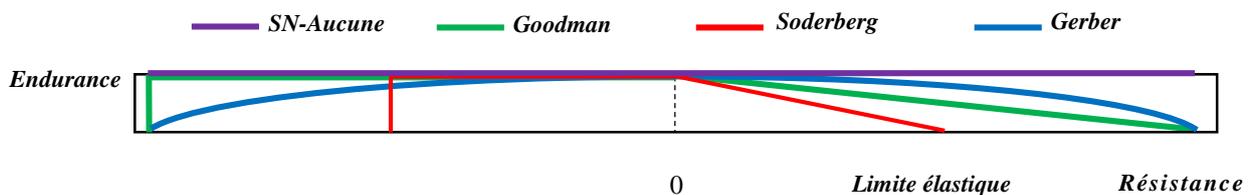
Tableau IV.9 : Propriétés de la fatigue du matériau

Propriétés de la fatigue	Acier à haute teneur en carbone
Coefficient de résistance (MPa)	920
Exposant de résistance	-0,106
Coefficient de ductilité	0,213
Exposant de ductilité	-0,47
Coefficient de résistance cyclique (GPa)	1
Coefficient d'écroutissement de déformation cyclique	0,2

3. Amplitude de charge constante valeur alternée



4. Théories de correction de la contrainte moyenne



5. La durée de vie

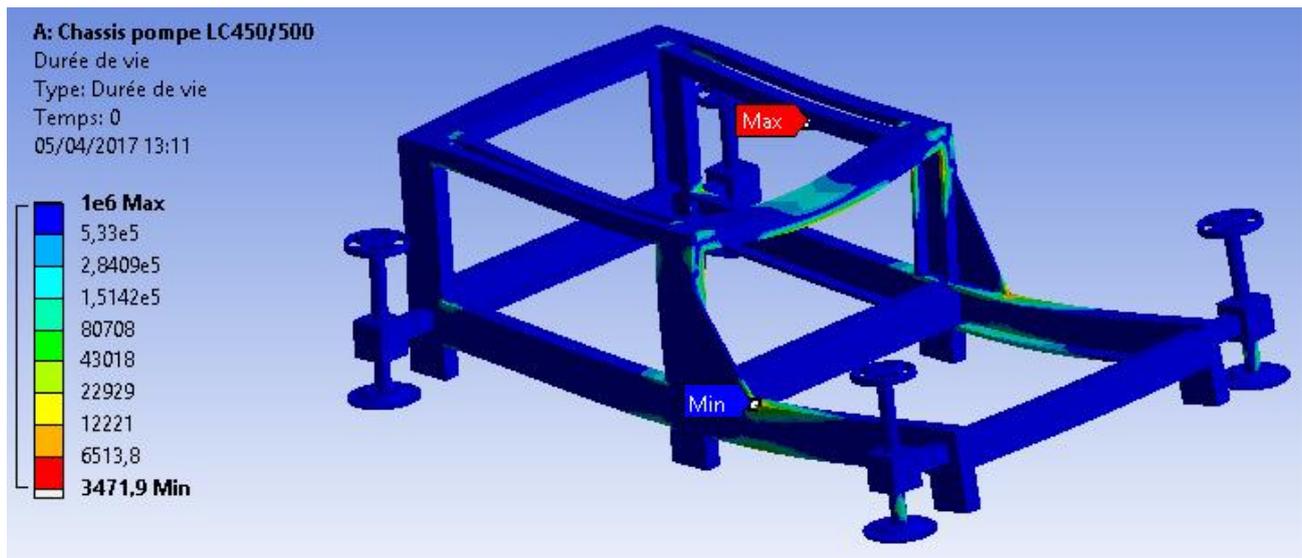


Figure IV.20 : Champ de la durée de vie pour l'acier à haute teneur en carbone

Nous avons la durée de vie minimale atteinte **3471,9 cycles**.

Par la suite on pourra estimer notre durée en an.

On suppose que le chargement sur le châssis se fait après une révision de 2 jours au minimum, ainsi ;

1 cycle → 2 jours

3471,9 cycles → D

$D = 3471,9 \cdot 2 = 6943,8 \text{ jours} = 28,93 \text{ ans} \approx \mathbf{29 \text{ ans}} \rightarrow \text{CE QUI EST SATISFAISANTE.}$

6. Dégradation du Coefficient de sécurité

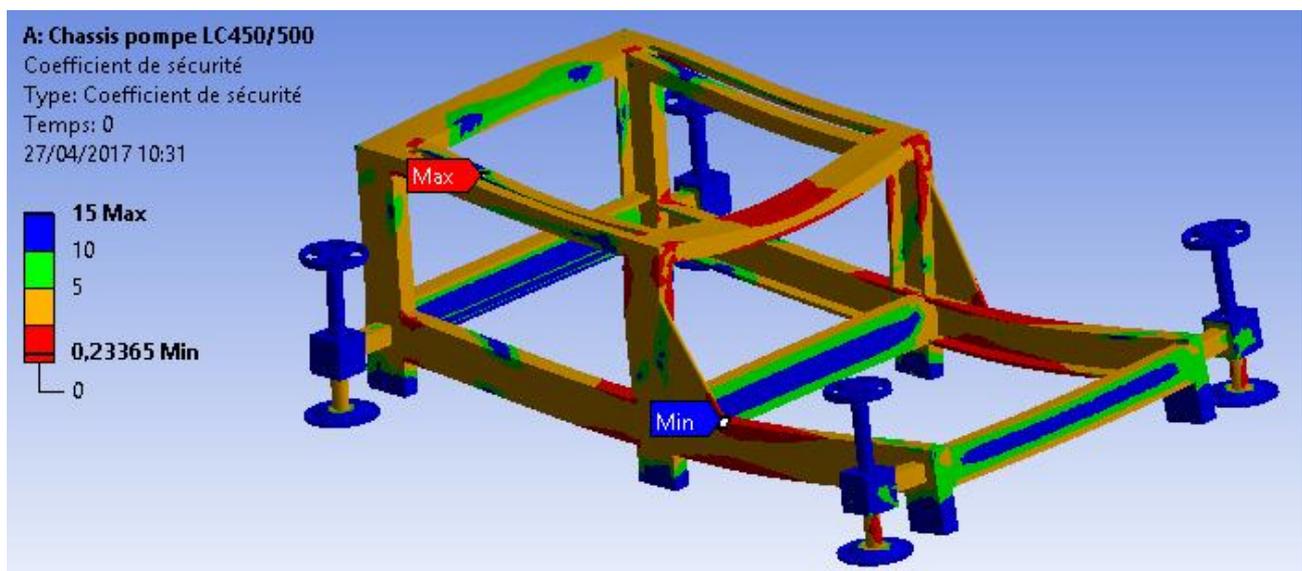


Figure IV.21 : Champ de Cs prédéterminée pour l'acier à haute teneur en carbone

IV.3.2.3. Analyse modal

IV.3.2.3.1. Objectif

L'objectif de cette partie est de calculer les fréquences naturelles de la structure en mode vibratoire et de calculer le déplacement total associé à chaque mode.

IV.3.2.3.2. Principe de calcul

L'étude dynamique que nous allons faire est basé sur la méthode des éléments finis qu'on a déjà vue dans la partie statique.

Soit, par exemple, le déplacement d'une structure pleine $w(x, y, z, t)$.

$$W(x, y, z, t) = \sum_{i=1}^n N_i(x, y, z) \cdot w_i(t)$$



Dans ce cas, l'énergie cinétique est :

$$T = \frac{1}{2} \dot{w}^t \cdot [M] \cdot \dot{w}$$



L'énergie potentielle est :

$$U = \frac{1}{2} w^t \cdot [K] \cdot w$$



$$w = \begin{Bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{Bmatrix}$$



$$\dot{w} = \begin{Bmatrix} \dot{w}_1 \\ \dot{w}_2 \\ \vdots \\ \dot{w}_n \end{Bmatrix}$$



$$\ddot{w} = \begin{Bmatrix} \ddot{w}_1 \\ \ddot{w}_2 \\ \vdots \\ \ddot{w}_n \end{Bmatrix}$$



L'obtention des 2 matrices $[M]$ et $[K]$ se fait par la discrétisation de la structure (maillage) comme un premier pas et par le calcul des 2 matrices élémentaires $[Me]$ et $[Ke]$ associée à la sollicitation appliqué à chaque élément ainsi l'assemblage de tous les éléments.

En appliquant les équations de Lagrange, On trouve ;

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{w}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial w_i} + \frac{\partial U}{\partial w_i} = 0$$

$$\rightarrow [M]\dot{w} + [K]w = 0$$

L'injection des conditions aux limites dans l'équation nous permet de la réduire et de la rendre comme suivant $[Mr]\ddot{w} + [Kr]w = 0$

Résolution du système différentiel

On pose $\{w_i(t)\} = \text{Re}(\{C\}e^{rt})$; $\{C\} = \begin{Bmatrix} a_{i1} \\ a_{i2} \\ \vdots \\ a_{in} \end{Bmatrix}$, r , $a_{i1} \dots a_{i2}$ sont complexes.

On suppose que $\{C\}e^{rt}$ vérifie le système d'équations différentielles.

Alors, $\{C\}e^{rt} \cdot ([Kr] + r^2[Mr]) = \{0\} \rightarrow \{C\}e^{rt} \cdot ([Kr] - w^2[Mr]) = \{0\}$, car $r^2 = -w^2$

La résolution non triviale est donnée par $\det([Kr] - w^2[Mr]) = 0$ permettant de trouver les pulsations propres w ainsi les fréquences naturelles f et aussi de déduire les modes propres $\{C\}$ afin de ressortir les déplacements numériques.

$$\begin{Bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} a_{11} \\ a_{12} \\ \vdots \\ a_{1n} \end{Bmatrix} (a_1 \cos(w_1 t) + b_1 \sin(w_1 t)) + \begin{Bmatrix} a_{21} \\ a_{22} \\ \vdots \\ a_{2n} \end{Bmatrix} (a_2 \cos(w_2 t) + b_2 \sin(w_2 t)) + \dots + \begin{Bmatrix} a_{m1} \\ a_{m2} \\ \vdots \\ a_{mn} \end{Bmatrix} (a_m \cos(w_m t) + b_m \sin(w_m t))$$

$$\rightarrow \begin{Bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{Bmatrix} = \sum_{i=1}^m \begin{Bmatrix} a_{i1} \\ a_{i2} \\ \vdots \\ a_{in} \end{Bmatrix} (a_i \cos(w_i t) + b_i \sin(w_i t)) \quad \rightarrow \text{Ecriture Modale}$$

$a_1, b_1, \dots, a_m, b_m$ sont des constantes déterminées en introduisant les conditions initiales.

Afin de minimiser le temps de calcul et d'avoir des bons résultats approchés aux résultats exacts nous allons utiliser le même logiciel de calcul numérique qu'on a déjà utilisé dans la partie statique.

Ici, c'est **ANSYS 15-WORKBENCH**.

IV.3.2.3.3. Modèle géométrique

Nous avons procédé le type de maillage fin pour trouver des résultats plus précis.

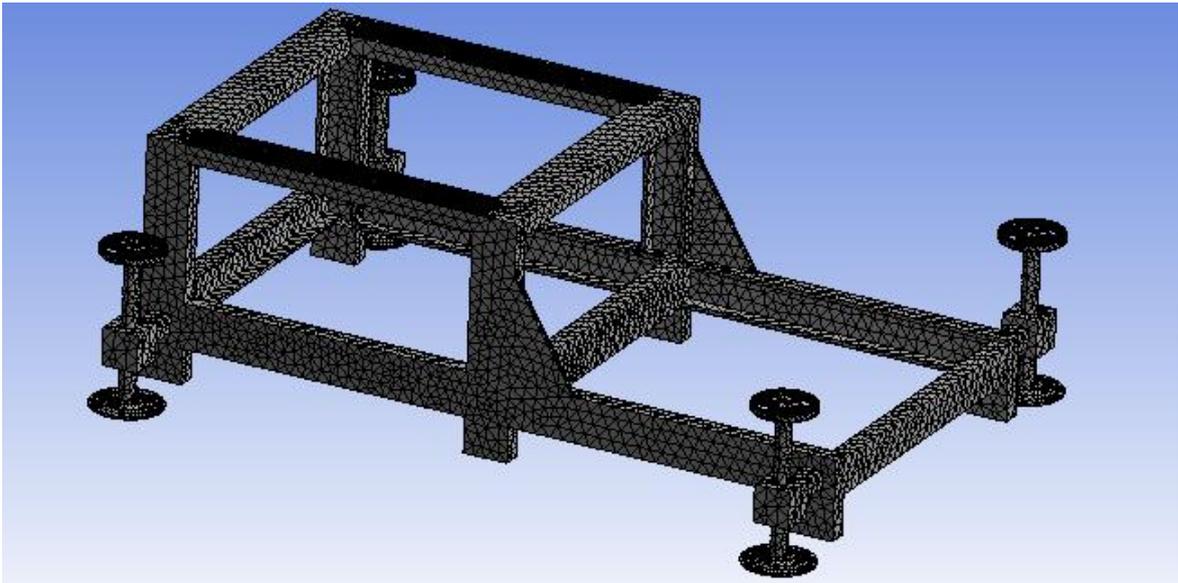


Figure IV.22 : Structure maillée

IV.3.2.3.4. Conditions aux limites

Les seules conditions aux limites ici c'est l'encastrement comme suivant

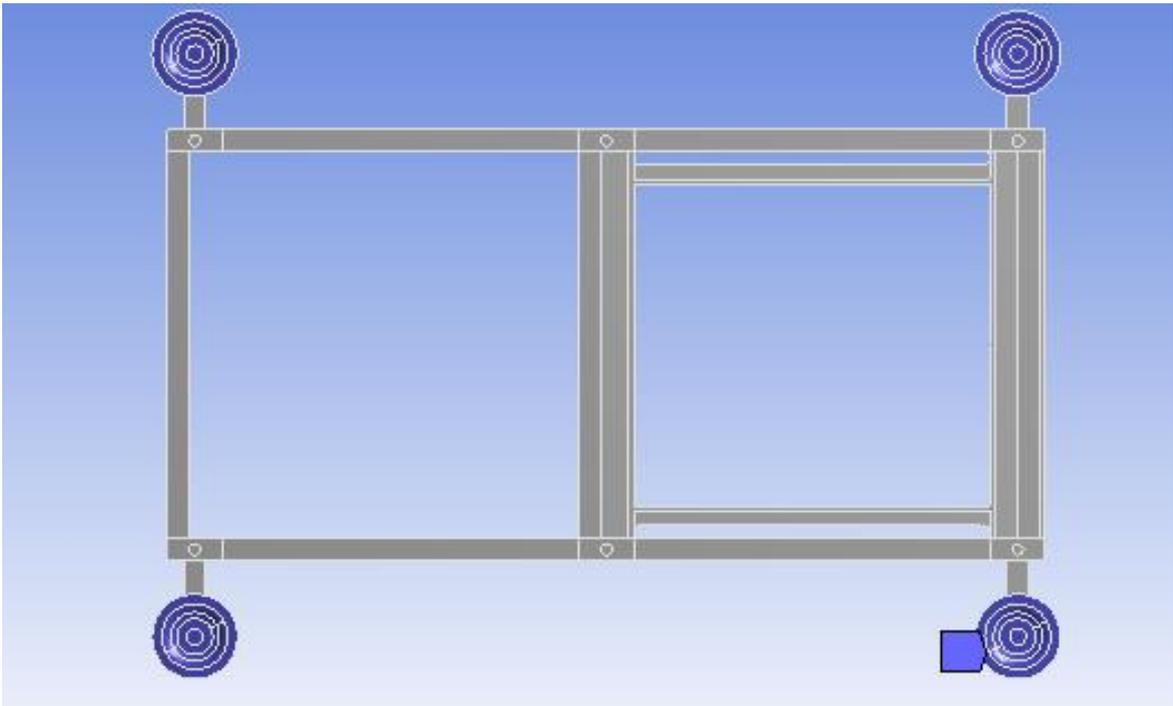


Figure IV.23 : Conditions aux limites

IV.3.2.3.5. Résultats numériques

Nous avons calculé les 6 premiers modes de la structure et nous avons trouvés les résultats suivants :

Tableau IV.10 : Les fréquences naturelles de la structure

Modes	Déplacements totaux maximales	Fréquences naturelles f (Hz)	Pulsations propres ω (rad.s ⁻¹)
<i>Mode 1</i>	4,3895	47,69	299,50
<i>Mode 2</i>	4,1106	79,796	501,12
<i>Mode 3</i>	4,4074	91,619	575,37
<i>Mode 4</i>	4,8374	95,08	597,10
<i>Mode 5</i>	5,6337	122,07	766,60
<i>Mode 6</i>	5,6806	134,57	845,10

N.B : la simulation des six modes de la structure est montrée dans l'annexe 4.

IV.3.3. Etude conceptuelle du système poulies-courroies

IV.3.3.1. Avantages et désavantages

a. Avantages

- ❖ Transmission à grande vitesse **5 à 33m/s (20 m/s optimale)**.
- ❖ Silencieuse, légèreté, longue durée de vie.
- ❖ Positions éloignées des arbres.
- ❖ Faible coût, montage et entretien facile.
- ❖ Amortissement des chocs et vibrations.

b. Désavantages

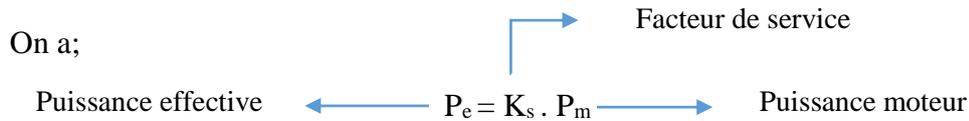
- ❖ Glissement, fluage élastique.
- ❖ Sensibilité aux conditions d'opérations (**huile, poussière, température, humidité**).

Nous avons choisi la courroie de type trapézoïdale et non plate, telle que les raisons de choix sont les suivants :

- ✓ Bon rapport : puissance/encombrement.
- ✓ Tension réduite, bonne stabilité latérale.
- ✓ Plus sujettes à l'effet de la force centrifuge.
- ✓ Meilleure adhérence, mais coincent dans la rainure.
- ✓ Plus lourde, donc les vitesses moins élevées (**5-10m/s**).

IV.3.3.2. Processus de conception du système poulie-courroie

a. Choix préliminaire



D'après le catalogue (Tableau AV.1) dans l'annexe 5 nous avons pris $K_s = 1$.

D'après le catalogue (Tableau AV.2) dans l'annexe 5, nous avons choisis la courroie 32C.

Car ; $P_e = 1.22 = 22 \text{ Kw} < 39 \text{ Kw}$.

b. Choix des ϕ des poulies et l'entraxe

On sait que ; $d_2 = 210 \text{ mm}$

$$\text{Puisque ; } R_v = \frac{d_2}{d_1} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{1450}{940} = 1,54$$

$$\rightarrow d_1 = \frac{d_2}{1,54} = \frac{210}{1,54} = 136 \text{ mm}$$

Or on sait que ; $d_2 < C < 3(d_1 + d_2)$

Ainsi ; $210 < C < 1038 \text{ mm} \rightarrow C = 900 \text{ mm}$

D'après le même catalogue (Tableau AV.2) dans l'annexe 5 on a $\phi_{\min} = 300 \text{ mm} > 136 \text{ mm}$ donc la courroie 32C ne marche pas, donc on va remplacer 32C par **16C** de $\phi_{\min} = 115 \text{ mm} < 136 \text{ mm}$.

c. Calcul de la vitesse linéaire

$$V_2 = \frac{\pi \cdot n_1 \cdot d_1}{60 \ 000} = \frac{3,14 \cdot 1450 \cdot 136}{60 \ 000} = 10,32 \text{ m/s} \approx 10 \text{ m/s} \text{ condition vérifié.}$$

d. Vérification de l'angle d'enroulement

$$\begin{aligned} \Theta_1 &= \pi - 2\beta = \pi - 2\text{Sin}^{-1}\left(\frac{d_2 - d_1}{2C}\right) \\ &= 180 - 2\text{Sin}^{-1}\left(\frac{210 - 136}{2 \cdot 900}\right) \\ &= 175,28^\circ > 130^\circ \rightarrow \text{condition vérifié.} \end{aligned}$$

$$\Theta_2 = \pi + 2\beta = 360^\circ - \Theta_1 = 184,72^\circ$$

e. Calcul et normalisation de la longueur de la courroie

$$\begin{aligned} L &= 2C + \frac{\pi}{2}(d_2 + d_1) + \frac{(d_2 - d_1)^2}{4C} = 1800 + \frac{\pi}{2}(210 + 136) + \frac{5476}{3600} \\ &= 2345,01 \text{ mm.} \end{aligned}$$

D'après le catalogue (Tableau AV.3) dans l'annexe 5 nous avons ;

$L_p = 2360$ mm et $K_2 = 1,01$.

f. Calcul de la puissance brute Pr et la puissance nette Pr'

D'après les 2 catalogues (Tableau AV.4 et Tableau AV.5) dans l'annexe 5.

Nous avons **$C_1 = 5,185 \cdot 10^{-2}$; $C_2 = 2,273$; $C_3 = 1,759 \cdot 10^{-8}$; $C_4 = 7,934 \cdot 10^{-3}$ et $K_a = 1,0972$.**

$$\begin{aligned} Pr &= \left(C_1 - \frac{C_2}{d_1} + C_3 (rd_1)^2 - C_4 \log (rd_1) \right) rd_1 + C_2 r \left(1 - \frac{1}{K_a} \right) \\ &= \left(5,185 \cdot 10^{-2} - \frac{2,273}{136} + 1,759 \cdot 10^{-8} \left(\frac{1450}{1000} \cdot 136 \right)^2 - 7,934 \cdot 10^{-3} \log \left(\frac{1450}{1000} \cdot 136 \right) \right) \frac{1450}{1000} \cdot 136 + \\ &\quad 2,273 \cdot \frac{1450}{1000} \left(1 - \frac{1}{1,0972} \right) \\ &= \mathbf{3,7653 \text{ Kw.}} \end{aligned}$$

D'après le catalogue (Figure AV.6) dans l'annexe 5 nous avons **$K_1 = 0,98$.**

$Pr' = K_1 \cdot K_2 \cdot Pr = 3,7268 \text{ Kw.}$

g. Calcul du nombre de courroie

$$N = \frac{Pe}{Pr'} = \frac{22}{3,7268} = \mathbf{6 \text{ courroies.}}$$

h. Fréquence de passage

$$f = \frac{V}{L} = \frac{10,32}{2,345} = \mathbf{4,40 \text{ Hz}} < 8 \rightarrow \mathbf{\textit{condition vérifié.}}$$

i. L'entraxe final

$$A = \frac{\pi}{2} (d_1 + d_2) = \frac{\pi}{2} (136 + 210) = 543,50 \text{ mm.}$$

$$C' = \frac{L_p - A}{2} = \frac{2345 - 543,50}{2} = 900,75 \text{ mm.}$$

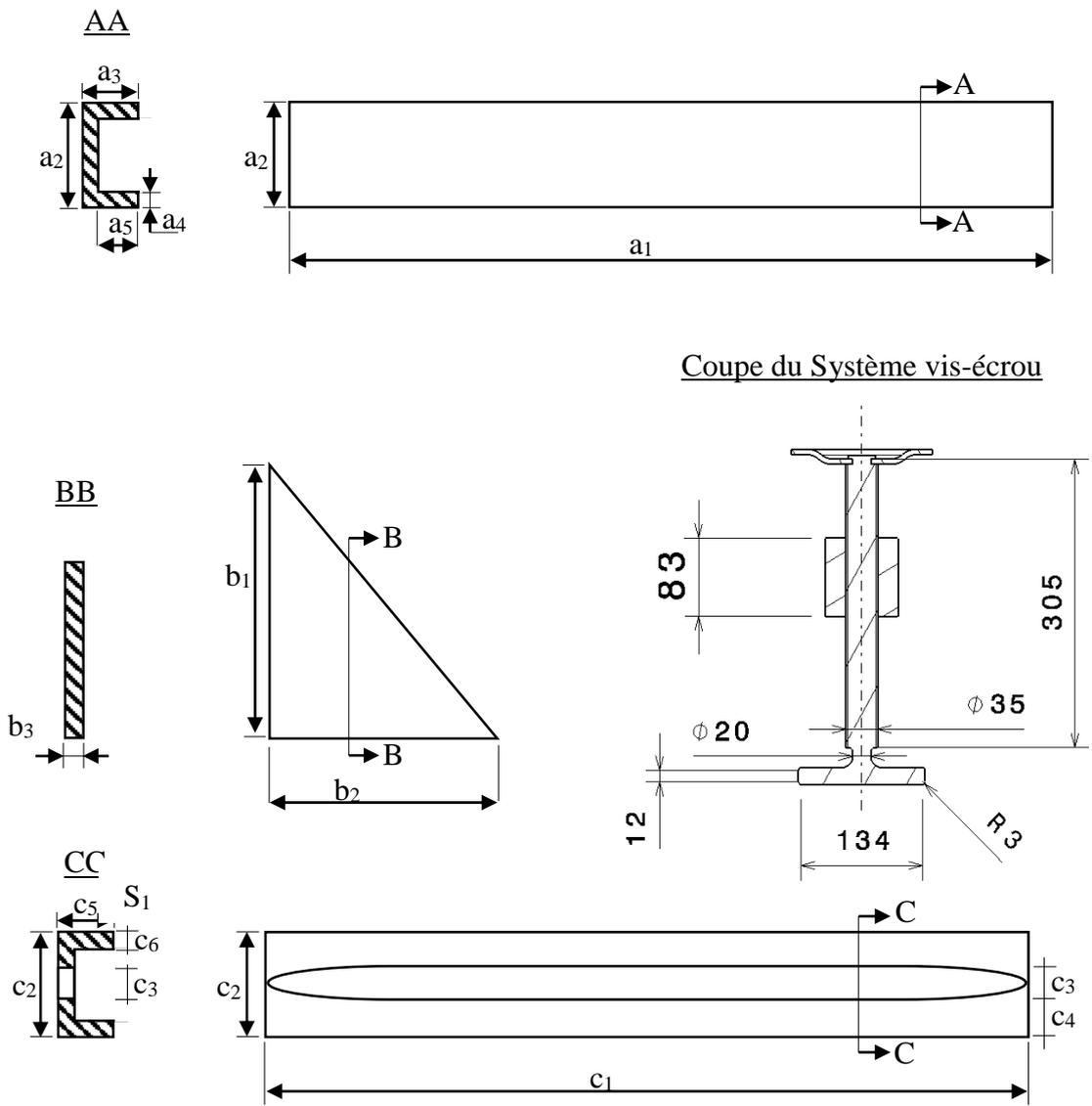
$$B = \frac{1}{4} \cdot (d_2 - d_1)^2 = \frac{1}{4} \cdot (210 - 136)^2 = 1369 \text{ mm}^2.$$

$$C = C' - \frac{B}{2C'} = 900,75 - \frac{1369}{2 \cdot 900,75} = \mathbf{899,99 \text{ mm}} \approx \mathbf{900 \text{ mm}} \rightarrow \mathbf{\textit{Bon choix.}}$$

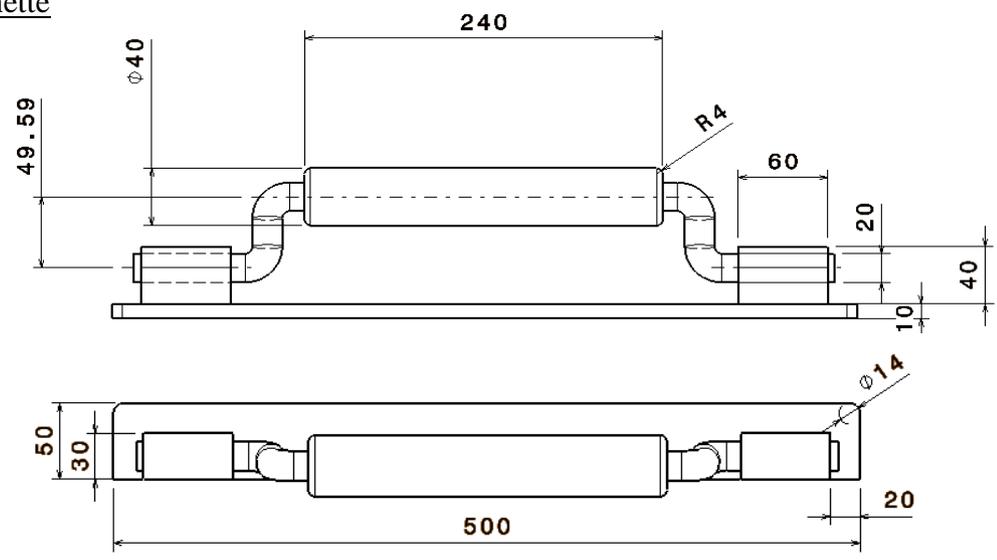
IV.3.4. Industrialisation du châssis

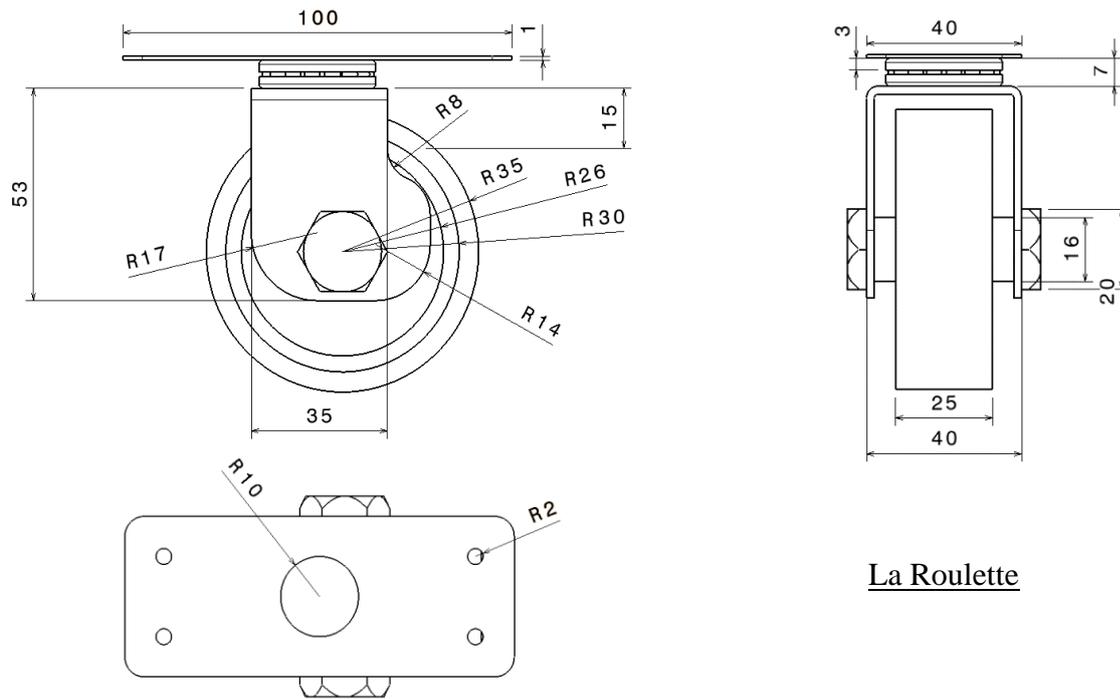
Dans cette partie, nous allons décrire le procédé adéquat pour fabriquer notre châssis, ce dernier se décompose de **13** barres en forme **U** de dimensions différentes, **2** nervures triangulaires, **4** systèmes vis-écrou, **6** roulettes et une manchette.

a. Description dimensionnelle des profilés du châssis



La Manchette



La Roulette**Tableau IV.11 : Décomposition structurelle du châssis**

Type	Quantité	Dimensions
Profilé 1	2	$a_1 = 1500 ; a_2 = 100 ; a_3 = 40 ; a_4 = 10 ; a_5 = 30$
Profilé 2	2	$a_1 = 790 ; a_2 = 100 ; a_3 = 40 ; a_4 = 10 ; a_5 = 30$
Profilé 3	2	$a_1 = 310 ; a_2 = 100 ; a_3 = 40 ; a_4 = 10 ; a_5 = 30$
Profilé 4	2	$a_1 = 410 ; a_2 = 100 ; a_3 = 40 ; a_4 = 10 ; a_5 = 30$
Profilé 5	2	$c_1 = 650 ; c_2 = 100 ; c_3 = 30 ; c_4 = 35 ; c_5 = 40 ; c_6 = 10$
Profilé 6	1	$a_1 = 770 ; a_2 = 100 ; a_3 = 40 ; a_4 = 10 ; a_5 = 30$
Profilé 7	1	$a_1 = 770 ; a_2 = 80 ; a_3 = 40 ; a_4 = 10 ; a_5 = 30$
Profilé 8	1	$a_1 = 710 ; a_2 = 100 ; a_3 = 40 ; a_4 = 10 ; a_5 = 30$
Nervure	2	$b_1 = 240 ; b_2 = 150 ; b_3 = 10$
Barre secours	1	$a_1 = 3000 ; a_2 = 100 ; a_3 = 40 ; a_4 = 10 ; a_5 = 30$
Vis-écrou	4	Voir la coupe illustré au-dessus
La manchette	1	Voir les deux vues au-dessus du tableau
La roulette	6	Voir les trois vues au-dessus du tableau

b. Choix du procédé de fabrication

Le procédé que nous avons choisis est le soudage qui est un procédé d'assemblage permanent de deux ou plusieurs pièces par fusion localisée du métal

- ❖ Le Soudage consiste à établir la continuité métallique entre les parties à assembler.
 - ➔ Cela implique qu'il n'y a pas de matières non métalliques interposées entre les éléments réunis. Cette technique d'assemblage est différente du rivetage, de l'agrafage ou du collage.

- ❖ Au niveau de succès industriel, Nous avons :

1. **Moins de travail.**
2. **Économie de matière.**
3. **Meilleure solution technique.**

c. Principaux procédés de soudage utilisés dans les ACX :

Les procédés de soudage sont nombreux, nous traitons ceux les plus utilisés dans le secteur de la fabrication de produit en métal.

❖ le soudage au gaz (au chalumeau)

C'est un procédé de soudure par fusion où la chaleur de soudure est produite par la combustion de gaz.

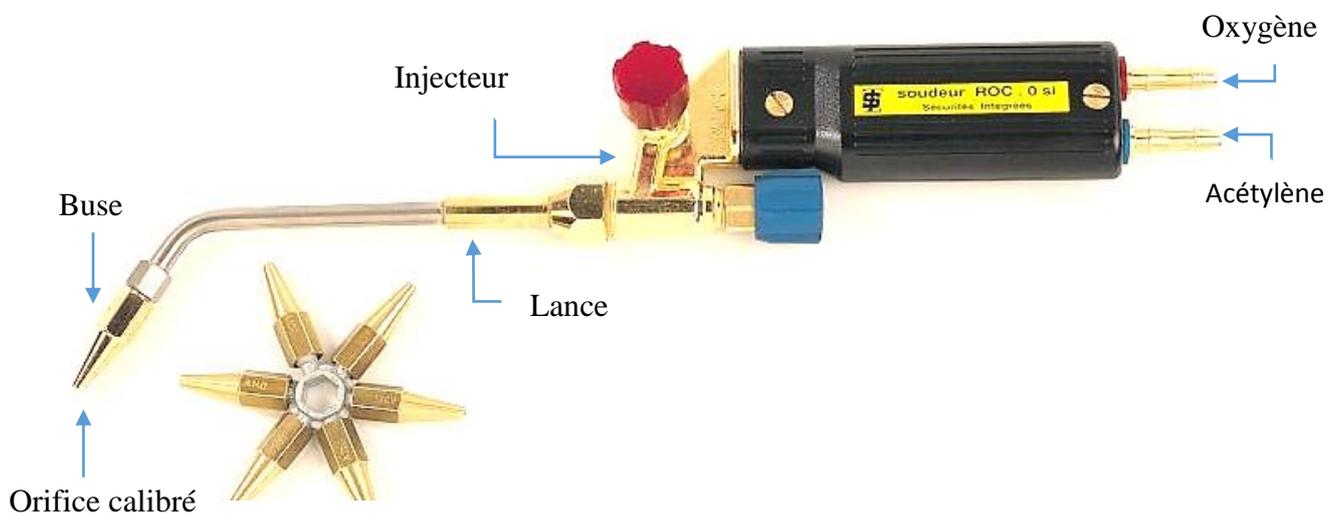


Figure IV.24 : Schéma d'un chalumeau soudeur

❖ Le soudage à l'arc électrique

C'est un procédé de soudure par fusion où la chaleur est produite par un arc électrique, formé entre le métal de base et l'électrode, ou entre deux ou plusieurs électrodes. Le contact puis le léger éloignement de l'électrode par rapport aux pièces provoque l'arc électrique.

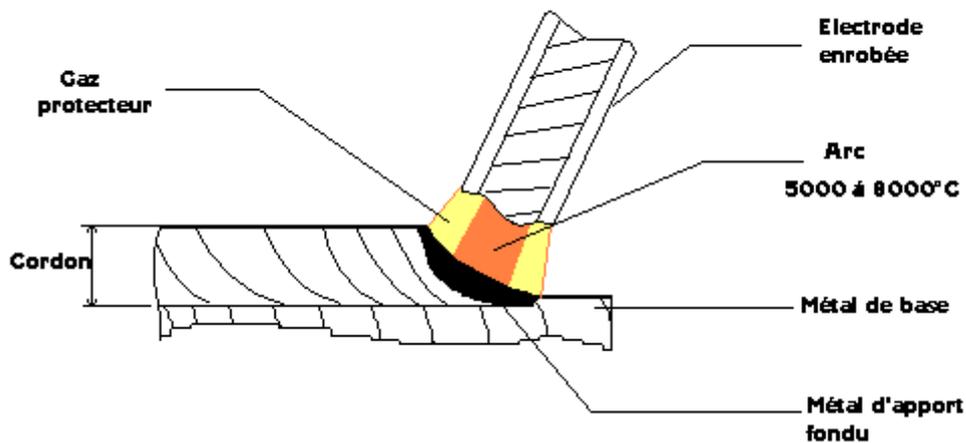


Figure IV.25 : Soudage à électrode enrobée

! Le soudeur doit être totalement protégé (**masque, gant**), la lumière produite lors de soudage étant tellement intense qu'elle provoque des brûlures de la peau et de la rétine.

→ D'après le chef de la section de chaudronnerie, nous avons choisis comme procédé de soudage le **soudage à arc électrique** car l'autre a le risque d'endommager la structure.

d. [Processus du soudage \(confection d'un châssis pour maintenir la pompe\)](#)

- ✓ *Préparation de la matière.*
- ✓ *Découpage des profilés suite à les cotations données.*
- ✓ *Montage des éléments par pointage.*
- ✓ *La soudure.*
- ✓ *Finition par meulage.*
- ✓ *Vérification des côtes et peinture.*

e. [Calcul financière](#)

e.1 [Composition du montant d'une unité d'œuvre OCP](#)

Ce montant engendre le coût de main d'œuvre et outillage obtenu à partir des temps passés et des taux horaires de la main d'œuvre, et prennent en compte les salaires et charges, les matières consommables, l'amortissement du matériel utilisé, et un pourcentage des frais généraux, c'est-à-dire les salaires et charges du personnel ne travaillant pas sur les interventions (*cadres, préparateurs, magasiniers, comptable, gestionnaire...*) et tous les frais matériels (*locaux, chauffage, énergie, fluides, imprimés, matériel administratif...*).

Le tableau ci-dessous montre en détail la composition coût d'une unité d'œuvre en interne, pour le tout dernier mois.

Tableau IV.12 : Composition du coût d'une unité d'œuvre [Réf. 3]

A-Charges Directes		174,08
A-1 Achats Consommés de matières & Fournitures Hors matières lères		0
	Pièces de rechange	0,34
	Matières auxiliaires & consommables (hors fuel)	2,19
	Fuel	0
	Eau brute ONEP (Office National de l'Eau Potable)	0,44
	Electricité ONE (Office National de l'Electricité)	0,02
	Achat de Travaux, Études & Prestations	9,11
A-2 Autres Charges externes		0
	Locations et charges locatives	1,47
	Entretiens & réparations	1,43
	Assurances (partie directe)	0,07
	Personnel extérieur à l'entreprise	0,12
	Intermédiaires et honoraires	3,26
	Etude Recherches & Documentation	0,66
	Déplacements, Missions & Réceptions	1,66
	Charges de personnel dont :	0
	✓ Salaires & appointements hors HS	64,04
	✓ HS	4,35
	✓ Avantages & indemnités divers	56,32
	✓ Autres charges sociales	22,47
	Dotations d'exp, aux amortissements	6,13
	Autres charges d'exploitation incorporables aux couts de revient	0
B-Charges Indirectes :(Tout ce qui d'exploitation imputé par clé)		9,49
	Transport de personnel	9,13
	Charges financières liées au processus financement	0,26
	Impôts & taxes : Principalement la patente de l'édilité	0,1
	Assurances	0
Coût (DH/H)		183,57

A l'aide de ce coût horaire, on pourra calculer les montants de soudage du châssis, en multipliant le temps moyen fait par le chaudronnier par le montant de l'unité d'œuvre.

e.2 Coût de fabrication du châssis Cf

Le coût global sera égal à la somme du :

- ✓ Coût direct CD : le coût de la matière brute
- ✓ Coût indirect CID : le coût d'usinage
- ✓ Coût des roulettes : CR
- ✓ Coût de la manchette : CM
- ✓ Coût du système vis-écrou : CSE

Données :

- La masse du châssis est égale **172 Kg**.
- Le coût de l'acier à haute teneur en carbone est égale **0,5145 €/Kg \approx 5,145 Dhs/Kg**.
- Puisque le châssis comporte 6 roulettes alors chacune doit supporter une charge de **$172/6 = 28,66$ Kg** ainsi d'après une recherche sur les catalogues des roulettes, nous prenons l'acier inoxydable comme leur matériau.
 - ➔ Le coût de l'acier inoxydable est égale **6,375 €/Kg \approx 63,75 Dhs/Kg**.
- Le temps d'usinage intégrant la gamme du soudage est **21h**.
- La masse de la barre de secours est **37,68 Kg**.
- La masse de la manchette en acier à haute teneur en carbone est **4,052 Kg**.
- La masse d'une roulette est **0,90 Kg**.
- La masse d'un système vis-écrou est **9,34 Kg**.

Ainsi ; **Cf = CD + CID + CR + CM + CSV**

$$\begin{aligned}
 &= \{(172.5,145) + (37,68.5,145)\} + (183,57.21) + (6.0,90.63,75) + (4,052.5,145) + \\
 &\quad (4.9,34.5,145) \\
 &= \mathbf{5491,09 \text{ Dhs.}}
 \end{aligned}$$

IV.3.5. l'achat de la courroie

D'après le catalogue (Tableau AV.6) dans l'annexe 5 nous avons le prix d'achat de la courroie est 23,64 €/courroie ; Or nous avons besoin 6 courroies alors le coût total d'achat est : $23,64.6 = 141,84 \text{ €} \approx \mathbf{1418,4 \text{ Dhs.}}$

IV.4. Conclusion

Cette étude nous a permis d'améliorer les processus de révision de la pompe névralgique LC 450/500 par la réalisation du banc d'essai ayant de nombreuses avantages et en particulier :

- ✓ Confirmation de la bonne révision des pompes centrifuges.
- ✓ Vérification de la compétence d'équipe de maintenance de la section AMM.
- ✓ Eviter d'avoir des risques au cours du fonctionnement de la pompe dans s'installation associée.
- ✓ Augmentation du rendement de la section.
- ✓ Eviter de détruire les garnitures mécaniques.

Par la suite nous allons parler du volet suivant : étude des différents types de montage des garnitures mécaniques.

A thick, dark blue vertical bar runs down the left side of the page. To its right, a large, stylized number '5' is rendered in the same dark blue color. The '5' has a unique, blocky design with a horizontal top bar and a curved bottom. Below the '5', several thin, light blue lines curve upwards and to the right, resembling stylized grass or reeds.

5

CHAPITRE : ÉTUDE ET PROPOSITION D'UN STANDARD DE MONTAGE DES GARNITURES MÉCANIQUES

CHAPITRE V

ÉTUDE ET PROPOSITION D'UN STANDARD DE MONTAGE DES GARNITURES MÉCANIQUES

V.1. Introduction

Dans une pompe centrifuge, plusieurs niveaux d'étanchéité sont nécessaires (*fonction de ses caractéristiques*) :

- ❖ Etanchéités statiques (*carter, brides...*) assurées par des joints fixes adaptés au produit.
- ❖ Etanchéités dynamiques internes (*entre volute, diffuseur et entrée de roue, pour éviter une recirculation de fluide trop importante*), en général assurées par des bagues ou disques en rotation, le fluide pompé assurant un film liquide suffisant pour la lubrification et le refroidissement des parties en contact.
- ❖ Etanchéités dynamiques externes (*arbre d'entraînement de la roue en rotation*), assurées par tresses ou garnitures mécaniques.

L'étanchéité la plus délicate est sans aucun doute celle de l'arbre en rotation entraînant la roue de la pompe. En cas de fuite, le produit peut aller vers l'extérieur, ce qui est parfois incompatible avec les conditions d'hygiène et/ou de sécurité. Plusieurs systèmes existent permettant d'assurer une étanchéité plus ou moins totale au niveau de l'arbre en rotation. On peut citer :

- ❖ Les tresses avec presse-étoupe.
- ❖ Les garnitures mécaniques simples.
- ❖ Les garnitures mécaniques doubles.

V.2. Garnitures

V.2.1. Description de la garniture mécanique

Les garnitures mécaniques sont des éléments d'étanchéité situés entre l'arbre tournant et la partie fixe des dispositifs rotatifs qui travaillent avec des fluides. Les pompes constituent l'une de leurs applications les plus courantes. Les garnitures mécaniques ont été conçues pour remplacer les joints chevrons ou les tresses.

Une garniture mécanique peut être fournie en cartouche préassemblée ou en éléments séparés. Le montage se fait selon le plan d'ensemble.

Une garniture mécanique tourne dans le produit pompé ou dans un fluide de source externe. Les garnitures lubrifiées par liquide (respectivement gaz) doivent toujours avoir un film de liquide (respectivement gaz) entre leurs faces d'étanchéité.

Les surfaces d'étanchement sont séparées les unes des autres par une pellicule fluide étanchant (liquide ou gaz) lorsque l'arbre est en rotation ; dans ces conditions, elles fonctionnent quasiment sans contact et sans usure.

Deux ensembles essentiels constituent les garnitures mécaniques :

Un ensemble tournant comportant :

- ✓ *Une bague de friction à face rodée*
- ✓ *Un ressort*
- ✓ *Un joint secondaire*
- ✓ *Un système d'entraînement*

Un ensemble fixe, à face rodée avec son joint d'étanchéité.

Pour sélectionner la garniture mécanique appropriée, il est nécessaire de connaître les conditions de fonctionnement de l'application à étancher : le diamètre et la vitesse de rotation de l'arbre, les dimensions du logement de la garniture, les caractéristiques physiques du fluide à étancher pour déterminer la compatibilité chimique, l'existence de solides abrasifs en suspension ou la lubrification qu'elle permettra, ainsi que la température et la pression de travail.

V.2.2. Principe de fonctionnement

Une garniture mécanique se compose principalement d'un ensemble tournant ou rotor lié à l'arbre et d'un ensemble fixe ou stator lié au carter de la machine. Les garnitures simples sont munies d'un ressort permettant d'absorber le déplacement axial de l'arbre et de garder ainsi toujours une étanchéité entre la partie fixe et mobile.

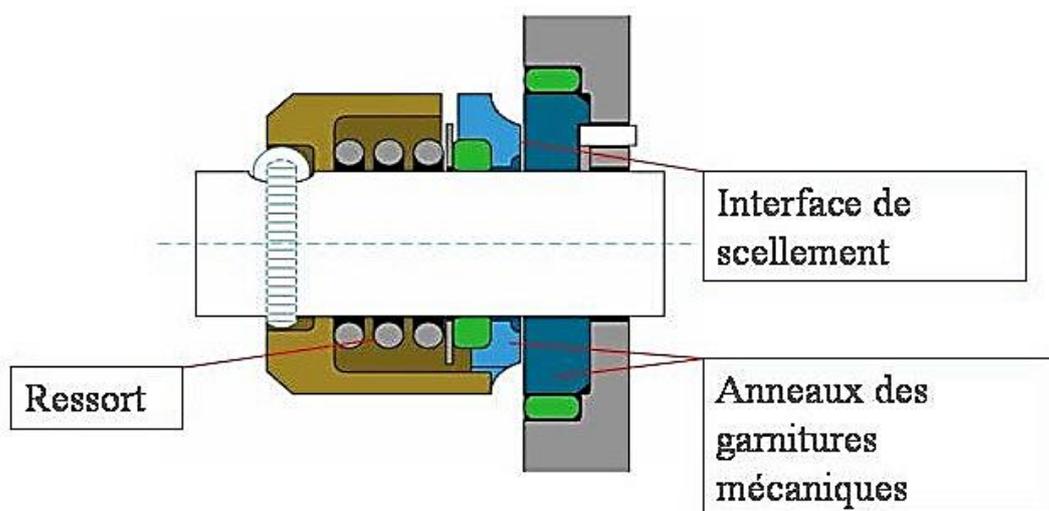


Figure V.1 : Principe garniture mécanique

Les faces de frottement du rotor et du stator constituent la barrière entre les deux milieux

Celles-ci sont maintenues en contact par les efforts des ressorts, et par la fuite sous pression.

Une étanchéité efficace implique un débit de fuite nul. Néanmoins lorsque les conditions sont très exigeantes les bagues d'étanchéité peuvent être séparées par le film d'un fluide très mince. Ceci afin d'éviter l'usure des faces de la garniture.

Ce film est soumis à de grand frottement d'où l'élévation de température et la nécessité de prévoir un auxiliaire de refroidissement

V.2.3. Comportement matériel

❖ Coté atmosphère

Les couples classiques de matériaux : céramiques/carbone sont utilisable, le liquide de barrage étant généralement de l'eau. Cette eau doit être propre. Une circulation dans la boîte à garniture avec un débit **de 2 à 3 l/min** est suffisante.

❖ Coté produit

Le métal le plus utilisé est l'acier **Z01NC DU 25-20**, les grains sont de carbure silicium et les joints sont en vison.

V.2.4. Avantages et spécifiés

- ❖ Les parties fonctionnelles de la garniture se situent dans une zone propre et bien refroidie.
- ❖ Pas d'encastrement, pas de blocage du système.
- ❖ Pour des pressions de 25 bars au refoulement de la pompe la garniture n'a besoin que d'une circulation d'eau sans pression.
- ❖ Equilibrage intérieur. Elle accepte les coups de bélier de faible amplitude.
- ❖ Utilisation pour les liquides sévères.
- ❖ Aucune fuite de produit n'est tolérée.
- ❖ Pas d'entretien.

V.2.5. Inconvénients

- ❖ Exige une grande maintenance durant toute la vie de la pompe (rechange des grains).
- ❖ Exige une source extérieure de liquide de barrage pour le refroidissement et l'étanchéité.
- ❖ Plus cher avec un prix d'entretien élevé.
- ❖ Entretien exige un démontage de la pompe.

V.3. Instructions de montages généraux pour les garnitures mécaniques [Réf. 4]

Ces instructions d'installation peuvent être utilisées pour les types de garnitures mécaniques suivantes :

Garnitures à ressorts :

- ✓ *Séries Allpac 4, séries Allpac N, séries Centipac 1, séries D, séries DHT, Europac 306, Europac 6 séries, FRO, GSD, GSL, séries HD, HSC, HSH, LD, séries P, séries Q, RO, séries Simpac 3, SRO, séries U, séries UHT.*

Garnitures à soufflets :

- ✓ *Séries BRC, séries BX, séries BXH, séries BXLS, BXRH, séries CBR, CBS, GSDH, PBR, PBS, séries X.*

V.3.1. Différentes Types d'installation des garnitures mécaniques

1. Installation des garnitures type cartouche avec plaques de réglages

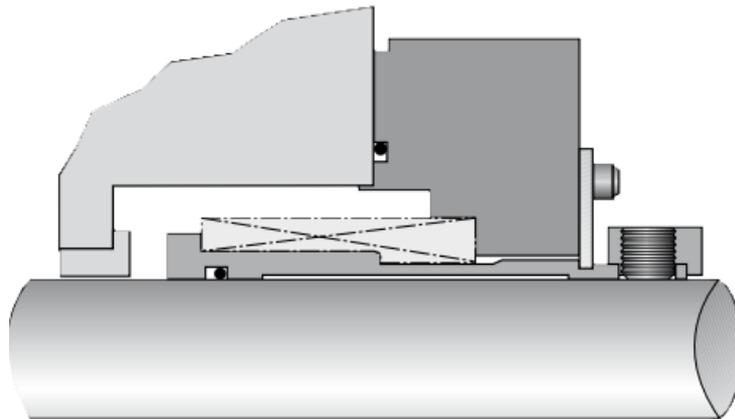


Figure V.2 : Montage type cartouche avec plaques de réglages

- a-** Avant l'installation, vérifier le plan d'ensemble, la nomenclature et l'assemblage de la garniture.
- b-** Installer la garniture sur l'arbre et la positionner par rapport à la face d'appui de la boîte à garniture.
- c-** Orienter les orifices du (des) chapeau(x) de la garniture comme indiqué sur le plan d'ensemble et raccorder les tuyauteries.
- d-** Serrer boulons/écrous de chapeau de manière uniforme afin d'éviter les déformations ou une pression inégale du chapeau sur la face d'appui de la boîte à garniture. Ne pas serrer les vis du dispositif d'entraînement.

e- Terminer l'assemblage du reste de l'équipement y compris, le cas échéant, les paliers de butée.

f- Veiller à ce que les plaques de réglages soient correctement positionnées et engagées.

! La position incorrecte des plaques de réglages peut provoquer une défaillance de la garniture mécanique et suite à cela l'échappement du produit véhiculé dans l'environnement.

g- Serrer les vis du dispositif d'entraînement en respectant les couples de serrage indiqués sur le plan d'ensemble de la garniture.



Le serrage incorrect des vis peut déclencher une situation dangereuse, la garniture mécanique risquant de sortir de la cavité de la garniture lors de la mise en pression.

h- Monter les tuyauteries de raccordement conformément au plan-API. Consulter également (si nécessaire) le manuel de montage d'entretien de l'équipement auxiliaire.

i- Désengager les plaques de fixation de la chemise et les verrouiller à fond en position désengagée.

! Veillez à ce que les plaques de réglage ne retombent pas sur la chemise afin d'éviter tout contact entre les éléments en rotation et les éléments statiques.

j- Contrôler l'alignement du matériel avec le dispositif d'entraînement, conformément aux instructions du fabricant de l'accouplement et/ou du matériel.

k- Après avoir amené l'unité en condition opérationnelle (pression et température), vérifier à nouveau l'alignement et procéder aux ajustements si nécessaire.

2. Installation des garnitures type cartouche avec cales de centrage

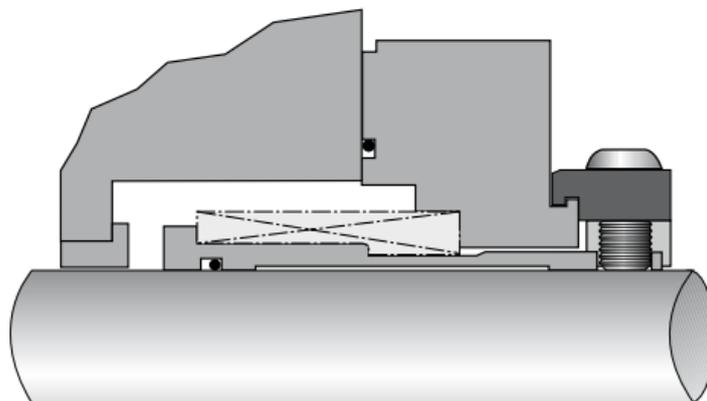


Figure V.3 : Montage type cartouche avec cales de réglages

- a- Avant l'installation, vérifier le plan d'ensemble, la nomenclature et l'assemblage de la garniture.
- b- Installer la garniture sur l'arbre et la positionner par rapport à la face d'appui de la boîte à garniture.
- c- Orienter les orifices du (des) chapeau(x) de la garniture comme indiqué sur le plan d'ensemble et raccorder les tuyauteries.
- d- Installer les boulons/écrous du chapeau sans les serrer. Le chapeau doit pouvoir effectuer librement un mouvement radial.
- e- Terminer l'assemblage du reste de l'équipement y compris, le cas échéant, les paliers de butée.
- f- Veiller à ce que les plaques de réglage soient positionnées et engagées.

 La position incorrecte des plaques de réglage peut provoquer une défaillance de la garniture mécanique et suite à cela l'échappement du produit véhiculé dans l'environnement.

- g- Serrer boulons/écrous du chapeau de manière uniforme afin d'éviter les déformations ou une pression inégale du chapeau sur la face d'appui de la boîte à garniture. Ne pas serrer les vis du dispositif d'entraînement.
- h- Serrer les vis du dispositif d'entraînement en respectant les couples de serrage indiqués sur le plan d'ensemble de la garniture.



Le serrage incorrect des vis peut déclencher une situation dangereuse, la garniture mécanique risquant de sortir de la cavité de la garniture lors de la mise en pression.

- i- Montrer les tuyauteries de raccordement conformément au plan-API. Consulter également (si nécessaire) le manuel de montage et d'entretien de l'équipement auxiliaire.
- j- Retirer les cales de centrage et les ranger dans un endroit connu.
- k- Contrôler l'alignement du matériel avec le dispositif d'entraînement, conformément aux instructions du fabricant de l'accouplement et/ou du matériel.
- l- Après avoir amené l'unité en condition opérationnelle (pression et température), vérifier à nouveau l'alignement et procéder aux ajustements si nécessaire.

3. Installation des garnitures de base – composantes

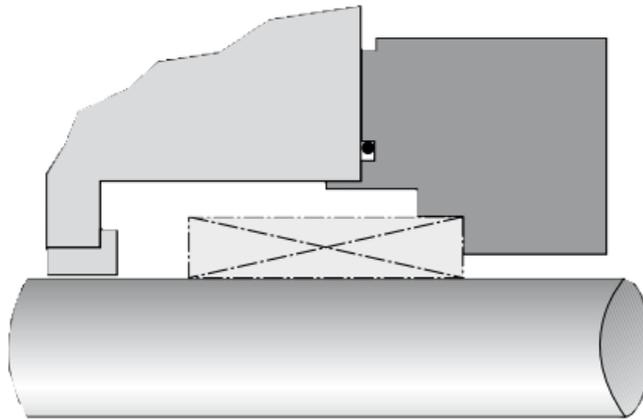


Figure V.4 : Montage type base-composantes

- a-** Avant l'installation, vérifier le plan d'ensemble, la nomenclature et l'assemblage de la garniture. Veiller à ce que les faces d'appui et les joints soient exempts de bavures, salissures et autres dommages. Avant l'installation, essuyer les faces rodées avec un chiffon non pelucheux et un solvant à séchage rapide. Il n'est pas recommandé de lubrifier les faces de la garniture, sauf si cela est indiqué sur le plan d'ensemble.
 - b-** Installer la boîte à garniture et l'arbre (y compris, le cas échéant, les paliers de butée) et vérifier/tracer la distance de réglage de la garniture comme indiqué sur le plan d'ensemble. D'autres moyens de réglage auxiliaires tels que des cales d'épaisseur peuvent être indiqués sur le plan d'ensemble de la garniture.
- !** Sachez que la mise en place incorrecte de la garniture peut provoquer une défaillance de la garniture mécanique et suite à cela l'échappement du produit véhiculé dans l'environnement.
- c-** Le cas échéant, procéder au pré-assemblage des composants rotatifs et fixes, ou des sous composants de la garniture, conformément au plan d'ensemble.
 - d-** Monter par étapes successives les composants de la garniture sur le matériel, fixer les composants rotatifs. Positionner le(s) chapeau(x) par rapport à la face d'appui de la boîte à garniture.
 - e-** Orienter les orifices du (des) chapeau(x) de la garniture comme indiqué sur le plan d'ensemble et raccorder les tuyauteries.
 - f-** Serrer boulons/écrous de chapeau de manière uniforme afin d'éviter les déformations ou une pression inégale du chapeau sur la face d'appui de la boîte à garniture. Ne pas serrer les vis du dispositif d'entraînement.

- g-** Terminer l'assemblage du reste de l'équipement y compris, le cas échéant, les paliers de butée.
- h-** Monter les tuyauteries de raccordement conformément au plan-API. Consulter également (si nécessaire) le manuel de montage et d'entretien de l'équipement auxiliaire.
- i-** Contrôler l'alignement du matériel avec le dispositif d'entraînement, conformément aux instructions du fabricant de l'accouplement et/ou du matériel.
- j-** Après avoir amené l'unité en condition opérationnelle (pression et température), vérifier à nouveau l'alignement et procéder aux ajustements si nécessaire.

4. Installation des garnitures avec chemise pincée (pompes en porte-à-faux)

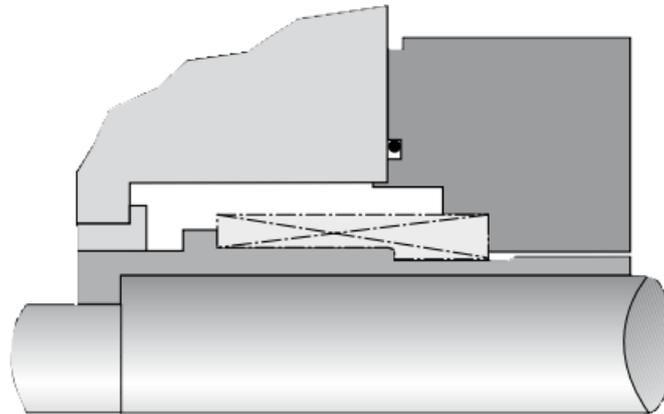


Figure V.5 : Montage type chemise pincée

- a-** Avant l'installation, vérifier le plan d'ensemble, la nomenclature et l'assemblage de la garniture. Veiller à ce que les faces d'appui et les joints soient exempts de bavures, salissures et autres dommages.

Avant l'installation, essayer les faces rodées avec un chiffon non pelucheux et un solvant à séchage rapide. Il n'est pas recommandé de lubrifier les faces de la garniture, sauf si cela est indiqué dans le plan d'ensemble.

- b-** Installer la boîte à garniture et l'arbre (y compris, le cas échéant, les paliers de butée) et vérifier la distance entre la face d'appui de la boîte à garniture et l'extrémité de l'arbre comme indiqué sur le plan d'ensemble de la garniture.

Si cet écart ne correspond pas à la dimension indiquée dans le plan de montage, le montage de la garniture mécanique n'est pas correct, ce qui peut conduire à une défaillance de la garniture mécanique et suite à cela à l'échappement du produit véhiculé dans l'atmosphère.

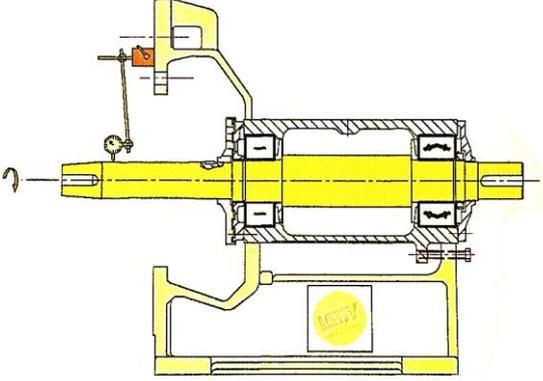
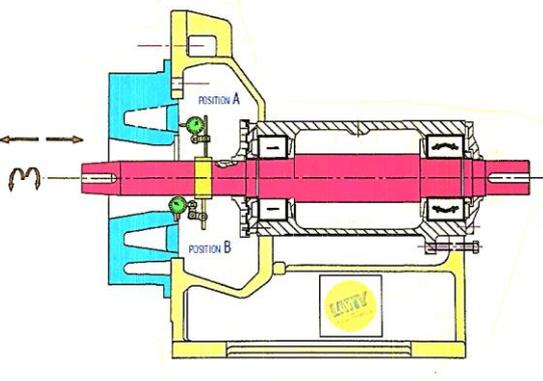
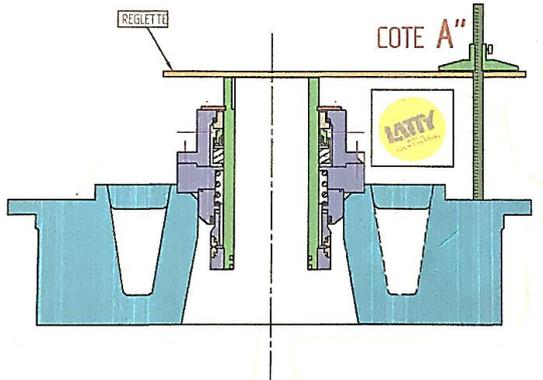


- c-** Le cas échéant, procéder au pré-assemblage des composants rotatifs et fixes, ou des sous composants de la garniture, conformément au plan d'ensemble.
- d-** Monter par étapes successives les composants de la garniture sur le matériel, fixer les composants rotatifs. Positionner le(s) chapeau(x) par rapport à la face d'appui de la boîte à garniture. Le cas échéant, installez les clavettes d'entraînement comme indiqué sur le plan d'ensemble de la garniture et/ou de la pompe.
- e-** Orienter les orifices du (des) chapeau(x) de la garniture comme indiqué sur le plan d'ensemble et raccorder les tuyauteries.
- f-** Serrer boulons/écrous de chapeau de manière uniforme afin d'éviter les déformations ou une pression inégale du chapeau sur la face d'appui de la boîte à garniture.
- g-** Après avoir correctement serré l'écrou d'impulseur, vérifier que la chemise est bien en place.
- h-** Terminer l'assemblage du reste de l'équipement y compris, le cas échéant, les paliers de butée.
- i-** Monter les tuyauteries de raccordement conformément au plan-API. Consulter également (si nécessaire) le manuel de montage et d'entretien de l'équipement auxiliaire.
- j-** Contrôler l'alignement du matériel avec le dispositif d'entraînement, conformément aux instructions du fabricant de l'accouplement et/ou du matériel.
- k-** Après avoir amené l'unité en condition opérationnelle (pression et température), vérifier à nouveau l'alignement et procéder aux ajustements si nécessaire.

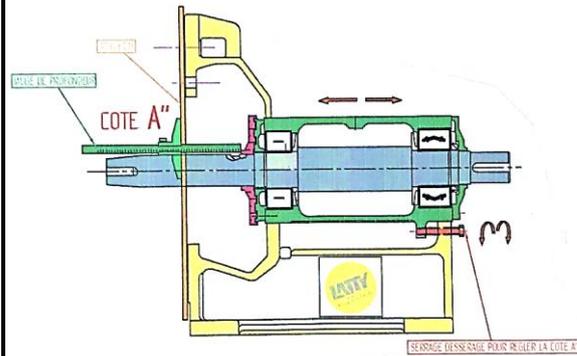


Les éléments de la garniture mécanique qui sont en mouvement durant l'actionnement de la machine (p. ex. la bague de serrage), doivent être protégés contre un contact par des dispositifs de protection adaptés conformément aux indications du fabricant.

IV.3.2. Elaboration d'un standard de montage des garnitures mécaniques

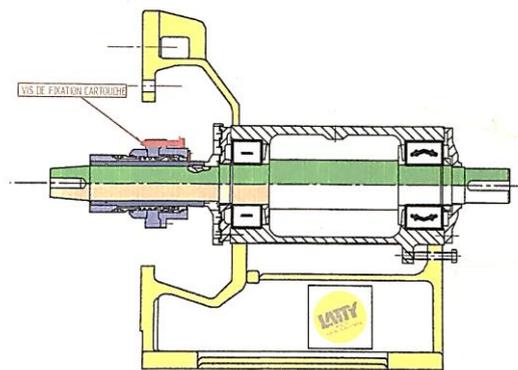
 STANDARD DE MONTAGE DES GARNITURES MECANQUES		
<i>Phases</i>	Schématisation	Description
<h1>1</h1>		<p>❖ <u>Vérification de :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ➔ l'état de surface arbre [$R_a=0,16$], Rectification <p>❖ <u>Contrôle :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ➔ Fouettement de l'arbre {0,05 mm}
<h1>2</h1>		<p>❖ <u>Vérification état châssis et fond</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ A= jeu axial arbre de 0,1 à 0,15 mm ✓ A=Perpendicularité maxi 0,1 mm ✓ B=Concentricité maxi 0,1 mm ✓ B= jeu radial de l'arbre de 0,1 à 0,15 mm
<h1>3</h1>		<p>➔ Montage de la garniture sur le fond et prise de la cote A''</p>

4



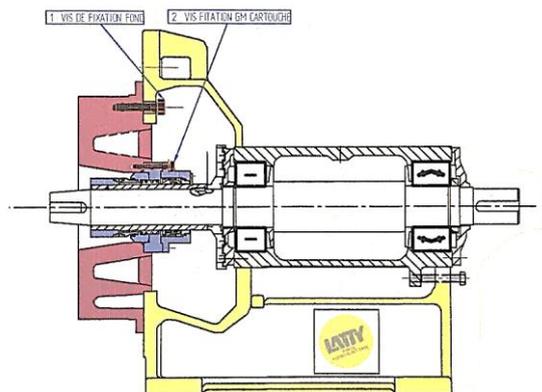
→ Réglage jeu axial du logement garniture

5



1. Enduire l'arbre de vaseline ou graisse neutre (type MOLYKOTE 111)
2. Monter en premier les vis boîtier garniture et Monter la cartouche sur l'arbre

6



Monter la turbine sur l'arbre puis contrôler l'appui turbine/chemise garniture mécanique

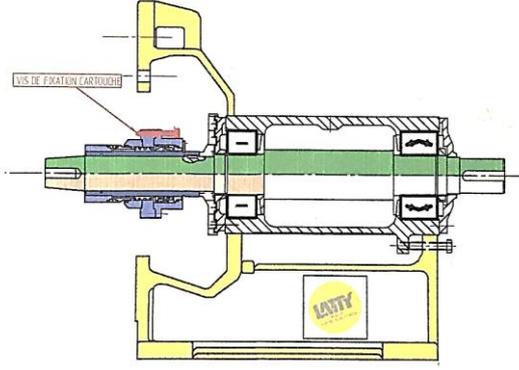
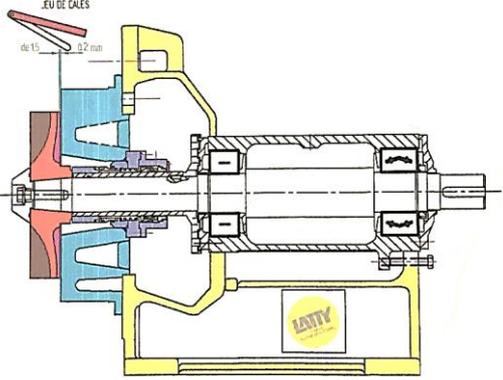
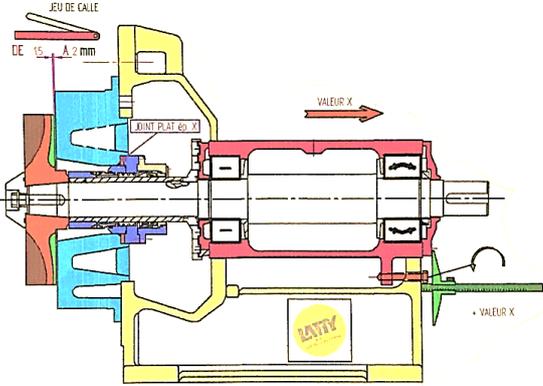
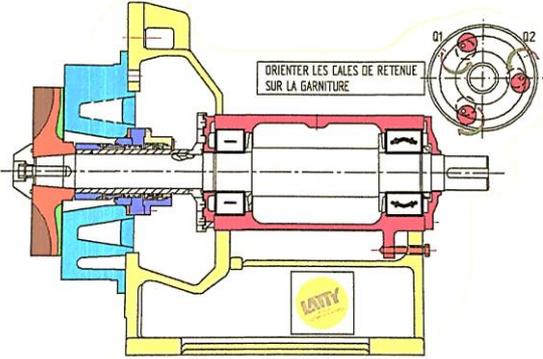
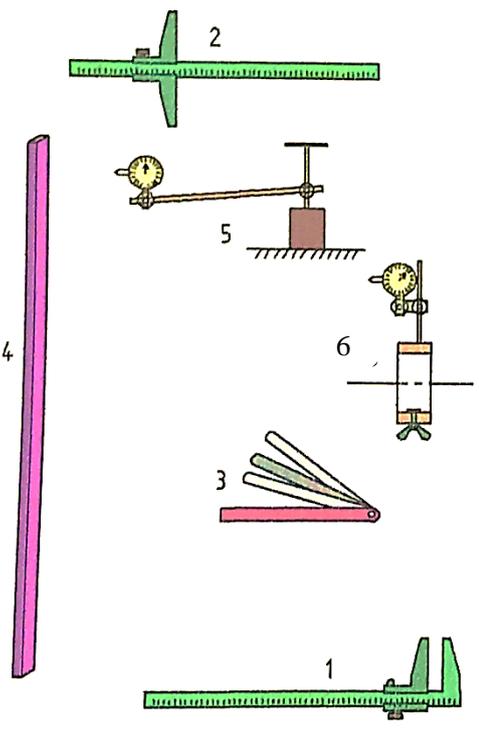
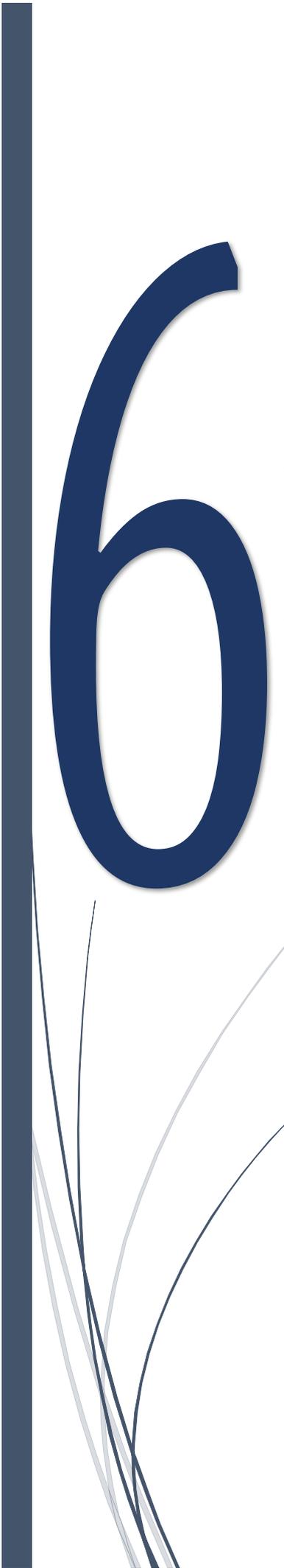
<h1>7</h1>		<ol style="list-style-type: none"> 1. Montage du fond et serrage vis 2. Serrage vis de fixation garniture
<h1>8</h1>		<p>Contrôler avec jeu de cales entre turbine et fond</p>
<h1>9</h1>		<p>Si le jeu trop important entre le fond et la turbine a une valeur (x) il faut ajouter un joint plat en téflon épaisseur (x) entre garniture mécanique et le fond, puis déplacer le boîtier palier avec valeur (x)</p>
<h1>10</h1>		<ol style="list-style-type: none"> 1. Fin du montage orienter les cales de la garniture mécanique cartouche 2. Dernier contrôle, les cales de retenue doivent pouvoir se replacer dans la lumière chemise, → si OK = MONTAGE bon 3. Démontez les cales de retenue

Tableau V.1 : Outillages utilisés pour le montage des garnitures mécaniques

OUTILLAGE SPÉCIFIÉ	
1 : Pied à coulisse 0 → 300	
2 : Jauge de profondeur 0 → 300	
3 : Jeu de cales d'épaisseur	
4 : Réglette en acier Chrome ou inox 20/20 de 1 mètre	
5 : Comparateur avec support arbre / magnétique poussoir	
6 : Clef dynamométrique	

V.4. Conclusion :

Cette étude nous a autorisés d'expliquer les types de montage des garnitures mécaniques les plus connues et d'élaborer un standard de montage des différentes garnitures mécaniques. Par la suite nous allons faire une nouvelle version des modes opératoires appropriés aux pompes les plus révisées.

A thick dark blue vertical bar runs down the left side of the page. At the bottom left, there are several thin, light blue lines that curve upwards and to the right, resembling stylized grass or reeds.

6

CHAPITRE : ÉLABORATION D'UNE NOUVELLE PROCÉDURE DE RÉVISION DES POMPES CENTRIFUGES

CHAPITRE VI

ÉLABORATION D'UNE NOUVELLE PROCÉDURE DE RÉVISION DES POMPES CENTRIFUGES

VI.1. Introduction

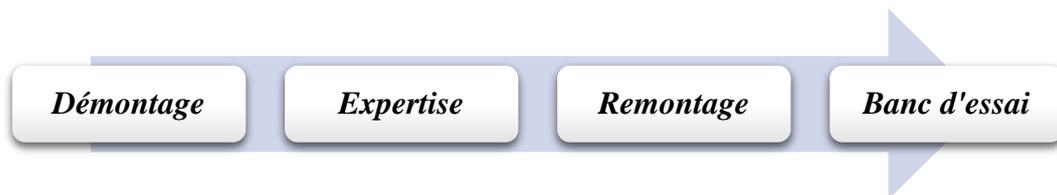
Un mode opératoire est une description détaillée des actions nécessaires à l'obtention d'un résultat, il décrit généralement le déroulement détaillé des opérations effectuées.

➔ Dans notre cas le résultat est la **révision des pompes centrifuges**.

Le but de ces modes opératoires c'est de standardiser les opérations de révision de façon à ce que n'importe quel ouvrier de la section AMM quel que soit son niveau d'expérience pourra accomplir la tâche souhaité dans des délais précis, et sans difficulté, car il aura dans ses mains toutes les informations concernant l'enchaînement des opérations ainsi que l'outillage approprié à chaque phase.

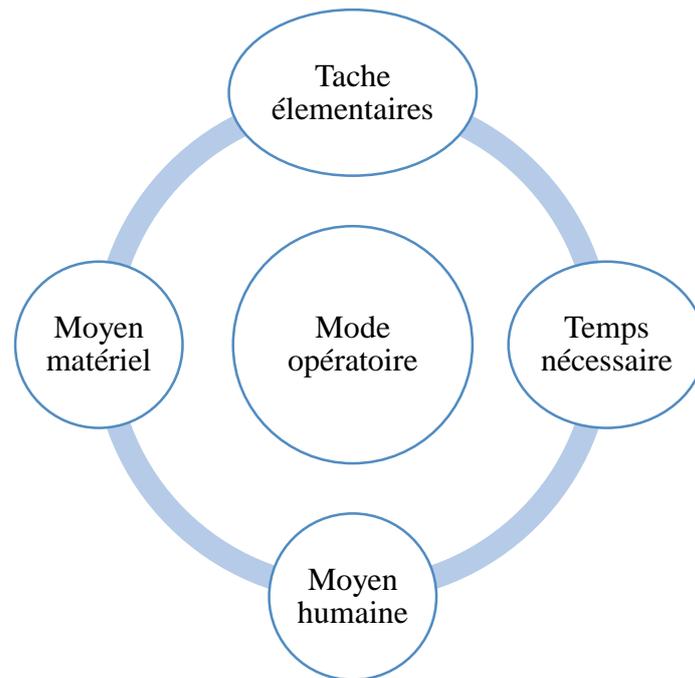
VI.2. Élaboration du modèle des modes opératoires

Pour les pompes LC 65/310, Ensival, Sulzer et Puisard ; La révision se décompose en 3 étapes primordiales mais pour la pompe LC 450/500 il y'a une étape additionnelle s'appelle banc d'essai.



Vu la rénovation des modes opératoires pour la révision des pompes centrifuges chez les **ACX**, nous nous sommes basés sur l'ancienne standard afin d'élaborer les modes opératoires des principaux pompes révisés et nous avons dû assister aux révisions pour :

1. Assembler les phases par ordre chronologique.
2. Estimer les durées moyennes de chaque phase.
3. Minimiser les durées de chaque phase en retranchant les temps morts.
4. Définir les compétences requises pour chaque phase.
5. Définir l'outillage utilisé.



Le mode opératoire se constituera de 4 gammes, chaque gamme sera comme suit :

❖ Standard de la gamme de démontage :

 GAMME DE DEMONTAGE D'UNE POMPE						
ETAT DE MAINTENANCE RECOMMANDE			COMPETENCES		TEMPS MO (Mn)	Outillage X
N° phase	Désignation des phases	Durée (Mn)	Mécanique	Chaudronnerie		
1						▨
1.1						
1.2						
1.3						
2						▨
2.1						
2.2						
2.3						
TOTAUX						▨

❖ Standard de la gamme d'expertise :

Gamme d'Expertise de <u>la pompe</u>	
N° phase	Désignation des phases
1	
1.1	
1.2	
2	
3	
4	
5	

❖ Standard de la gamme de remontage :

 GAMME DE REMONTAGE D'UNE POMPE						
ETAT DE MAINTENANCE RECOMMANDE			COMPETENCES		TEMPS MO (Mn)	Outillage X
N° phase	Désignation des phases	Durée (Mn)	Mécanique	Chaudronnerie		
1						
1.1						
1.2						
1.3						
2						
2.1						
2.2						
2.3						
TOTAUX						

❖ Standard de la gamme de banc d'essai :

 GAMME DU BANC D'ESSAI DE LA POMPE LC 450/500						
<i>Phases</i>	<i>Opérations</i>	<i>Exécutant</i>	<i>Temps prévu (Min)</i>	<i>Instrument utilisé</i>	<i>Validation</i>	
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						

Les modes opératoires viseront les pompes suivantes :

- ❖ **Pompe LC 450 /500.**
- ❖ **Pompe LC 65/310.**
- ❖ **Pompe Ensival.**
- ❖ **Pompe Sulzer.**
- ❖ **Pompe Puisard.**

VI.3. Mode opératoire de révision des pompes

- ❖ **Pompe LC 450/500**
 - 1. Démontage**

 GAMME DE DEMONTAGE DE LA POMPE LC 450/500						
ETAT DE MAINTENANCE RECOMMANDE			COMPETENCES		TEMPS MO (Mn)	Outillage X
N° phase	Désignation des phases	Durée (Mn)	Mécanique	Chaudronnerie		
1	DEMONTAGE DE LA VOLUTE	10	2		20	
1.1	Placer l'anneau de levage dans le trou taraudé prévu à cet effet					M14
1.2	Soutenir la volute en élinguant à partir de l'anneau					Elingue
1.3	Dévisser les écrous qui fixent la volute sur la chaise					Clé 46
1.4	Dégager l'escargot vers l'avant pour accéder à la turbine					Palan
2	DEMONTAGE DE LA TURBINE	5	2		10	
2.1	Desserrer et dévisser légèrement la vis de blocage de la roue					Clé 24 pipe
2.2	Décoller la roue de son cône moyennant deux cônes placés entre le fond et l'arrière de la roue					Chasse turbine
2.3	Dévisser complètement la vis de blocage					Clé 24 pipe
2.4	Déposer l'ogive et la roue					Palan
3	DEMONTAGE DU FOND AVEC GARNITURE MECANIQUE	15	2		30	

3.1	Dévisser les écrous qui fixent le fond sur la chaise					Clé 30 mixte
3.2	Démonter le fond avec garniture mécanique de la chaise.					Vérin
3.3	Déposer le fond équipé de garniture mécanique					Palan
3.4	Démonter la garniture du fond					Clé 19
4	DEMONTAGE DU BOITARD	65	2		130	
4.1	Démonter les vis de fixation du boitard					Clé 41 mixte
4.2	Démonter les vis de réglage					Clé 27 mixte
4.4	Retirer l'ensemble boitard du support palier					Palan
4.5	Déposer le déflecteur					Manuellement
4.6	Démonter le flasque côté fond					Manuellement
4.7	Démonter le flasque côté boitard					Manuellement
4.8	Retirer l'arbre équipé des roulements					Palan
4.9	Relever la languette de la rondelle frein					Marteau, Chasse goupille
4.10	Débloquer et dévisser l'écrou à encoches					Clé à ergot
4.11	Oter la rondelle frein					Manuellement
4.12	Déposer les deux roulements à billes à contact oblique					Manuellement
4.13	Vérifier la présence de la rondelle intercalaire entre les deux roulements					Visuellement

4.14	Extraire la bague extérieure du roulement à rouleaux cylindriques du boitard					Jet +Marteau
TOTAUX		95	2	0	190	

2. Expertise

Gamme d'Expertise de la pompe LC 450/500	
N° phase	Désignation des phases
1	NETTOYAGE DE L'ENSEMBLE DES PIECES CONSTITUANT LA POMPE
1.1	Nettoyer soigneusement toutes les surfaces
1.2	Mettre les pièces nettoyées de côté pour l'inspection et la réutilisation.
2	CHANGER TOUS LES ROULEMENTS ET LES JOINTS D'ETANCHEITE
3	CONTROLE VISUEL DE TOUS LES COMPOSANTS DE LA POMPE
4	CHANGER LES PIECES OU SE PRESENTENT DES FISSURES OU DES USURES
5	CONTROLE DE L'ARBRE

3. Remontage

 GAMME DE REMONTAGE DE LA POMPE LC 450/500						
ETAT DE MAINTENANCE RECOMMANDE			COMPETENCES		TEMPS MO (Mn)	Outillage X
N° phase	Désignation des phases	Durée (Mn)	Mécanique	Chaudronnerie		
1	REMONTAGE DES ROULEMENTS DU BOITARD	25	2	1	75	X
1.1	Glisser sur l'arbre les soupapes à graisses					Manuellement
1.2	Chauffer les roulements à 100° C					Application à induction
1.3	Monter les roulements à billes à contact oblique en intercalant la rondelle intermédiaire					Manuellement
1.4	Tenir compte du sens de montage (montage en x)					Visuellement
1.5	Serrer l'écrou à encoches					Clé à ergot
1.6	Bloquer et rabattre la languette					Marteau, Chasse Goupille
1.7	Monter la bague intérieure des roulements. à rouleaux cylindriques et, s'assurer qu'elle est en butée sur la soupape à graisse					Manuellement
1.8	Vérifier que la soupape ne peut pas tourner					Manuellement

1.9	Prendre l'arbre équipé de ses roulements et introduire le tout dans le boitard					Pont roulant
1.10	Monter le roulement (cage extérieure et rouleaux) dans le boitard					Manuellement
1.11	Garnir les roulements de la graisse					Manuellement
1.12	Monter et fixer le flasque côté fond					clé 6 pans 10
1.13	Monter et fixer le flasque côté boitard					clé mixte 19
1.14	Glisser sur l'arbre le déflecteur					Manuellement
1.15	Placer la clavette, graisser l'arbre					Manuellement
1.16	Présenter le boitard complet sur, le support-palier					Pont roulant
1.17	Monter les vis de fixation du boitard et serrer légèrement					Clé 41 mixte
1.18	Monter les vis de réglage					Clé 27 mixte
2	PREMONTAGE DU FOND ET DE LA TURBINE	20	2		40	
2.1	Montage du fond sur la chaise de palier					Clé 30 mixte
2.2	Montage de la turbine sur l'arbre					Pont roulant
2.3	Visser complètement la vis de blocage de la roue					Clé 24 pipe
2.4	Serrage des vis de fixation du boitard après réglage					Clé 41 mixte
3	REMONTAGE DU FOND AVEC GARNITURE MECANIQUE	10	2		20	
3.1	Montage de la garniture mécanique sur le fond					Clé 19

3.2	Monter le fond équipé de la garniture mécanique sur l'arbre et la chaise (s'assurer que la clavette soit dans le logement)					Vérin
4	REMONTAGE DE LA TURBINE	5	2		10	
4.1	Remonter la roue sur son cône avec sa clavette					Pont roulant
4.2	Introduire la vis d'ogive munie de son joint					Manuellement
4.3	Visser et bloquer					Clé 24 pipe
5	REMONTAGE DE L'ESCARGOT	20	2		40	
5.1	Montage du joint de corps					Manuellement
5.2	Présenter le corps de pompe équipé des goujons					pont roulant
5.3	Engager les goujons dans les trous de la chaise					Manuellement
5.4	Monter les rondelles et serrer les écrous					Clé 46
TOTAUX		80	2	1	185	

4. Banc d'essai



GAMME DU BANC D'ESSAI DE LA POMPE LC 450/500

Phases	Opérations	Exécutant	Temps prévu (Min)	Instrument utilisé	Validation	
1	TOURNAGE A VIDE DE L'ARBRE DE LA POMPE	Mécanicien	5	Détection par touche	<u>Libre</u>	<u>Coincement</u>
2	VERIFICATION DU NIVEAU DE GRAISSAGE AU BOITARD	Graisseur (client)	10	Détection Visuel	<u>Graissé</u>	<u>Non graissé</u>
3	INSPECTION DES POULIES	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Rechercher les traces d'usure ou de dommages durs les poulies ❖ Vérifier pour les transmissions à courroie synchrones, les diamètres extérieurs de la poulie sur toute sa largeur afin de vous assurer qu'elle est conforme à nos tolérances. 	30	Détection Visuel	<u>Aligné</u>	<u>Non aligné</u>
				Comparateur		
4		<ul style="list-style-type: none"> ❖ Marquez la courroie et tournez la transmission 	30	Détection par touche	<u>Bon montage</u>	<u>Mal montage</u>

	CONTROLE DE LA COURROIE	❖ Inspectez la courroie sur toute leur longueur et cherchez des craquelures, endroits brillants, coupures ou autres traces d'usure inhabituelle.			Détection Visuel	
		❖ Vérifier la température de la courroie.			Détection par touche	
5	VERIFICATION DES SERRAGES DE L'ENSEMBLE DES BOULONNERIES	Mécanicien	20	Clef dynamométrique	<u>Serré</u>	<u>Non serré</u>
6	INSPECTION DES FUITES POUR LES JOINTS ET LA GARNITURE MECANIQUE	Mécanicien	5	Détection Visuel	<u>Bonne étanchéité</u>	<u>Mauvaise étanchéité</u>
7	CONTROLE DU BRUIT	Chef d'équipe	10	Détection acoustique	<u>Normale</u>	<u>Anormale</u>

N.B : les modes opératoires des pompes LC 65/310, Ensival, Sulzer, Puisard sont montrées dans l'annexe 6.

VI.4. Élaboration d'un recueil des outillages

N.B : le recueil des outillages est montré dans l'annexe 7.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Le **Projet de Fin d'Études** (PFE) étant un projet complet en situation professionnelle qui marque la fin des études dans une faculté des sciences et techniques, a été d'un grand bénéfice pour nous. Nous pouvons même affirmer qu'il va servir de véritable passerelle entre nos études et nos premiers futurs emplois.

Notre PFE a été constitué par une étude approfondie apportant une contribution originale au développement des techniques dans les domaines liés à l'Ingénierie Mécanique.

Cette mise en situation réelle nous avons permis d'affûter notre formation et surtout d'avoir l'occasion de mettre en application les enseignements reçus à FSTF.

Ça nous avons aussi donné l'opportunité d'améliorer une dynamique de groupe et un esprit de travail collectif et nous avons permis ainsi d'affirmer notre savoir-faire et considérer nos compétences.

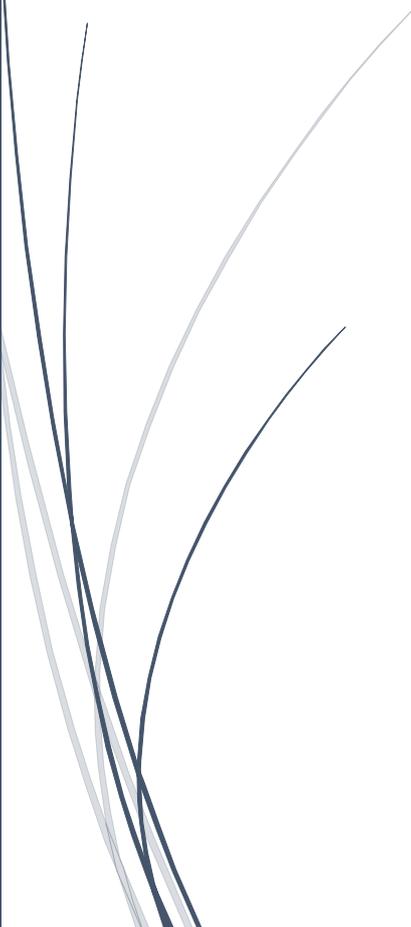
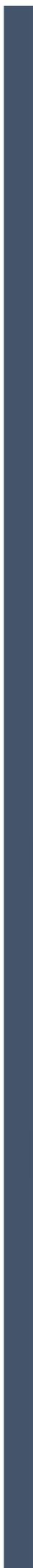
Lors de ce stage nous avons pu traiter un sujet de maintenance au sein du service de la maintenance mécanique des équipements, afin d'approfondir nos connaissances dans ce domaine et compléter nos formations de génie mécanique.

Notre sujet traitait des équipements très importants dans les réseaux hydrauliques à savoir les pompes centrifuges. Tout au long de cette étude, on a pu réaliser les tâches suivantes :

- ✍ Analyse globale des prestations et des temps de révision des pompes centrifuges.
- ✍ Analyse des processus de révision et faire ressortir des améliorations à y apporter.
- ✍ Faire une étude de montage des différents types des garnitures mécaniques.
- ✍ Elaborer une nouvelle version de la procédure de révision avec les précautions et standards des temps correspondant.
- ✍ Elaborer un recueil des outillages et moyens à mettre en disposition pour sécuriser, optimiser et fiabiliser ces révisions.

Nous adressons, encore une fois, nos vifs remerciements à tous ceux qui nous ont soutenus tout au long du chemin, pour pouvoir réussir ce modeste exploit.

ANNEXES



ANNEXE I : VALEURS DES CONSTANTES A et B SELON β

Tableau AI.1 : Constantes A et B

β	A	B	β	A	B	β	A	B
0,20	120	1901	1,50	0,9027	0,613	4	0,9064	0,254
0,25	24	199	1,55	0,8994	0,593	4,1	0,9077	0,249
0,30	9,2605	50,08	1,60	0,8966	0,574	4,2	0,9089	0,244
0,35	5,0291	19,98	1,65	0,8942	0,556	4,3	0,9102	0,239
0,40	3,3234	10,44	1,70	0,8922	0,540	4,4	0,9114	0,235
0,45	2,4786	6,46	1,75	0,8906	0,525	4,5	0,9126	0,230
0,50	2	4,47	1,80	0,8893	0,511	4,6	0,9137	0,226
0,55	1,7024	3,35	1,85	0,8882	0,498	4,7	0,9149	0,222
0,60	1,5046	2,65	1,90	0,8874	0,486	4,8	0,9160	0,218
0,65	1,3663	2,18	1,95	0,8867	0,474	4,9	0,9171	0,214
0,70	1,2638	1,85	2	0,8862	0,463	5	0,9182	0,210
0,75	1,1906	1,61	2,1	0,8857	0,443	5,1	0,9192	0,207
0,80	1,1330	1,43	2,2	0,8856	0,425	5,2	0,9202	0,203
0,85	1,0880	1,29	2,3	0,8859	0,409	5,3	0,9213	0,200
0,90	1,0522	1,17	2,4	0,8865	0,393	5,4	0,9222	0,197
0,95	1,0234	1,08	2,5	0,8873	0,380	5,5	0,9232	0,194
1	1	1	2,6	0,8882	0,367	5,6	0,9241	0,191
1,05	0,9603	0,934	2,7	0,8893	0,355	5,7	0,9251	0,188
1,10	0,9649	0,878	2,8	0,8905	0,344	5,8	0,9260	0,185
1,15	0,9517	0,830	2,9	0,8917	0,334	5,9	0,9269	0,183
1,20	0,9407	0,787	3	0,8930	0,325	6	0,9277	0,180
1,25	0,9314	0,750	3,1	0,8943	0,316	6,1	0,9286	0,177
1,30	0,9236	0,716	3,2	0,8957	0,307	6,2	0,9294	0,175
1,35	0,9170	0,687	3,3	0,8970	0,299	6,3	0,9302	0,172
1,40	0,9114	0,660	3,4	0,8984	0,292	6,4	0,9310	0,170
1,45	0,9067	0,635	3,5	0,8997	0,285	6,5	0,9318	0,168
			3,6	0,9011	0,278	6,6	0,9325	0,166
			3,7	0,9025	0,272	6,7	0,9333	0,163
			3,8	0,9038	0,266	6,8	0,9340	0,161
			3,9	0,9051	0,260	6,9	0,9347	0,160

ANNEXE II : LES DESSINS DE DE DÉFINITIONS

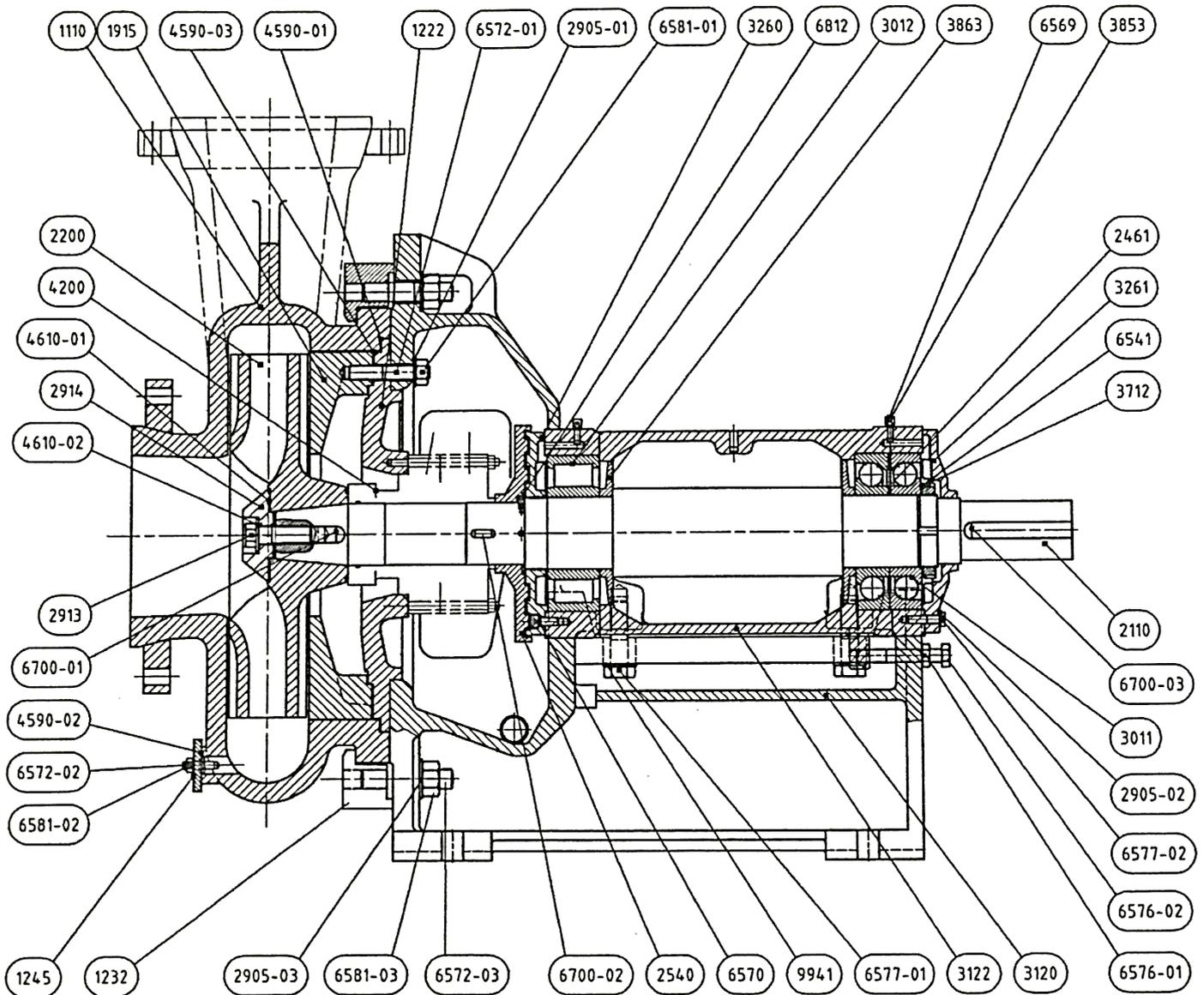


Figure AII.1 : Ensemble de coupe de la pompe LC

Tableau AII.1 : Repères et désignations de la pompe LC

Item	Qty	Description	Material
1110	1	Corps de pompe / Pump casing	GX2CrNiMoCuN24-22-8AT
1222	1	Fond / Casing Cover	GX2CrNiMoCuN24-22-8AT
1232	10	Taquet / Clamp	Z6 CND18-12M
1245	1	Bride / Flange Drain	X1NiCrMoCu25-20-5
1915	1	Plaque d'usure / Wear plate	GX2CrNiMoCuN24-22-8AT
2110	1	Arbe de pompe / Pump shaft	EN 10088-X2CrNiMoN22-5-3
2200	1	Roue / Impeller	GX2CrNiMoCuN24-22-8AT
2461	1	Rondelle de réglage / Adjusting Washer	EN 10025-S235JR
2540	1	Deflecteur / Thrower	CR - NEOPRENE
2905-01	4	Rondelle plate / Plate washer	EN 10088-X5CrNiMo17-12-2
2905-02	6	Rondelle / Serrated Lock Washer	Carb stl washer Zinc plat
2905-03	1	Rondelle plate / Plate washer	EN 10088-X5CrNiMo17-12-2
2913	1	Vis de blocage de roue / Impeller screw	EN10088-X1NiCrMoCu25-20-5
2914	1	Ogive de roue / Impeller hub cap	EN10088-X1NiCrMoCu25-20-5
3011	2	Roulement a billes / Radial ball bearing	Acier / Steel
3012	1	Roulement rouleaux / Radial roller bearing	Acier / Steel
3120	1	Chaise de palier / Pump bracket	EN 1561/EN-GJL-250
3122	1	Boitier de roulement / Bearing cartridge	EN 1561/EN-GJL-250
3260	1	Couvercle palier / Bearing Cover	EN 1561/EN-GJL-250
3261	1	Couvercle pal- cote moteur / Bearing Cover drive side	EN 1561/EN-GJL-250
3712	1	Ecrou de roulement / Lock nut	Steel
3853	2	Graisseur / Grease Nipple	Carbon steel
3863	2	Soupape à graisse / Grease regulator	EN 10083-C35E
4200	1	Garniture mecanique / Mechanical Seal	Various
4590-01	1	Joint Flat / Flat gasket	Klingerit for acid (BAC)
4590-02	1	Joint flat / Flat gasket	PTFE - TEFLON
4590-03	1	Joint Flat / Flat gasket	Klingerit for acid (BAC)
4610-01	1	Joint torique / O-Ring	FPM VITON VT70
4610-02	1	Joint torique / O-Ring	FPM VITON VT70
6541	1	Frein d'écrou / Lock washer	Steel
6569	2	Bouchon / Plug	PE - Polyethylene
6570	6	Vis CHc / Hexagon Socket Head Cap Screw	ISO 898-CI 8.8 Zinc plat
6572-01	4	Goujon filete / Stud	ASTM A193 Gr. B8M Cl. 2
6572-02	2	Goujon filete / Stud	EN 10088-X2CrNiMo17-12-2
6572-03	10	Goujon / Stud	ASTM A193 Gr B8M Cl. 2
6576-01	1	Vis de réglage / Adjusting screw	ISO 898-CI 5.8 Zinc plat
6576-02	1	Vis de réglage / Adjusting screw	ISO 898-CI 5.8 Zinc plat
6577-01	4	Vis a tete hexagonal / Hexagonal Head Bolt	ISO 898-CI 6.8 Zinc plat
6577-02	6	Vis a tete hexagonal / Hexagonal Head Bolt	ISO 898-CI 6.8 Zinc plat
6581-01	4	Ecrou hexagonal / Hexagonal Nut	EN 10088-X5CrNiMo17-12-2
6581-02	2	Ecrou hexagona / Hexagonal Nut	EN 10088-X5CrNiMo17-12-2
6581-03	1	Ecrou Hexagonal / Hexagonal Nut	ASTM A194 Gr. 8M
6700-01	1	Clavette / Key B	EN 10088-X2CrNiMo17-12-2
6700-02	1	Clavette / Key B	EN 10088-X2CrNiMo17-12-2
6700-03	1	Clavette / Key B	EN 10083-C40E
6812	1	Goupille cannelée / Grooved Pin	EN 10088-X5CrNiMo17-12-2
9941	4	Rondelle spéciale/ Special Washer	S235JR

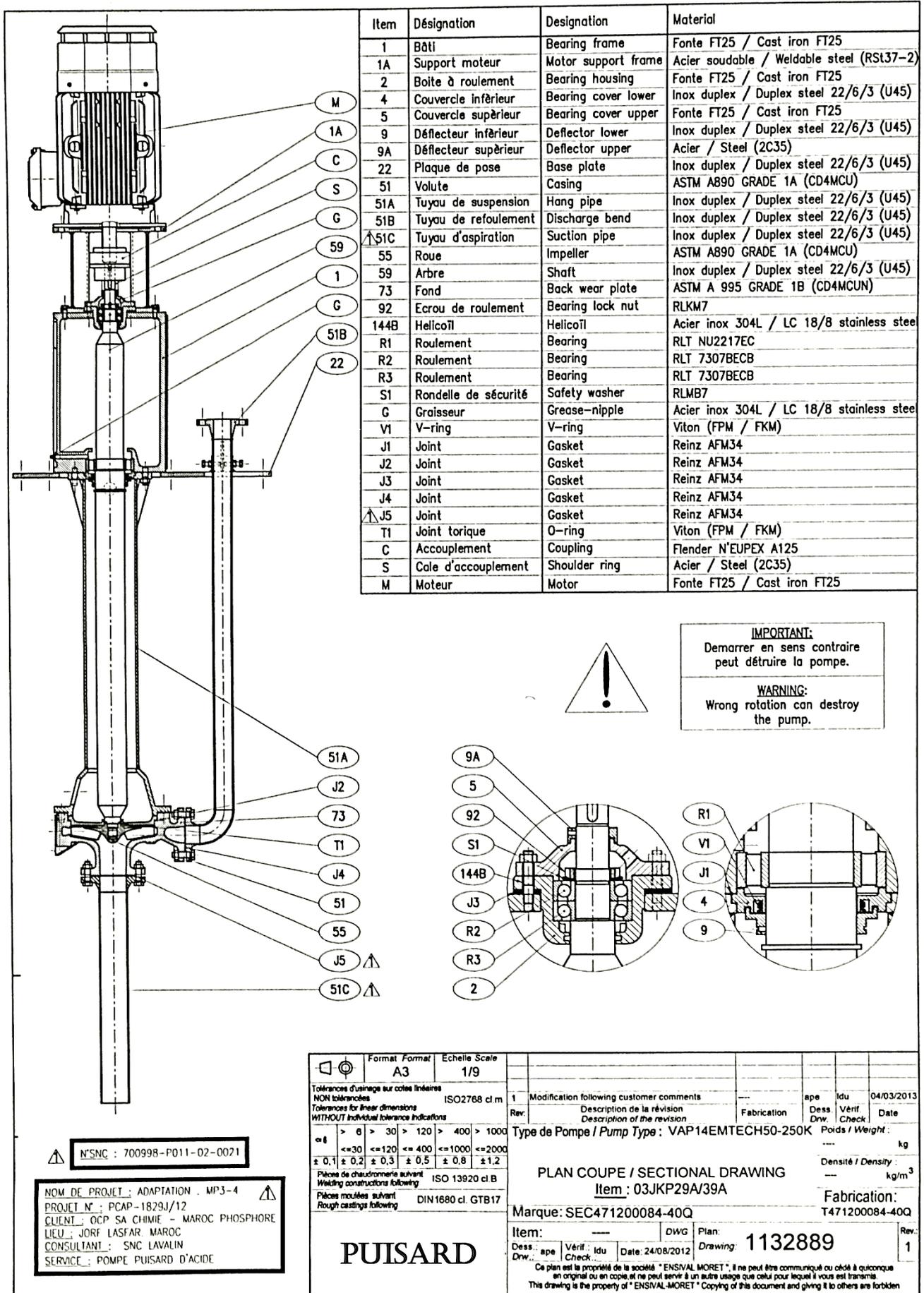


Figure AII.2 : Repères et désignations de la pompe PUISARD

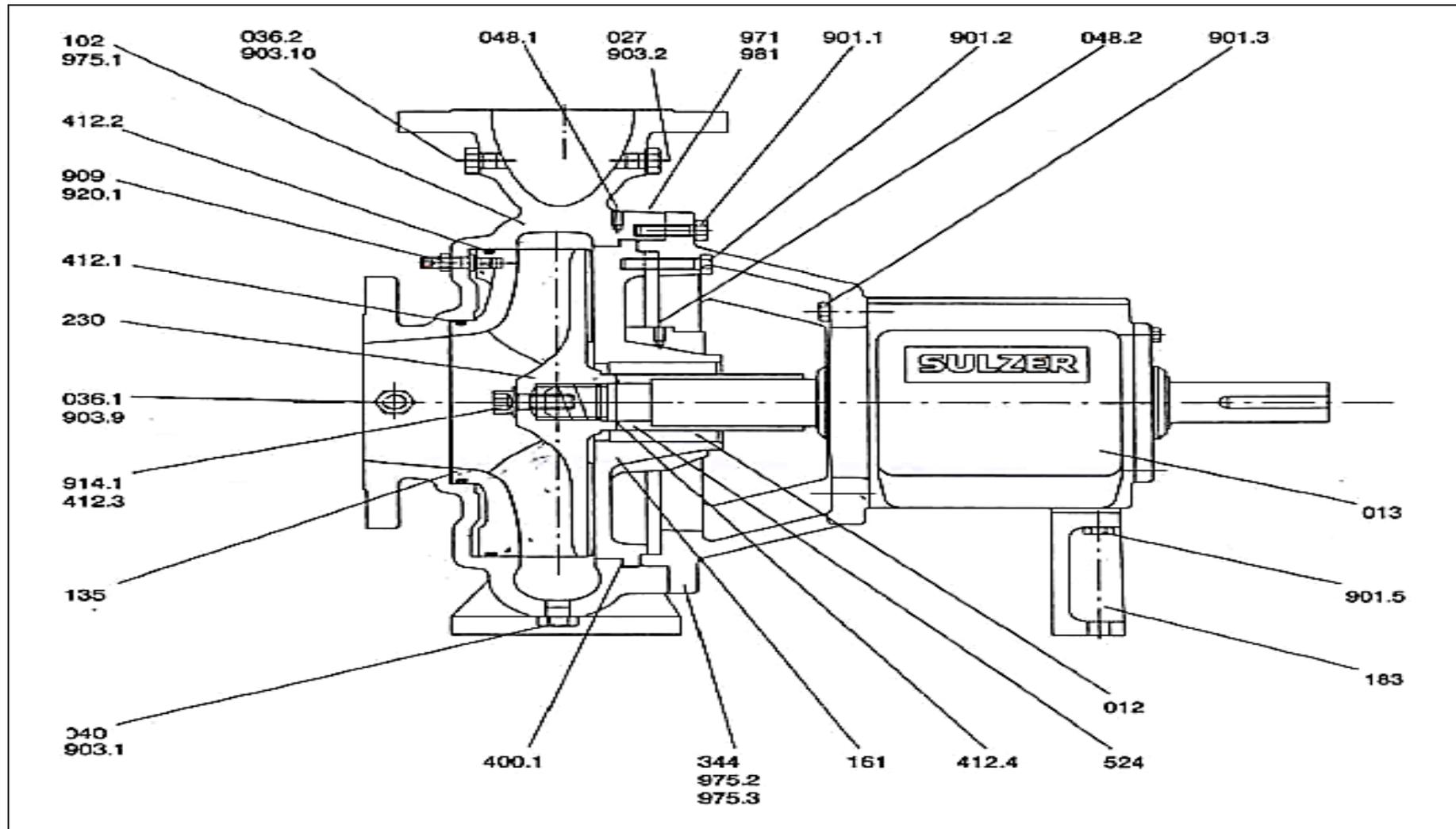


Figure AII.3 : Ensemble de coupe de la pompe Sulzer et de sa partie de roulements (1)

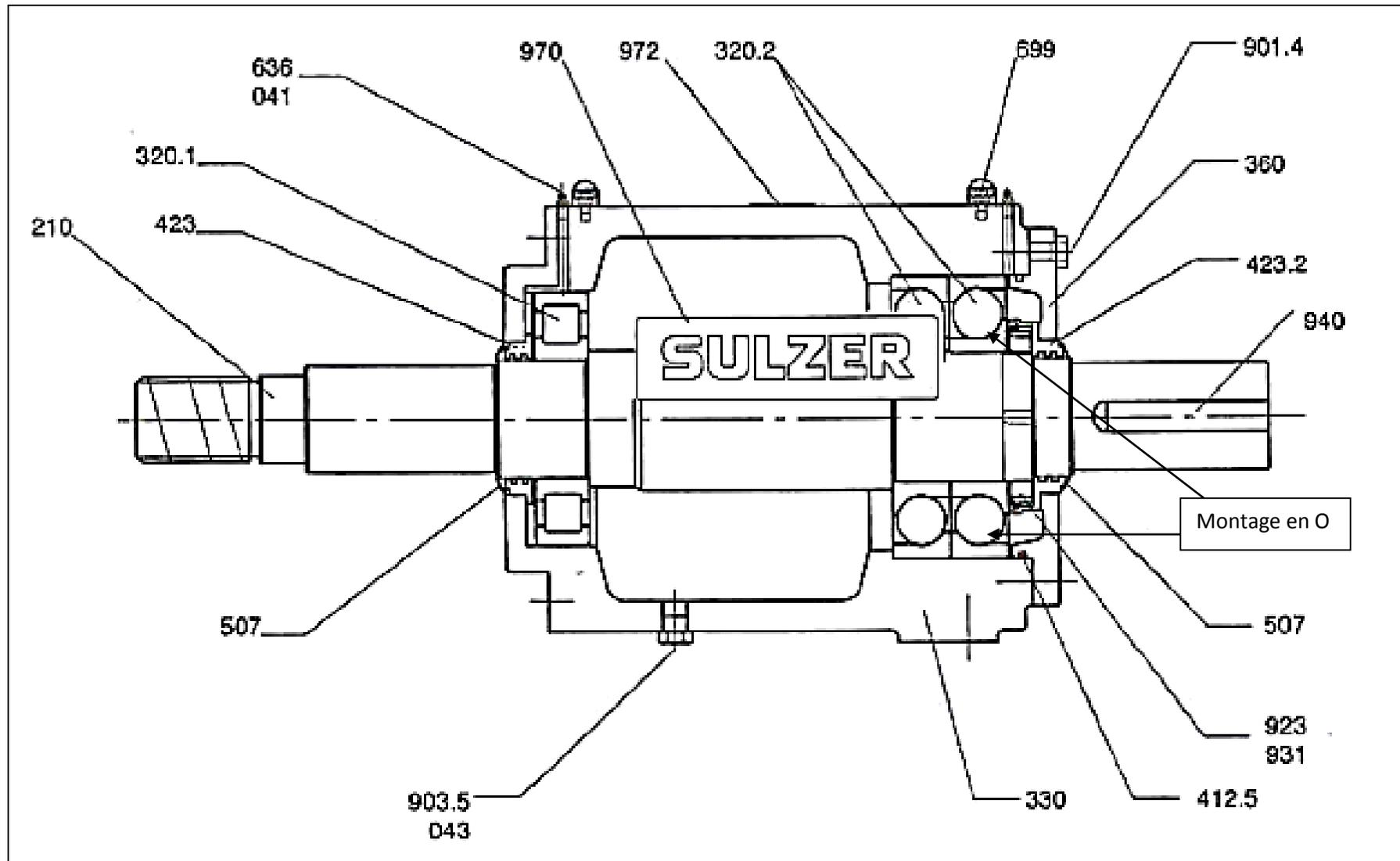


Figure AII.4 : Ensemble de coupe de la pompe Sulzer et de sa partie de roulements (2)

Tableau AII.2 : Repères et désignations de la pompe Sulzer

Repères	Désignations
12	Plan en coupe étanchéité
13	Bloc Palier
27	Racc. Conduite
36	Racc. de mesure de pression
40	Raccord
41	Boitier de roulements
43	Vidange de l'huile
48	Racc.de mesure de Température
102	Corps de pompe
135	Plaque latérale
161	Couvercle de corps
183	Pieds support
210	Arbre
320	Roulement
320	Roulement
330	Corps de palier
344	Lanterne
360	Couvercle de palier
400	Joint
412	Joint torique
423	Baque labyrinthe
507	Défecteur
636	Graisser
901	Vis à tête hexagonale
903	Bouchon fileté
909	Vis de réglage
914	Vis de roue
920	Ecrou hexagonal
923	Ecrou de roulement
931	Rondelle de sécurité
970	Plaque Sulzer logo
971	Plaque de firme
972	Flèche de rotation
975	Plaque d'avertissement

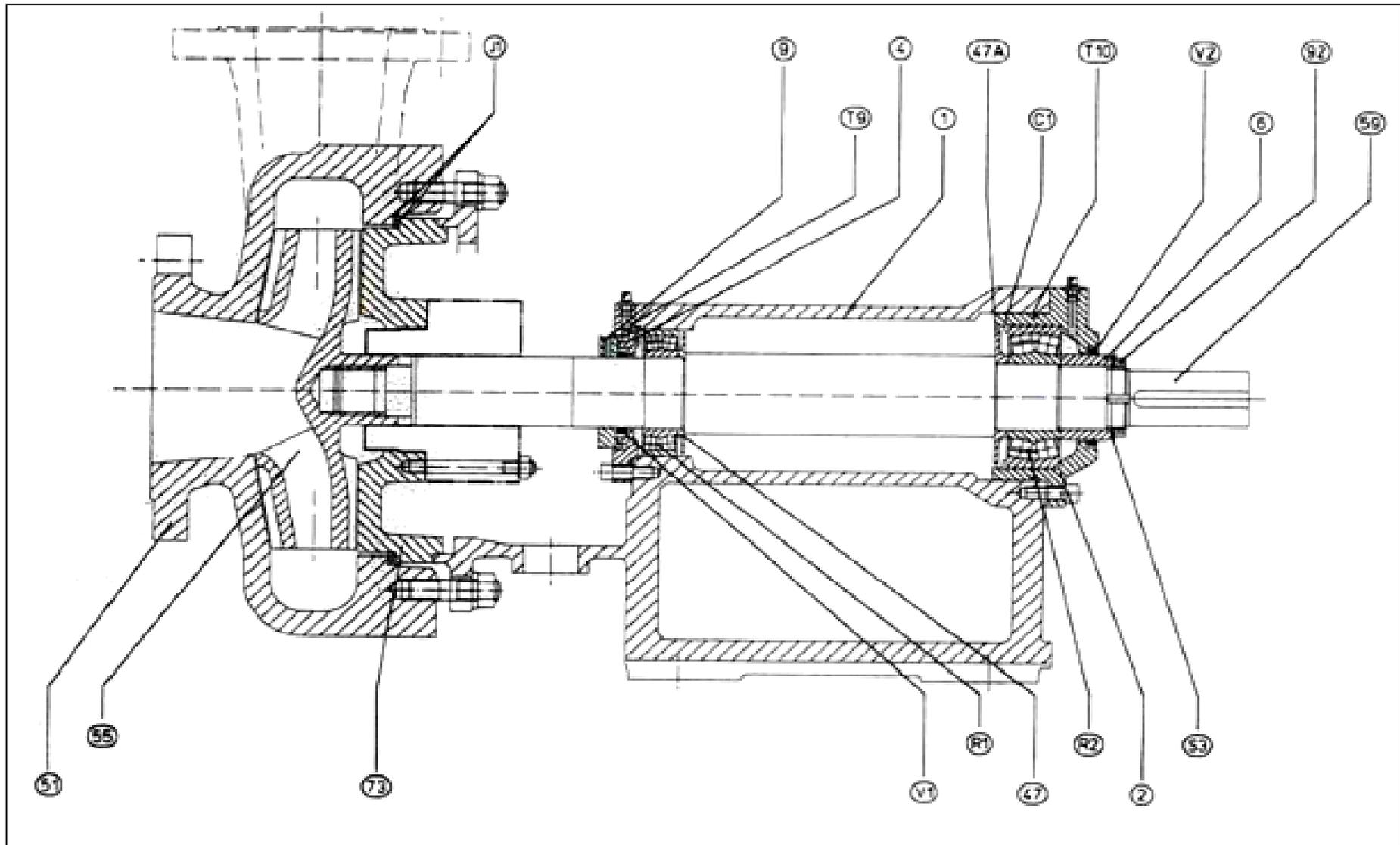


Figure AII.5 : Ensemble de coupe de la pompe Ensival

Tableau AII.3 : Repères et désignations de la pompe Ensival

Repères	Désignations
1	Joint
2	Défecteur
3	Tore
4	Couvercle de palier
5	Palier
6	Flasque retenue graisse
7	Circlips
8	Tore
9	Joint V-Ring
10	Bague Calage de roulement
11	Ecrou Calage de roulement
12	Arbre
13	Corps pompe
14	Roue
15	Flasque dos
16	Joint V-ring
17	Roulement
18	Flasque retenu graisse
19	Roulement
20	Boite à roulement
21	Couvercle garniture

ANNEXE III : SIMULATION NUMÉRIQUES ET STATIQUE DU CHÂSSIS

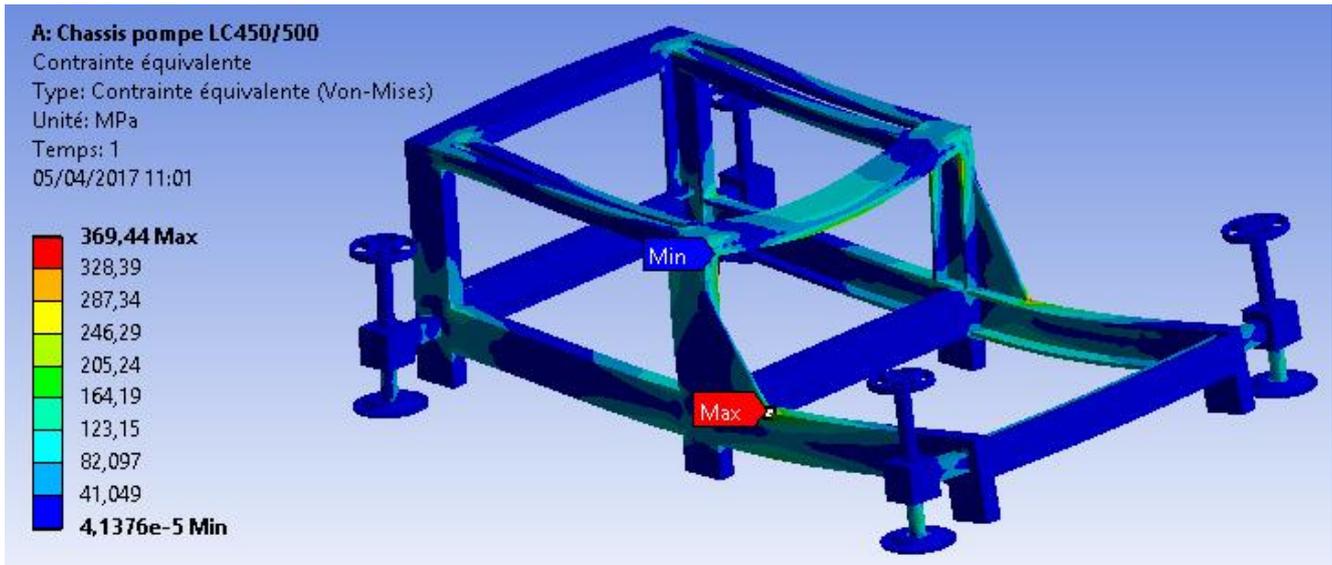


Figure AIII.1 : Champ des contraintes de l'acier à basse teneur en carbone

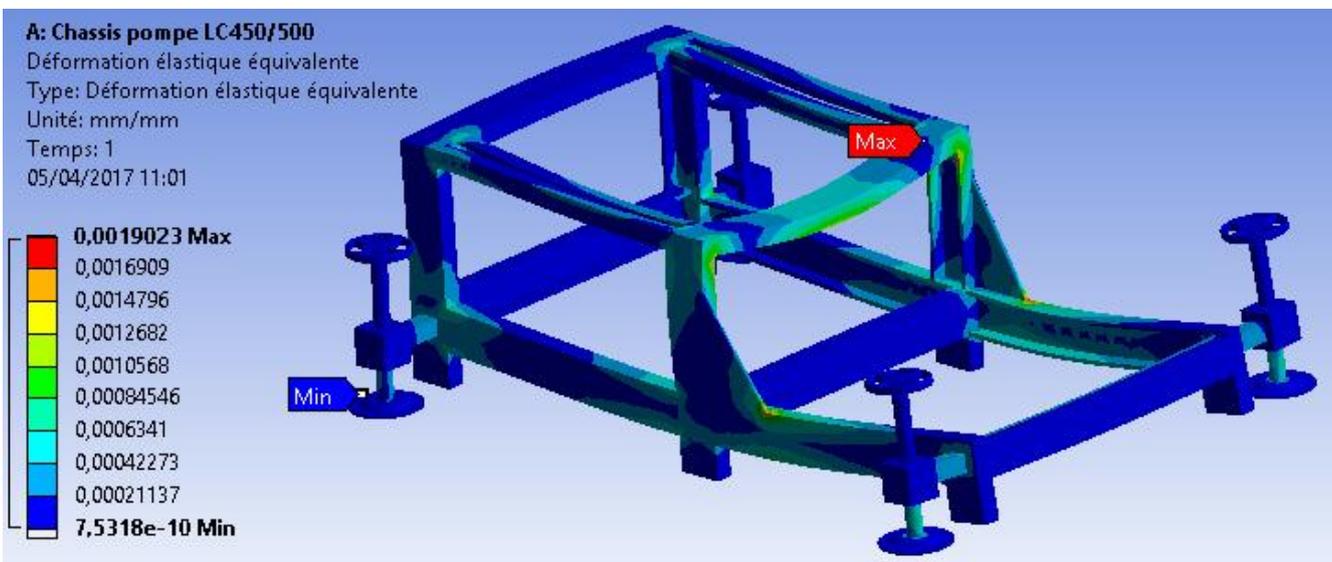


Figure AIII.2 : Champ des déformations de l'acier à basse teneur en carbone

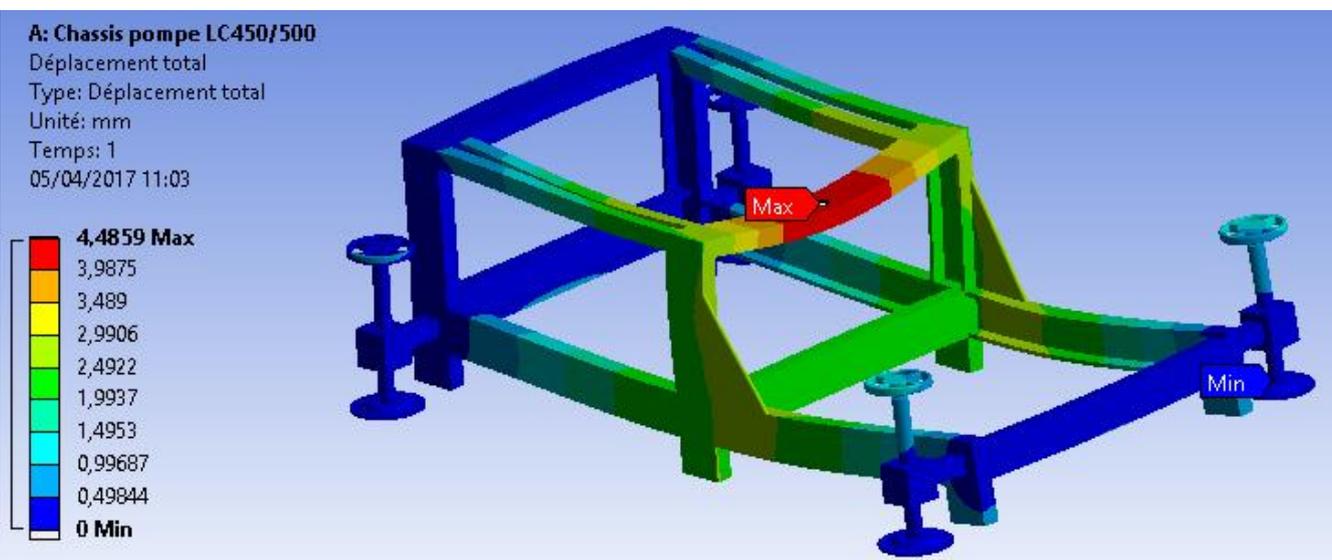


Figure AIII.3 : Champ du déplacement total de l'acier à basse teneur en carbone

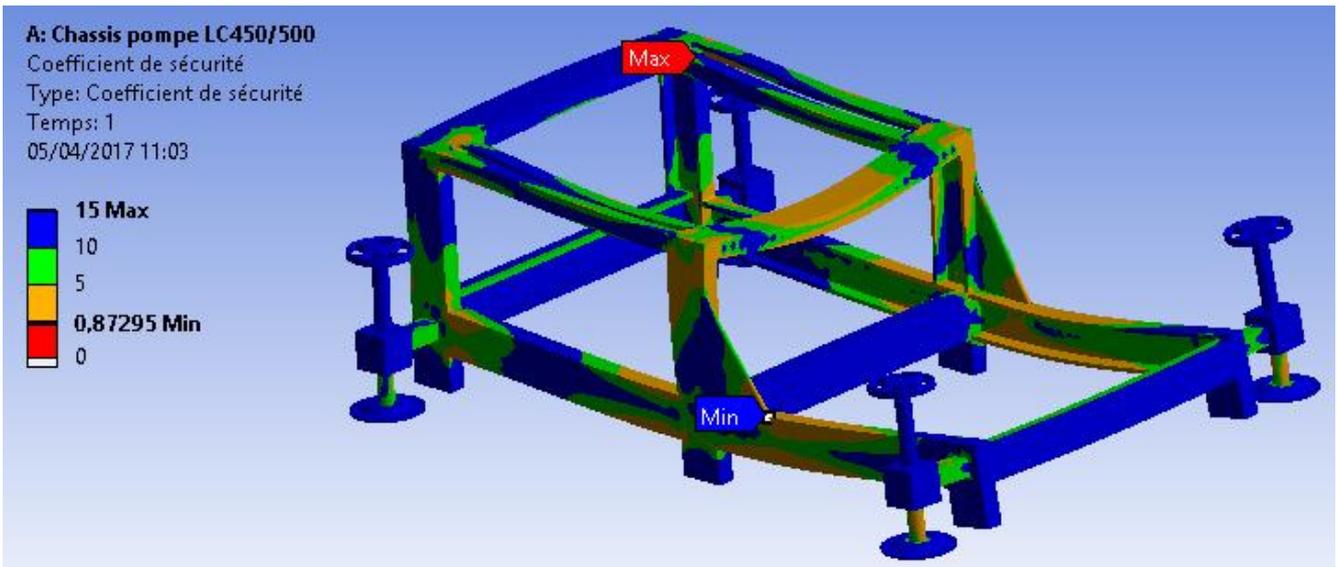


Figure AIII.4 : Champ du coefficient de sécurité de l'acier à basse teneur en

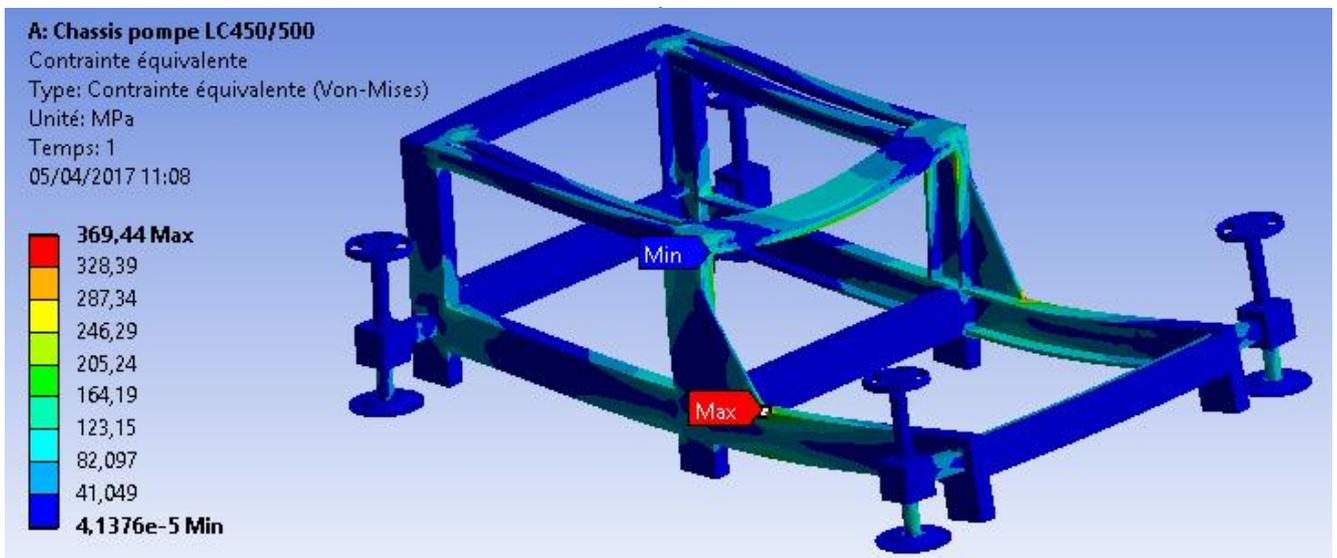


Figure AIII.5 : Champ des contraintes de l'acier à teneur moyenne en carbone

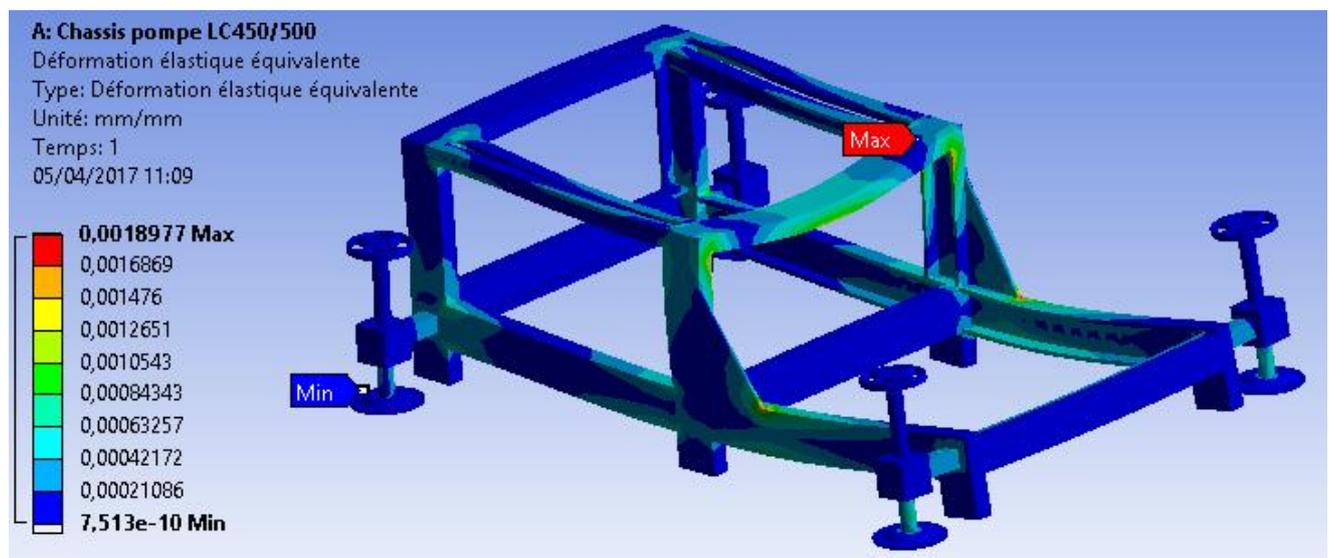


Figure AIII.6 : Champ des déformations de l'acier à teneur moyenne en carbone

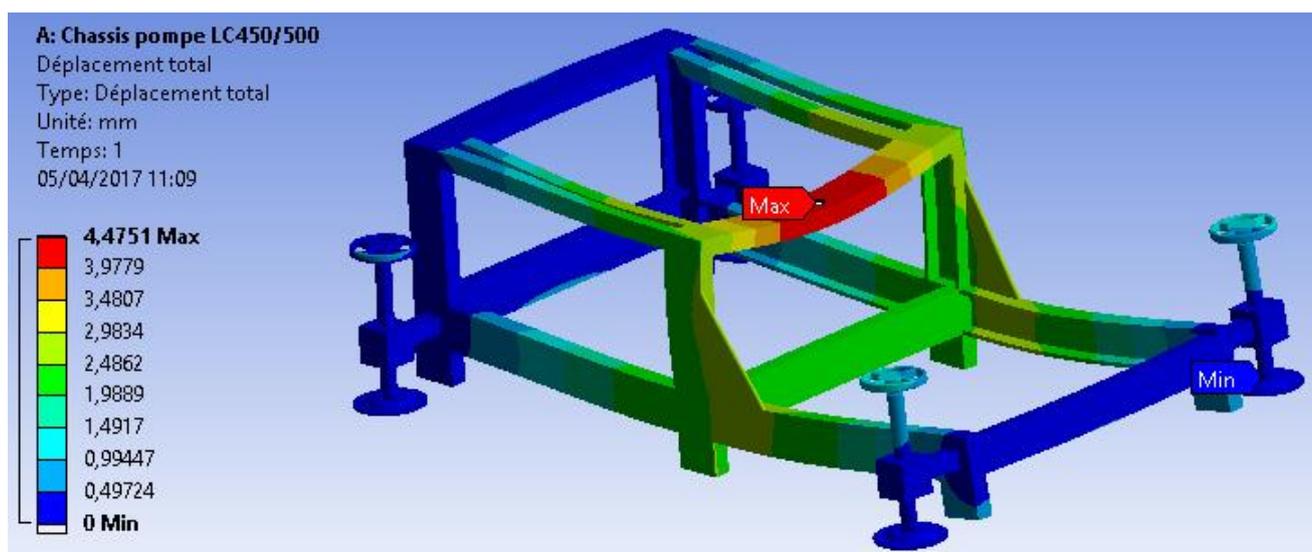


Figure AIII.7 : Champ du déplacement total de l'acier à teneur moyenne en carbone

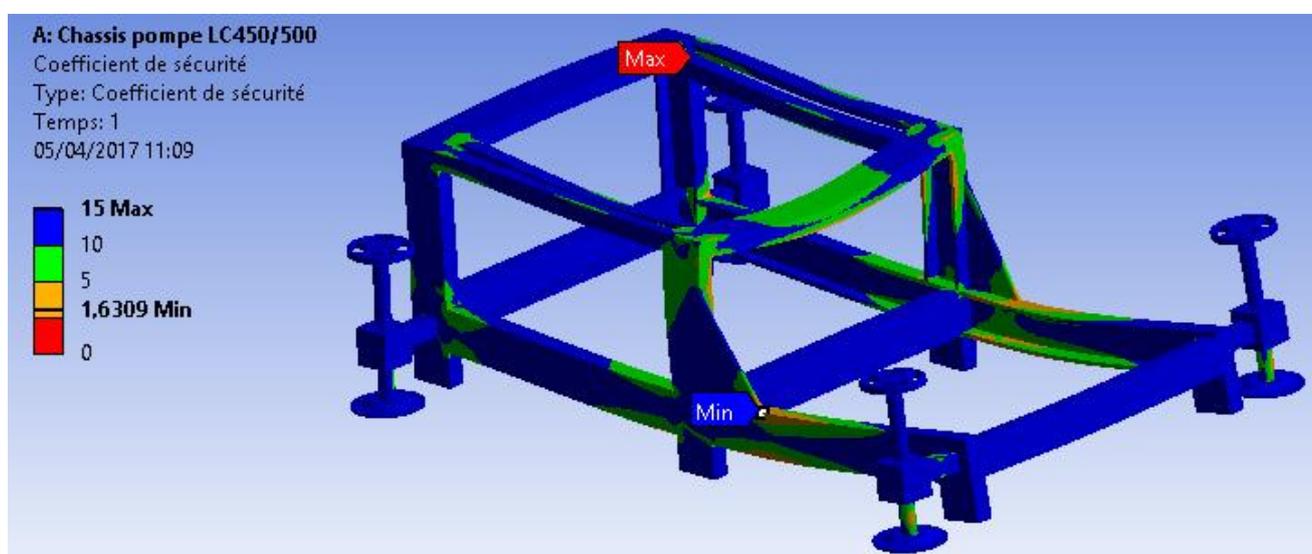


Figure AIII.8 : Champ du coefficient de sécurité de l'acier à teneur moyenne en

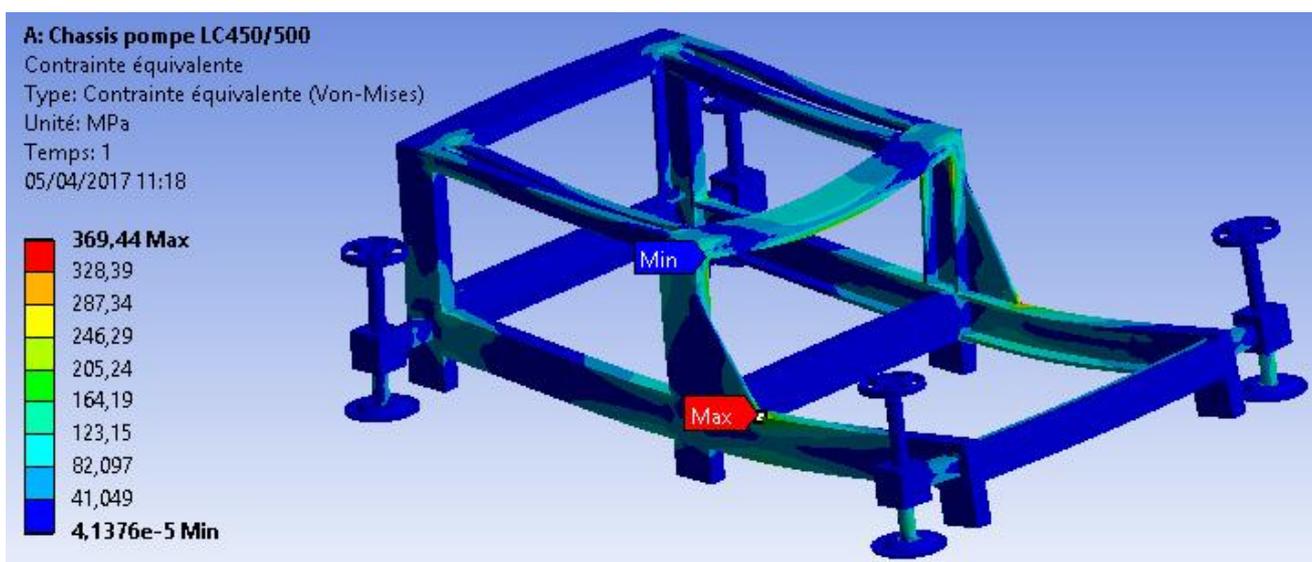


Figure AIII.9 : Champ des contraintes de l'acier à haute teneur en carbone

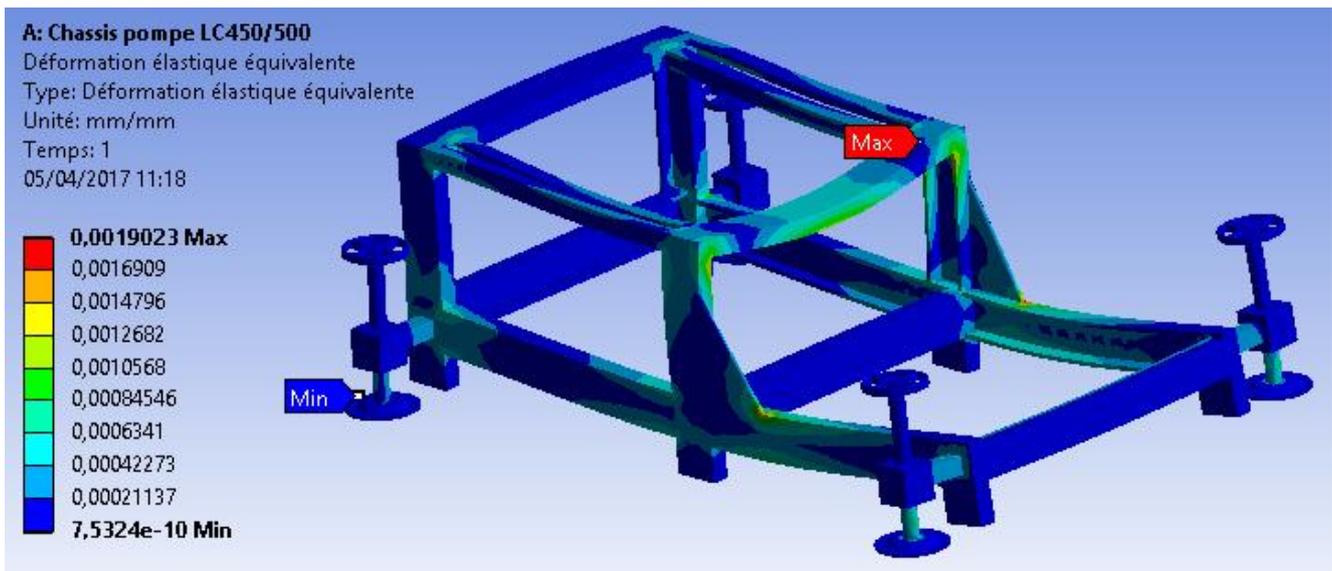


Figure AIII.10 : Champ des déformations de l'acier à haute teneur en carbone

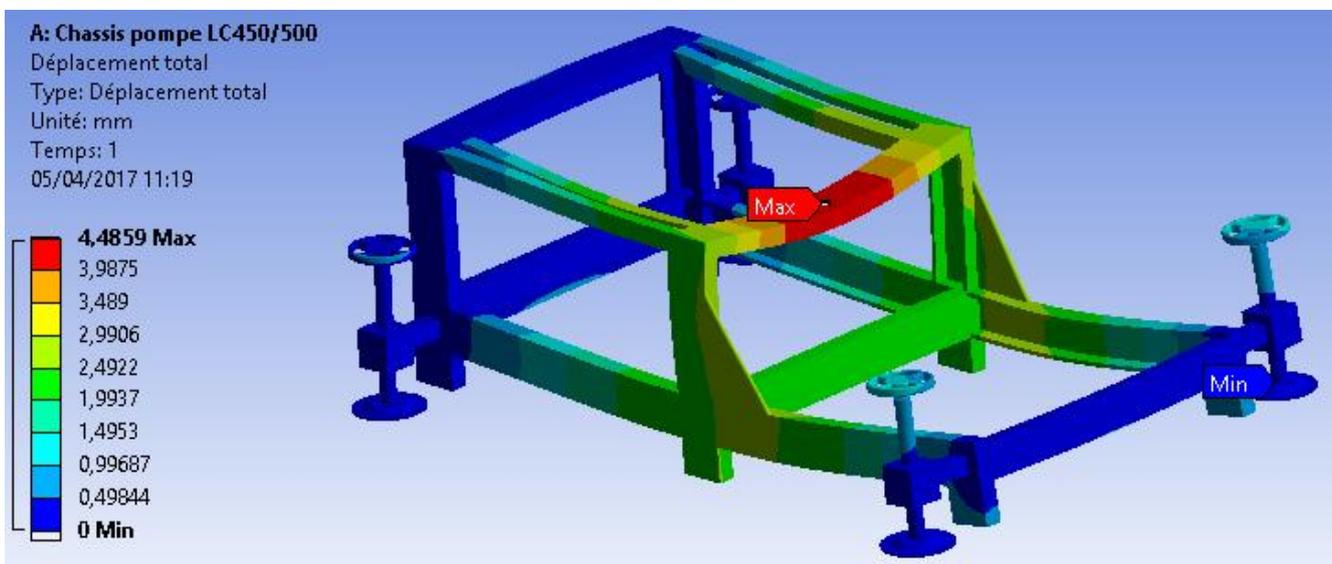


Figure AIII.11 : Champ du déplacement total de l'acier à haute teneur en carbone

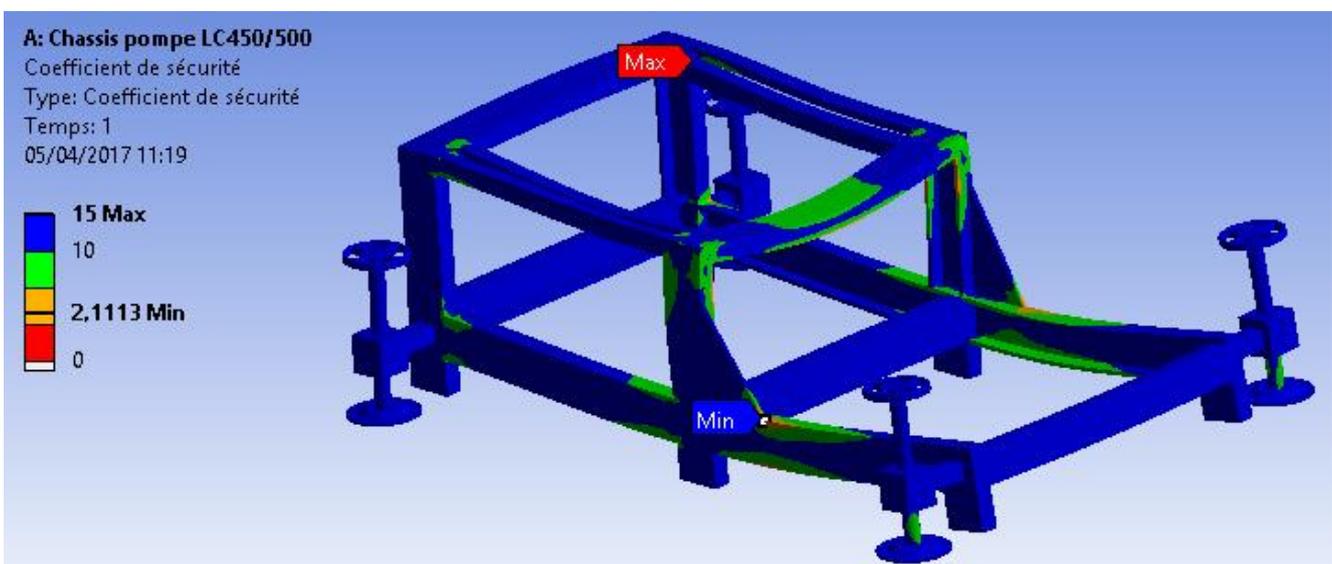


Figure AIII.12 : Champ du coefficient de sécurité de l'acier à haute teneur en carbone

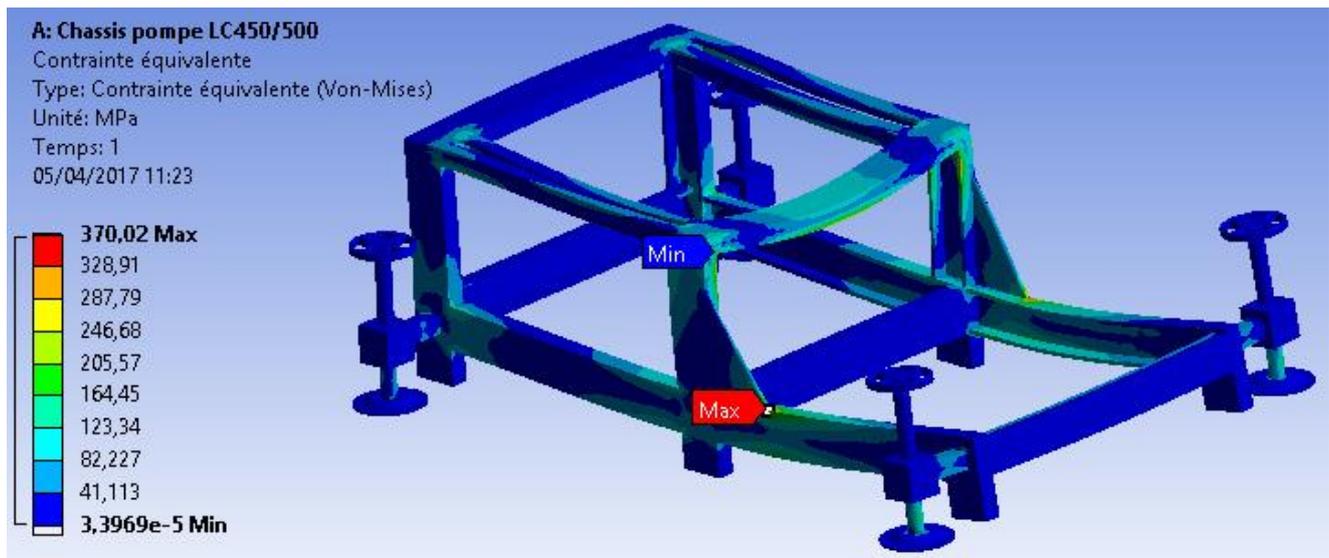


Figure AIII.13 : Champ des contraintes de la fonte de fer ductile

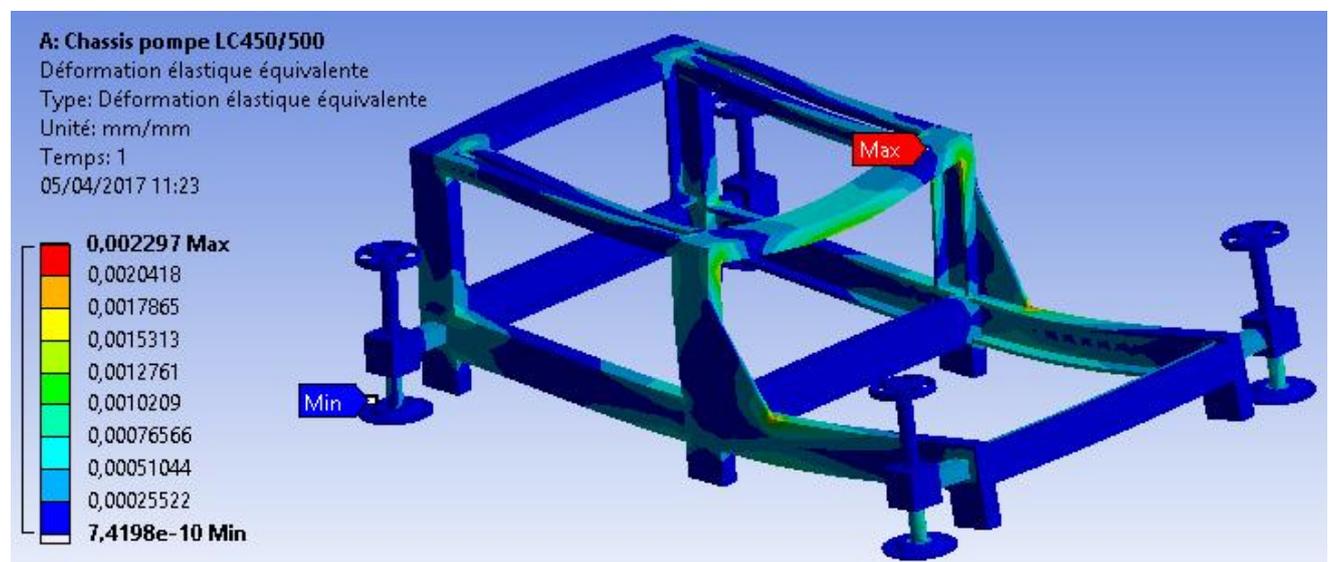


Figure AIII.14 : Champ des déformations de la fonte de fer ductile

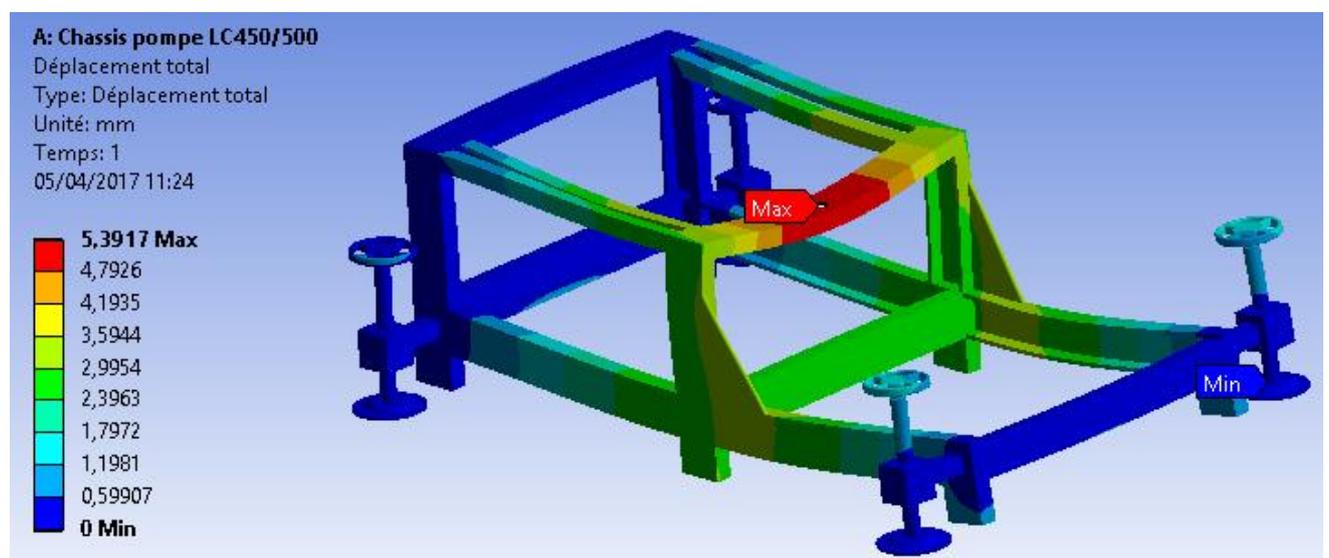


Figure AIII.15 : Champ du déplacement total de la fonte de fer ductile

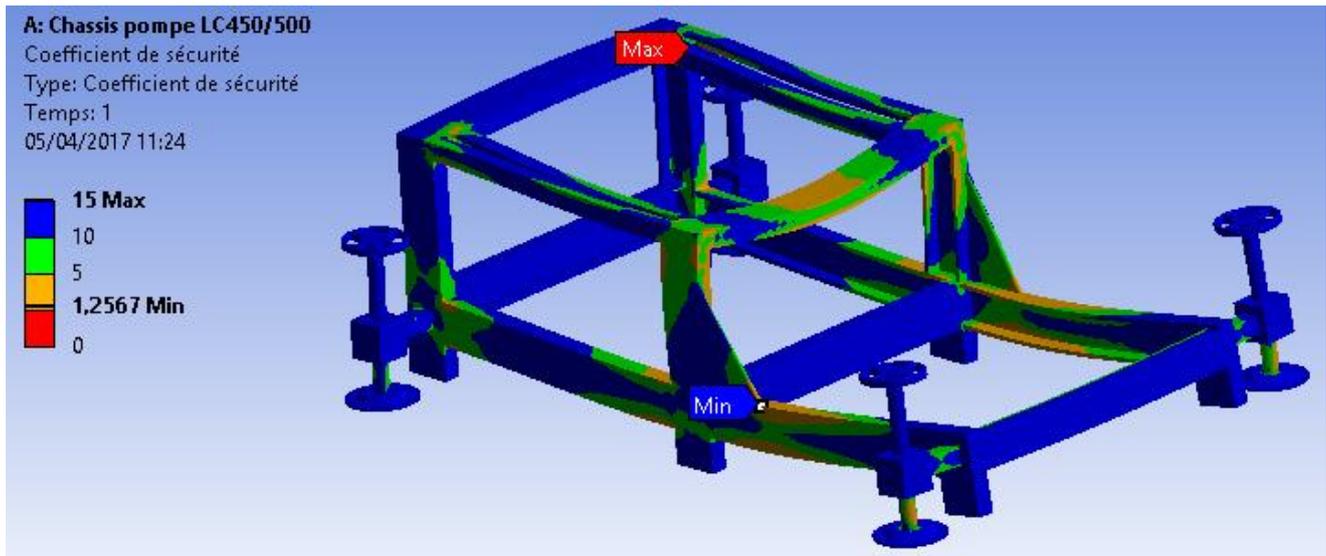
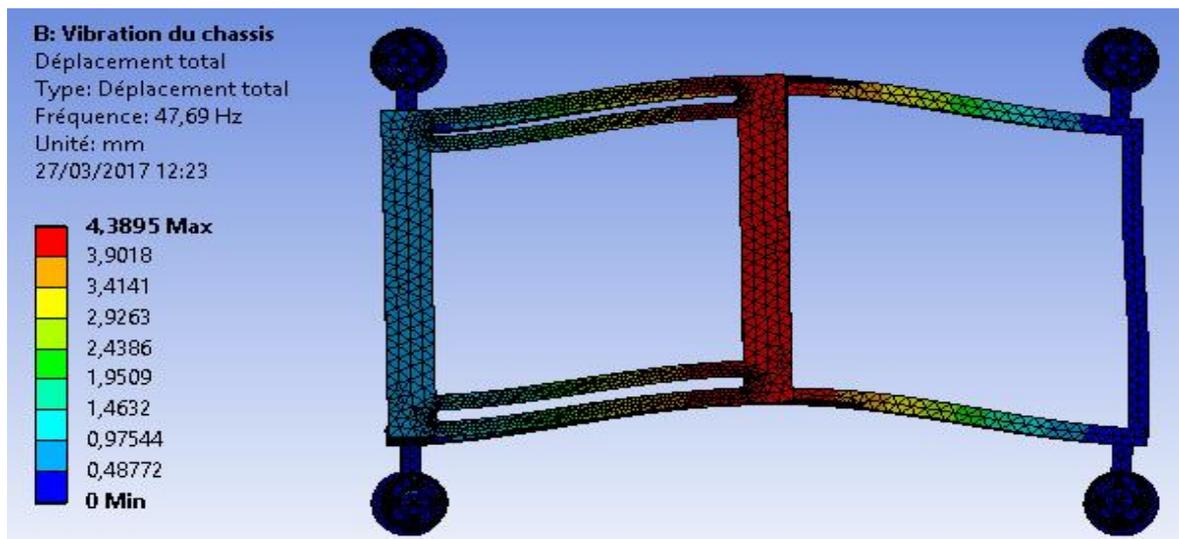
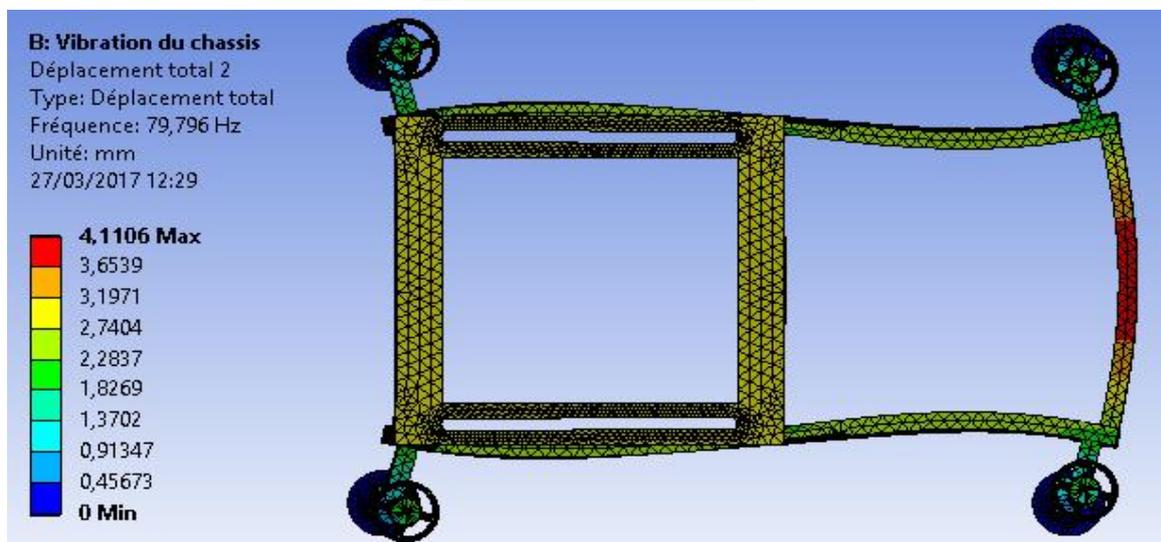
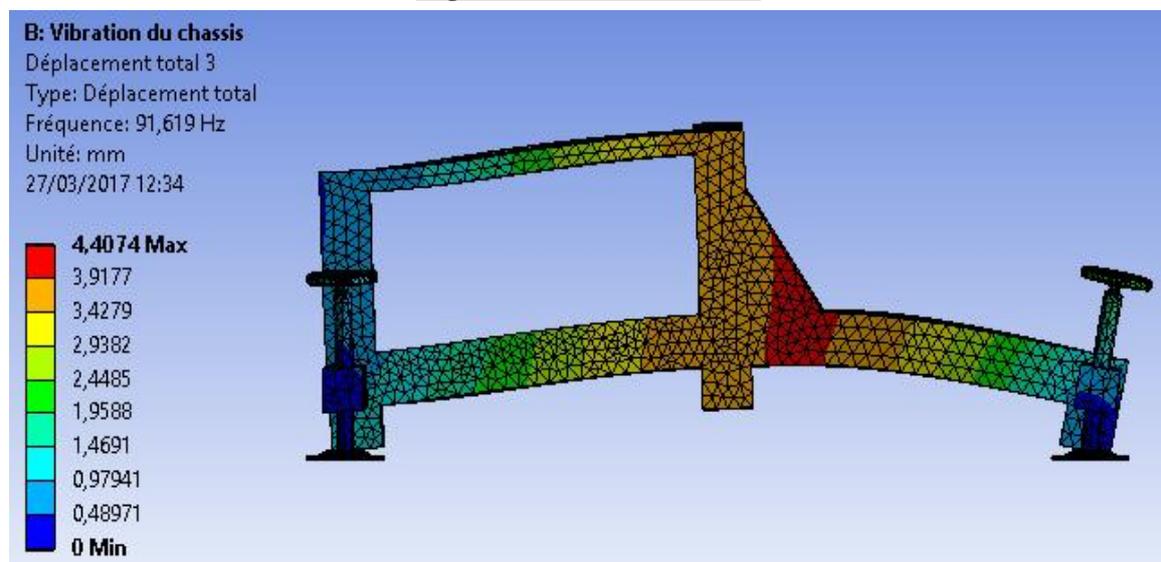


Figure AIII.16 : Champ du coefficient de sécurité de la fonte de fer ductile

ANNEXE IV : SIMULATION NUMÉRIQUES ET DYNAMIQUE DU CHÂSSIS**Figure AIV.1 : 1^{ère} Mode****Figure AIV.2 : 2^{ème} Mode****Figure AIV.3 : 3^{ème} Mode**

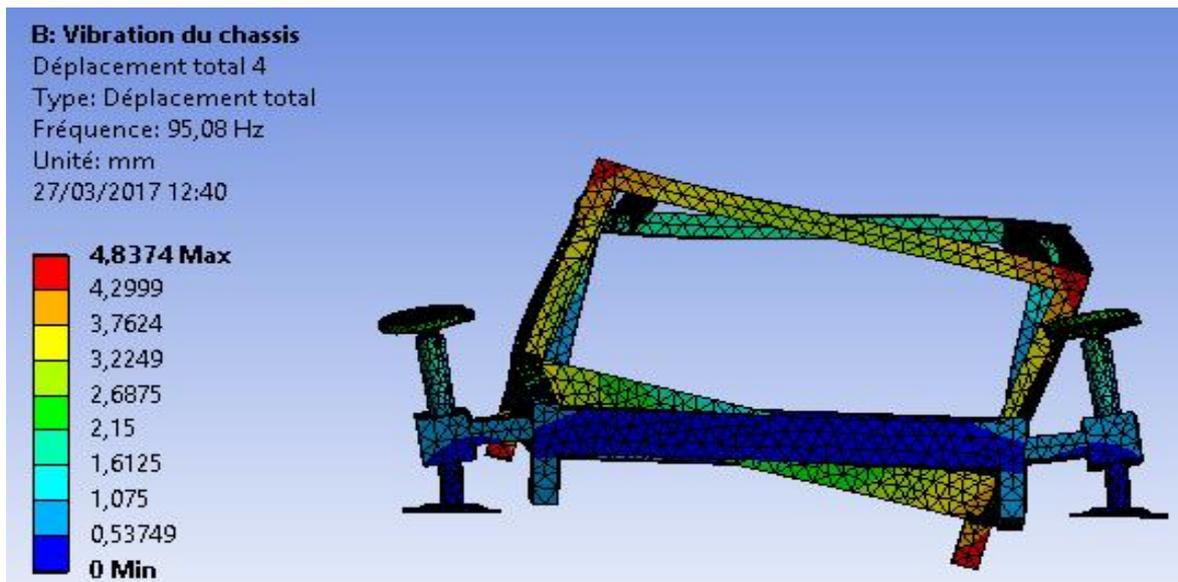


Figure AIV.4 : 4^{ème} Mode

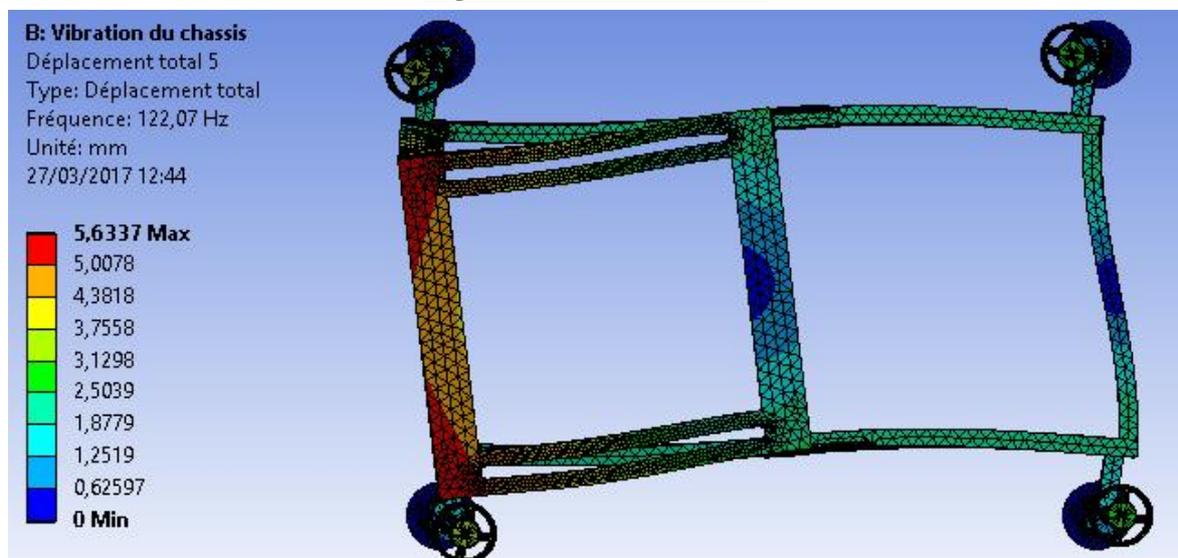


Figure AIV.5 : 5^{ème} Mode

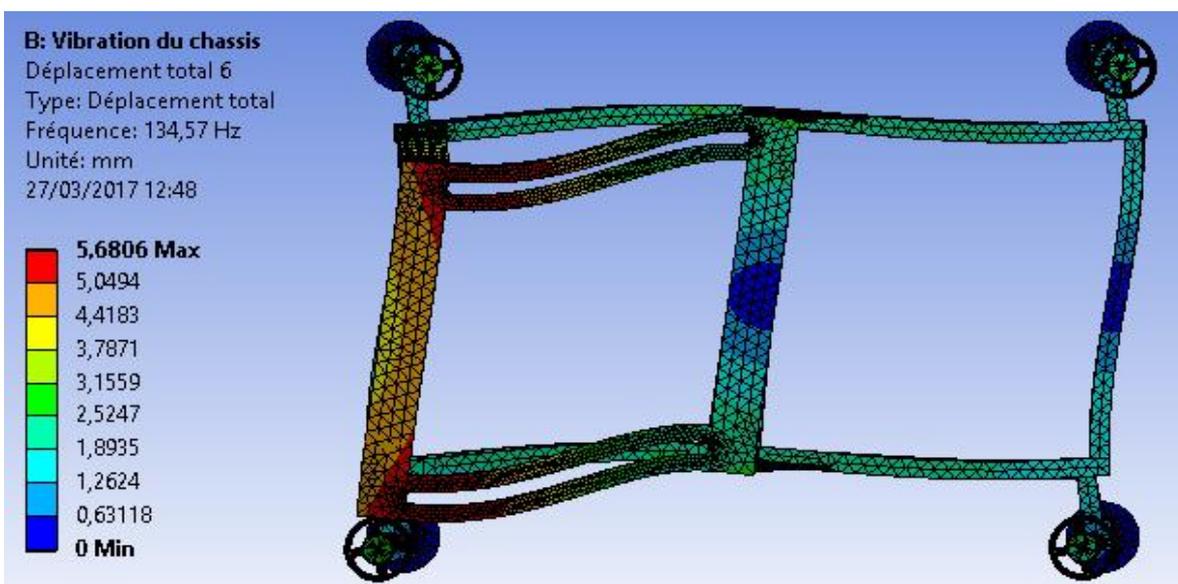


Figure AIV.6 : 6^{ème} Mode

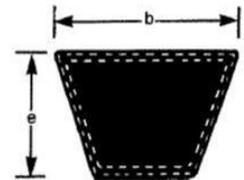
ANNEXE V : DIMENSIONNEMENT DU POULIES-COURROIE

Tableau AV.1 : Facteur de service K_s

Types de machines entraînés	Types de machines entraînant					
	— Moteur électrique à courant alternatif: couple normal, à cage d'écuréuil, synchrone et <i>split phase</i> .			— Moteur à courant continu: couple et glissement élevés, répulsion-induction, monophasé, bobinages série et à bagues.		
	— Moteur électrique à courant continu: bobinage Shunt.			— Moteur à courant continu: bobinages série et <i>compound</i> .		
	— Moteur à combustion interne multi-cylindres.			— Moteur à combustion interne à un cylindre.		
	Service intermittent (3-5 h/d)	Service normal (8-10 h/d)	Service continu (16-24 h/d)	Service intermittent (3-5 h/d)	Service normal (8-10 h/d)	Service continu (16-24 h/d)
Agitateurs pour liquides Convoyeurs (service léger) Pompes et compresseurs centrifuges Soufflerie Ventilateurs (≤ 10 hp)	1,0	1,1	1,2	1,1	1,2	1,3
Arbres de transmission Convoyeurs à courroies (sable, grains, minéral, etc.) Cribles oscillants et à pivot Génératrices Machines de blanchisserie Machines d'imprimerie Machines-outils Pétrisseuses Poinçonneuses, perceuses, cisailles Pompes rotatives à déplacement positif Réducteurs de vitesse Ventilateurs (> 10 hp)	1,1	1,2	1,3	1,2	1,3	1,4
Compresseurs à pistons Convoyeurs à pales, à tabliers et à vis Élévateurs à godets Excitatrices Machines de briqueterie Machinerie pour le bois (raboteuses, scies, etc.) Machinerie pour l'industrie textile Pompes à pistons Pulvérisseuses Souffleries à déplacement positif	1,2	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6
Broyeurs à barres, à boulets et à cylindres Concasseurs à cônes giratoires et à mâchoires Grues Machinerie pour l'industrie du caoutchouc (calandres, mélangeurs, extrusion, etc.)	1,3	1,4	1,5	1,5	1,6	1,8

Tableau AV.2 : Dimensions des courroies trapézoïdales classiques et SI classiques

Désignation		Largeur b (po et mm)	Épaisseur e (po et mm)	Puissance transmise par courroie (hp et kW)	Diamètres normalisés des poulies (po et mm)	
					minimal	incrément
Système impérial	A	0,50	0,31	0,2 à 5	2,6	0,2
	B	0,66	0,41	0,7 à 10	4,6	0,2
	C	0,88	0,53	1 à 21	7,0	0,5
	D	1,25	0,75	2 à 50	12,0	0,5
	E	1,50	0,91	4 à 80	18,0	1,0
SI	13C	13	8	0,1 à 3,6	65	5
	16C	16	10	0,5 à 7,2	115	5
	22C	22	13	0,7 à 15,0	180	10
	32C	32	19	1,3 à 39,0	300	20

**Tableau AV.3 : Longueur primitive L_p et facteur de correction K_2 , pour les courroies SI classiques**

13C		16C		22C		32C	
L_p	K_2	L_p	K_2	L_p	K_2	L_p	K_2
710	0,83	960	0,81	1400	0,83	3 190	0,89
750	0,84	1040	0,83	1500	0,85	3 390	0,90
800	0,86	1090	0,84	1630	0,86	3 800	0,92
850	0,88	1120	0,85	1830	0,89	4 160	0,94
900	0,89	1190	0,86	1900	0,90	4 250	0,94
950	0,90	1250	0,87	2000	0,91	4 540	0,95
1000	0,92	1320	0,88	2160	0,92	4 720	0,96
1075	0,93	1400	0,90	2260	0,93	5 100	0,98
1120	0,94	1500	0,91	2390	0,94	5 480	0,99
1150	0,95	1600	0,92	2540	0,96	5 800	1,00
1230	0,97	1700	0,94	2650	0,96	6 180	1,01
1300	0,98	1800	0,95	2800	0,98	6 560	1,02
1400	1,00	1900	0,96	3030	0,99	6 940	1,03
1500	1,02	1980	0,97	3150	1,00	7 330	1,04
1585	1,03	2110	0,99	3350	1,01	8 090	1,06
1710	1,05	2240	1,00	3550	1,02	8 470	1,07
1790	1,06	2360	1,01	3760	1,04	8 850	1,08
1865	1,07	2500	1,02	4120	1,06	9 240	1,09
1965	1,08	2620	1,03	4220	1,06	10 000	1,10
2120	1,10	2820	1,05	4500	1,07	10 760	1,11
2220	1,11	2920	1,06	4680	1,08	11 530	1,13
2350	1,13	3130	1,07	5060	1,10	12 290	1,14
2500	1,14	3330	1,09	5440	1,11		
2600	1,15	3530	1,10	5770	1,13		
2730	1,17	3740	1,11	6150	1,14		
2910	1,18	4090	1,13	6540	1,15		
3110	1,20	4200	1,14	6920	1,16		
3310	1,21	4480	1,15	7300	1,17		
		4650	1,16	7680	1,18		
		5040	1,18	8060	1,19		
		5300	1,19	8400	1,20		
		5760	1,21	8820	1,21		
		6140	1,23	9200	1,22		
		6520	1,24				
		6910	1,25				
		7290	1,26				
		7670	1,27				

Tableau AV.4 : Constantes utilisées pour calculer la puissance brute des courroies Pr

Désignation	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄
A	0,8542	1,342	2,436(10) ⁻⁴	0,1703
B	1,506	3,520	4,193(10) ⁻⁴	0,2931
C	2,786	9,788	7,460(10) ⁻⁴	0,5214
D	5,922	34,72	1,522(10) ⁻³	1,064
E	8,642	66,32	2,192(10) ⁻³	1,532
13C	3,316(10) ⁻²	1,088	1,161(10) ⁻⁸	5,238(10) ⁻³
16C	5,185(10) ⁻²	2,273	1,759(10) ⁻⁸	7,934(10) ⁻³
22C	1,002(10) ⁻¹	7,040	3,326(10) ⁻⁸	1,500(10) ⁻²
32C	2,205(10) ¹	26,62	7,037(10) ⁻⁸	3,174(10) ⁻²

Tableau AV.5 : Facteurs appliqués de correction K_A

n ₁ /n ₂	K _A
1,00 à 1,01	1,0000
1,02 à 1,04	1,0112
1,05 à 1,07	1,0226
1,08 à 1,10	1,0344
1,11 à 1,14	1,0463
1,15 à 1,20	1,0586
1,21 à 1,27	1,0711
1,28 à 1,39	1,0840
1,40 à 1,64	1,0972
≥ 1,65	1,1106

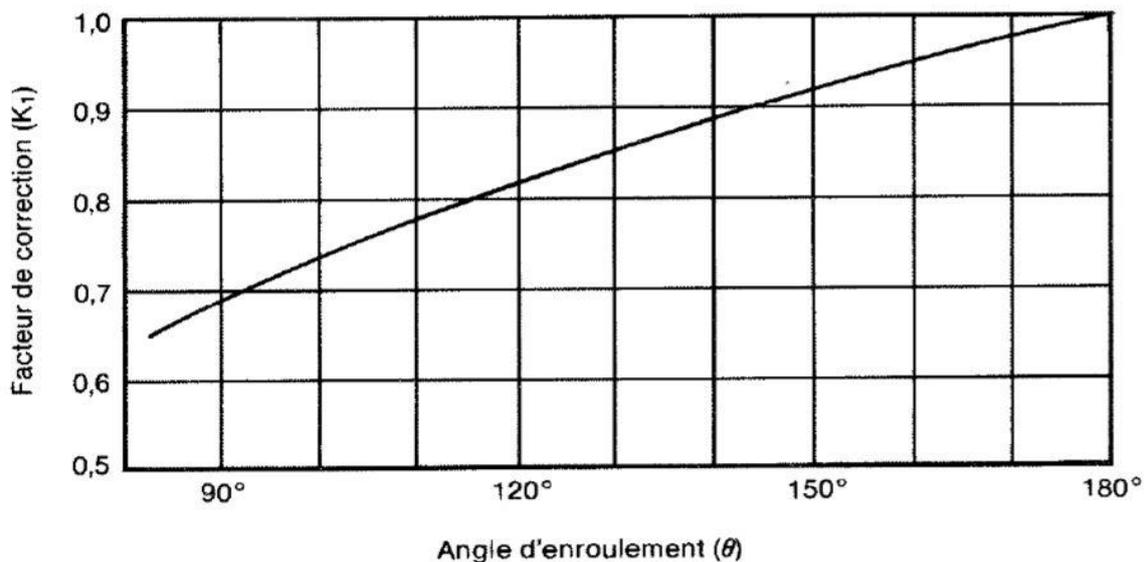
**Figure AV.1** : Facteur K₁ appliqué à l'angle d'enroulement

Tableau AV.6 : Les prix des courroies trapézoïdales

La longueur primitive en mm	Référence	Prix	Masse en Kg
1775	B70	HT : 14,80 € ; TTC : 17,76 €	0,36
1800	B71	HT : 15,00 € ; TTC : 18,00 €	0,36
1829	B72	HT : 15,30 € ; TTC : 18,36 €	0,37
1850	B73	HT : 15,40 € ; TTC : 18,48 €	0,37
1880	B74	HT : 15,70 € ; TTC : 18,84 €	0,38
2000	B79	HT : 16,70 € ; TTC : 20,04 €	0,38
2032	B80	HT : 19,10 € ; TTC : 22,92 €	0,38
2060	B81	HT : 17,20 € ; TTC : 20,64 €	0,39
2083	B82	HT : 19,10 € ; TTC : 22,92 €	0,40
2108	B83	HT : 17,60 € ; TTC : 21,12 €	0,40
2134	B84	HT : 17,80 € ; TTC : 21,36 €	0,40
2160	B85	HT : 18,00 € ; TTC : 21,60 €	0,41
2187	B86	HT : 18,20 € ; TTC : 21,84 €	0,42
2215	B87	HT : 18,50 € ; TTC : 22,20 €	0,42
2240	B88	HT : 18,70 € ; TTC : 22,44 €	0,43
2261	B89	HT : 18,80 € ; TTC : 22,56 €	0,43
2286	B90	HT : 19,00 € ; TTC : 22,80 €	0,43
2312	B91	HT : 19,30 € ; TTC : 23,16 €	0,44
2337	B92	HT : 19,50 € ; TTC : 23,40 €	0,44
2360	B93	HT : 19,70 € ; TTC : 23,64 €	0,45
2388	B94	HT : 19,90 € ; TTC : 23,88 €	0,45
2413	B95	HT : 20,10 € ; TTC : 24,12 €	0,46
2438	B96	HT : 20,30 € ; TTC : 24,36 €	0,46
2465	B97	HT : 20,50 € ; TTC : 24,60 €	0,47
2477	B97-1/2	HT : 20,60 € ; TTC : 24,72 €	0,47
2500	B98	HT : 20,80 € ; TTC : 24,96 €	0,47
2515	B99	HT : 20,90 € ; TTC : 25,08 €	0,48
2540	B100	HT : 21,10 € ; TTC : 25,32 €	0,48

ANNEXE VI : MODES OPERATOIRES DES POMPES REVISEES

 GAMME DE DEMONTAGE DE LA POMPE LC 65/310						
ETAT DE MAINTENANCE RECOMMANDE			COMPETENCES		TEMPS MO (Mn)	Outillage X
N° phase	Désignation des phases	Durée (Mn)	Mécanique	Chaudronnerie		
1	DEMONTAGE DE LA VOLUTE	10	2		20	
1.1	Placer l'anneau de levage dans le trou taraudé prévu à cet effet					M10
1.2	Soutenir la volute en élinguant à partir de l'anneau					Elingue
1.3	Dévisser les écrous qui fixent la volute sur la chaise					Clé 24
1.4	Dégager l'escargot vers l'avant pour accéder à la turbine					Palan
2	DEMONTAGE DE LA TURBINE	5	2		10	
2.1	Desserrer et dévisser légèrement la vis de blocage de la roue					Clé six pans 10
2.2	Décoller la roue de son cône moyennant deux cônes placés entre le fond et l'arrière de la roue					Chasse turbine
2.3	Dévisser complètement la vis de blocage					Clé six pans 10
2.4	Déposer l'ogive et la roue					Manuellement
3	DEMONTAGE DU FOND AVEC GARNITURE MECANIQUE	15	2		30	

3.1	Dévisser les écrous qui fixent le fond sur la chaise					Clé mixte
3.2	Démonter le fond avec garniture mécanique de la chaise.					Vérin
3.3	Déposer le fond équipé de garniture mécanique					Palan
3.4	Démonter la garniture du fond					Clé 19
4	DEMONTAGE DU BOITARD	65	2		130	
4.1	Démonter les vis de fixation du boitard					Clé 22 mixte
4.2	Démonter les vis de réglage					Clé 22 mixte
4.4	Retirer l'ensemble boitard du support palier					Palan
4.5	Déposer le déflecteur					Manuellement
4.6	Démonter le flasque côté fond					Manuellement
4.7	Démonter le flasque côté boitard					Manuellement
4.8	Retirer l'arbre équipé des roulements					Palan
4.9	Relever la languette de la rondelle frein					Marteau, Chasse goupille
4.10	Débloquer et dévisser l'écrou à encoches					Clé à ergot
4.11	Oter la rondelle frein					Manuellement
4.12	Déposer les deux roulements à billes à contact oblique					Manuellement
4.13	Vérifier la présence de la rondelle intercalaire entre les deux roulements					Visuellement

4.14	Extraire la bague extérieure du roulement à rouleaux cylindriques du boîtier					Jet +Marteau
TOTAUX		95	2	0	190	

Gamme d'Expertise de la pompe LC 65/310	
N° phase	Désignation des phases
1	NETTOYAGE DE L'ENSEMBLE DES PIÈCES CONSTITUANT LA POMPE
1.1	Nettoyer soigneusement toutes les surfaces
1.2	Mettre les pièces nettoyées de côté pour l'inspection et la réutilisation.
2	CHANGER TOUS LES ROULEMENTS ET LES JOINTS D'ÉTANCHEITÉ
3	CONTROLE VISUEL DE TOUS LES COMPOSANTS DE LA POMPE
4	CHANGER LES PIÈCES OU SE PRÉSENTENT DES FISSURES OU DES USURES
5	CONTROLE DE L'ARBRE

1.9	Prendre l'arbre équipé de ses roulements et introduire le tout dans le boitard					Manuellement
1.10	Monter le roulement (cage extérieure et rouleaux) dans le boitard					Manuellement
1.11	Garnir les roulements de la graisse					Manuellement
1.12	Monter et fixer le flasque côté fond					clé 6 pans 6
1.13	Monter et fixer le flasque côté boitard					clé mixte 17
1.14	Glisser sur l'arbre le déflecteur					Manuellement
1.15	Placer la clavette, graisser l'arbre					Manuellement
1.16	Présenter le boitard complet sur, le support-palier					Pont roulant
1.17	Monter les vis de fixation du boitard et serrer légèrement					Clé 22 mixte
1.18	Monter les vis de réglage					Clé 22 mixte
2	PREMONTAGE DU FOND ET DE LA TURBINE	20	2		40	
2.1	Montage du fond sur la chaise de palier					Clé 22 mixte
2.2	Montage de la turbine sur l'arbre					Pont roulant
2.3	Visser complètement la vis de blocage de la roue					Clé six pans 10
2.4	Serrage des vis de fixation du boitard après réglage					Clé 22 mixte
3	REMONTAGE DU FOND AVEC GARNITURE MECANIQUE	10	2		20	
3.1	Montage de la garniture mécanique sur le fond					Clé 19

3.2	Monter le fond équipé de la garniture mécanique sur l'arbre et la chaise (s'assurer que la clavette soit dans le logement)					Vérin
4	REMONTAGE DE LA TURBINE	5	2		10	
4.1	Remonter la roue sur son cône avec sa clavette					Pont roulant
4.2	Introduire la vis d'ogive munie de son joint					Manuellement
4.3	Visser et bloquer					Clé six pans s10
5	REMONTAGE DE L'ESCARGOT	20	2		40	
5.1	Montage du joint de corps					Manuellement
5.2	Présenter le corps de pompe équipé des goujons					pont roulant
5.3	Engager les goujons dans les trous de la chaise					Manuellement
5.4	Monter les rondelles et serrer les écrous					Clé24
TOTAUX		80	2	1	185	

 GAMME DE DEMONTAGE DE LA POMPE ENSIVAL						
ETAT DE MAINTENANCE RECOMMANDE			COMPETENCES		TEMPS MO (Mn)	Outillage X
N° phase	Désignation des phases	Durée (Mn)	Mécanique	Chaudronnerie		
1	DEMONTAGE DE LA VOLUTE	10	2		20	
1.1	Placer l'anneau de levage dans le trou taraudé prévu à cet effet					Anneau M12
1.2	Soutenir la volute en élinguant à partir de l'anneau					Palan
1.3	Dévisser les écrous qui fixent la volute sur la chaise					Clé mixte 24
1.4	Déposer la volute					Palan
2	DEMONTAGE DE LA TURBINE	10	2		20	
2.1	Introduire la clé de démontage sur le bout d'arbre, tenir la roue fermement à la main et exercer l'effort de déblocage en frappant avec un marteau sur la clé. bien frapper dans le sens du desserrage					Clé + Marteau
3	DEMONTAGE DU FOND AVEC GARNITURE MECANIQUE	15	2		30	
3.1	Démonter le fond avec garniture mécanique du palier.					Marteau + Chasse Goupille
3.2	Déposer le fond équipé de garniture mécanique					Manuellement

3.3	Démonter la garniture du fond					clé 17 mixte
4	DEMONTAGE DU BOITARD	40	2		80	
4.1	Desserrer la vis HC qui fixe le déflecteur avec l'arbre					Clé Six pans 4
4.2	Déposer le déflecteur					Manuellement
4.3	Démonter le couvercle du palier					Clé Six pans 10
4.4	Dévisser les vis de fixation du boîtier (côté moteur)					Clé Six pans 10
4.5	Retirer l'arbre équipé des roulements et du boîtier, en utilisant les trous de ce dernier prévu pour cet effet					Palan
4.6	Retirer les roulements R1					Jet + marteau
4.7	Débloquer et dévisser l'écrou à encoches					Marteau + Chasse Goupille
4.8	Débloquer et dévisser l'écrou à encoches					Clé à ergot
4.9	Oter la rondelle frein					Manuellement
4.10	Retirer l'ensemble roulement R2 + boîtier					Presse Hydraulique
4.11	Retirer le circlips C1					Pince circlips
4.12	Retirer les roulements R2					Jet + marteau
TOTAUX		75	8	0	150	

Gamme d'Expertise de la pompe ENSIVAL	
N° phase	Désignation des phases
1	NETTOYAGE DE L'ENSEMBLE DES PIECES CONSTITUANT LA POMPE
1.1	Nettoyer soigneusement toutes les surfaces
1.2	Mettre les pièces nettoyées de côté pour l'inspection et la réutilisation
2	CHANGER TOUS LES ROULEMENTS ET LES JOINTS D'ETANCHEITE
3	CONTROLE VISUEL DE TOUS LES COMPOSANTS DE LA POMPE
4	CHANGER LES PIECES OU SE PRESENTENT DES FISSURES OU DES USURES
5	CONTROLE DE L'ARBRE
5.1	Contrôler la coaxialité
5.2	Détecter les déformations de l'arbre visuellement.

 GAMME DE REMONTAGE DE LA POMPE ENSIVAL						
ETAT DE MAINTENANCE RECOMMANDE			COMPETENCES		TEMPS MO (Mn)	Outillage X
N° phase	Désignation des phases	Durée (Mn)	Mécanique	Chaudronnerie		
1	REMONTAGE DES ROULEMENTS DU PALIER	35	2		70	
1.1	Glisser sur l'arbre les soupapes à graisses					Manuellement
1.2	Chauffer les roulements à 100° C					Appareil d'induction
1.3	Placer le circlips dans le boîtier					Manuellement
1.4	Monter le roulement R2 dans le boîtier					Manuellement
1.5	Monter la bague de calage roulement					Manuellement
1.6	Monter l'ensemble roulement + boîtier sur l'arbre					Manuellement
1.7	Monter la rondelle frein					Appareil d'induction
1.8	Visser l'écrou à encoches.					Manuellement
1.9	Bloquer et rabattre la languette					Clé à ergots
1.10	Monter le roulement R1 après l'avoir chauffée à 100°C, s'assurer qu'elle est en butée sur la soupape à graisse et que celle-ci ne peut pas tourner.					Appareil à induction

1.11	Prendre l'arbre équipé de ses roulements et introduire le tout dans le palier					Palan
1.12	Visser le boitard (côté moteur) contre le palier					Clé six pans 10
1.13	Monter et fixer le couvercle					Clé six pans 10
1.14	Glisser sur l'arbre le déflecteur, puis visser					Clé six pans 4
2	REMONTAGE DU FOND AVEC GARNITURE MECANIQUE	15	2		30	
2.1	Montage de la garniture mécanique sur le fond					Jet + marteau
2.2	Monter le fond équipé de la garniture sur l'arbre					Marteau + Chasse Goupille
3	REMONTAGE DE LA TURBINE	10	2		20	
3.1	Introduire la clé de montage sur le bout d'arbre, tenir la roue fermement à la main et exercer l'effort de blocage en frappant avec un marteau sur la clé					Clé de montage + Marteau
4	REMONTAGE DE LA VOLUTE	20	2		40	
4.1	Monter le joint					Manuellement
4.2	Monter le fond équipé de la garniture mécanique sur l'arbre					Marteau + Chasse Goupille
TOTAUX		80	8		160	

 GAMME DE DEMONTAGE DE LA POMPE SULZER						
ETAT DE MAINTENANCE RECOMMANDE			COMPETENCES		TEMPS MO (Mn)	Outillage X
N° phase	Désignation des phases	Durée (Mn)	Mécanique	Chaudronnerie		
1	DEMONTAGE DE LA VOLUTE	15	2		30	
1.1	Desserrer les vis de fixation de l'escargot					Clé 30
1.2	Séparer l'escargot du Corps à l'aide de la vis d'extraction					Clé 30 + Palan
2	DEMONTAGE DE LA TURBINE	20	2		40	
2.1	Desserrer et dévisser légèrement la vis de blocage de la turbine					Clé six M22
2.2	Séparer la turbine de l'arbre Fileté					Clé à chaîne
3	DEMONTAGE DU FOND ET LES PIECES ASSOCIEES	25	2		50	
3.1	Dévisser les vis qui fixent le fond sur la lanterne					Clé 24
3.2	Démonter le fond					Palan
3.3	Démonter la contre –turbine					Pince à talon
3.4	Démonter le couvercle de corps					Manuellement
3.5	Démonter la bague-appuie					Clé six pans M10
4	DEMONTAGE DU BOITARD	20	2		40	
4.1	Démonter le flasque					Clé

4.2	Retirer l'arbre du boitard					Anneau 24 + Plan
4.3	Déshabiller l'arbre des roulements à rouleaux coniques et des roulements à contact obliques					Presse
TOTAUX		80	8	0	0	

Gamme d'Expertise de la pompe SULZER	
N° phase	Désignation des phases
1	NETTOYAGE DE L'ENSEMBLE DES PIÈCES CONSTITUANT LA POMPE
1.1	Nettoyer soigneusement toutes les surfaces
1.2	Mettre les pièces nettoyées de côté pour l'inspection et la réutilisation
2	CHANGER TOUS LES ROULEMENTS ET LES JOINTS D'ÉTANCHEITE
3	CONTROLE VISUEL DE TOUS LES COMPOSANTS DE LA POMPE
4	CHANGER LES PIÈCES OU SE PRÉSENTENT DES FISSURES OU DES USURES
5	CONTROLE DE L'ARBRE
5.1	Contrôler la coaxialité
5.2	Détecter les déformations de l'arbre visuellement.
6	CONTROLLER DES PORTÉES ROULEMENTS, CHEMISE ET ACCOUPLEMENT A L'AIDE D'UN MICROMÈTRE
7	CONTROLLER DE LA PARTIE INTÉRIEURE DU BOITARD POUR VÉRIFIER L'AJUSTEMENT A L'AIDE D'UN MICROMÈTRE

 GAMME DE REMONTAGE DE LA POMPE SULZER						
ETAT DE MAINTENANCE RECOMMANDE			COMPETENCES		TEMPS MO (Mn)	Outillage X
N° phase	Désignation des phases	Durée (Mn)	Mécanique	Chaudronnerie		
1	REMONTAGE DU BOITARD	10	2		20	
1.1	Habillage de l'arbre avec les roulements					Appareil à induction
1.2	Remonter le flasque					Clé 24
1.3	Associer l'arbre au boitard					Manuellement
2	REMONTAGE DU FOND ET LES PIECES ASSOCIEES	15	2		30	
2.1	Remonter la bague appuie					Clé six pans M10
2.2	Remonter le couvercle de corps					Manuellement
2.3	Remonter la contre turbine					Manuellement
2.4	Remonter le fond					Manuellement
2.5	Serrer les vis pour fixer la lanterne sur le fond					Clé 24
3	DEMONTAGE DU FOND ET LES PIECES ASSOCIEES	10	2		20	
3.1	Remettre la turbine sur l'arbre fileté					Clé 24
3.2	Serrer la vis de blocage de la turbine					Clé six pans M22
4	REMONTAGE DE LA VOLUTE	15	2		30	
4.1	Remonter l'escargot sur le corps					Manuellement

4.2	Serrer les vis de fixation de l'escargot					Clé 30
TOTAUX		50	8	0	100	

 GAMME DE DEMONTAGE DE LA POMPE PUISARD						
ETAT DE MAINTENANCE RECOMMANDE			COMPETENCES		TEMPS MO (Mn)	Outillage X
N° phase	Désignation des phases	Durée (Mn)	Mécanique	Chaudronnerie		
1	DEMONTAGE DE L'ESCARGOT	15	2		30	
1.1	Desserrer les vis de fixation de l'escargot					Clé 32
1.2	Dégager l'escargot vers l'avant pour accéder à la turbine					Palan
2	DEMONTAGE DE LA TURBINE	20	2		40	
2.1	Desserrer et dévisser légèrement la vis de blocage de la turbine					Clé 24
2.2	Décoller la roue de son cône moyennant deux cônes placés entre le fond et l'arrière de la roue					Chasse turbine
2.3	Dévisser complètement la vis de blocage					Clé 24
2.4	Séparer la turbine de l'arbre					Clé à chaîne
3	DEMONTAGE DU FOND	25	2		50	
3.1	Dévisser les vis de fixation du fond					Clé 27
3.2	Démonter le fond					Palan
3.3	Démonter le couvercle de corps					Manuellement
4	DESSERRAGE ET DEMONTAGE DU TUYAU DE SUSPENSION	20	2		40	

5	DEMONTAGE DU BOITIER DES ROULEMENTS	60	2		120	
5.1	Démonter les vis de fixation du boitard					Clé 32 mixte
5.2	Démonter les vis de réglage					Clé 30 mixte
5.3	Démonter le flasque					Manuellement
5.4	Retirer l'arbre équipé des roulements					Palan
5.5	Retirer les roulements					Jet + Marteau
	TOTAUX	140	10	0	280	

Gamme d'Expertise de la pompe PUISARD	
N° phase	Désignation des phases
1	Nettoyage de l'ensemble des pièces constituant la pompe
1.1	Nettoyer soigneusement toutes les surfaces
1.2	Mettre les pièces nettoyées de côté pour l'inspection et la réutilisation
2	Changer tous les roulements et les joints d'étanchéité (Arrêt d'huile, V-ring, Joint torique)
3	Contrôle visuel de tous les composants de la pompe
4	Changer les pièces où se présentent des fissures ou des usures
5	Contrôle de l'arbre
5.1	Contrôler la coaxialité
5.2	Détecter les déformations de l'arbre visuellement
6	Contrôler des portées roulements
7	Contrôle du fond, la turbine et l'escargot
7.1	Contrôler l'état de surface du fond
7.2	Contrôler la partie conique de la turbine
7.3	Contrôler l'état de surface et la fissuration de l'escargot

 GAMME DE REMONTAGE DE LA POMPE PUISARD						
ETAT DE MAINTENANCE RECOMMANDE			COMPETENCES		TEMPS MO (Mn)	Outillage X
N° phase	Désignation des phases	Durée (Mn)	Mécanique	Chaudronnerie		
1	REMONTAGE DU BOITIER DES ROULEMENTS	35	2		70	
1.1	Glisser sur l'arbre les soupapes à graisses					Manuellement
1.2	Chauffer les roulements à 100°					Appareil d'induction
1.3	Monter les roulements dans le boitier					Manuellement
1.4	Monter la bague de calage roulement					Manuellement
1.5	Monter l'ensemble roulement + boitier sur l'arbre					Manuellement
1.7	Glisser sur l'arbre le déflecteur					Manuellement
1.8	Monter et fixer le couvercle					Clé six pans 10
1.9	Monter les vis de fixation du boitard et serrer légèrement					Clé 32 mixte
2	REMONTAGE DU TUYAU DE SUSPENSION	25	1		25	
3	PRE MONTAGE DU FOND ET DE LA TURBINE	30	2		60	
3.1	Montage de la turbine sur l'arbre					Pont roulant

3.2	Visser complètement la vis de blocage de la roue					Clé 24 pipe
3.3	Serrage des vis de fixation du boitard après réglage					Clé 32 mixte
4	REMONTAGE DU FOND	15	2		30	
2.1	Montage du joint torique sur le fond					Jet + marteau
2.2	Monter le fond équipé du joint sur l'arbre					Marteau + Chasse Goupille
5	REMONTAGE DE LA TURBINE	10	2		20	
5.1	Remonter la roue sur son cône avec sa clavette					Pont roulant
5.2	Introduire la vis d'ogive munie de son joint					Manuellement
5.3	Visser et bloquer					Clé 24 pipe
6	REMONTAGE DE L'ESCARGOT	20	2		40	
6.1	Montage du joint de corps					Manuellement
6.2	Serrer les vis de fixation de l'escargot					Clé 32
TOTAUX		135	11	0	245	

ANNEXE VII : RECUEIL DES OUTILLAGES**Tableau VII.1 : Quelques photos d'outillages spécifiques**

Outillages	Photos
Clé plate	
Clé à chaîne	
Clé à six pans	
Clé pipe	
Clé mixte	
Clé à ergot	
Chasse goupille	
Tige filetée	
Anneau de levage	
Marteau	
Élingue	

Arrache moilleu	
Marteau – Goupille	
Chalumeau« application à induction »	
Pont roulant	
Palan	

Presse hydraulique	
Girafe	



Figure VII.1 : Quelques photos d'EPI

BIBLIOGRAPHIE

- ❖ [Réf.1] : Document interne de l'office chérifien de phosphates.
- ❖ [Réf.2] : Données de bureau de préparation.
- ❖ [Réf.3] : Calcul établie par service contrôle gestion.
- ❖ [Réf.4] : Document d'installation générale et instructions de maintenance pour les composantes de machine.
- ❖ Manuelle d'exploitation du complexe Maroc Phosphore Jorf Lasfar.
- ❖ Documentation des Usines Maroc Phosphore (**IMACID, EMAPHOS, ACX**) de l'office chérifien de phosphates.
- ❖ Schéma et dessins des pompes centrifuges. Bureau ACX / Bloc logistiques.
- ❖ Base des données et fichiers historiques des demandes d'interventions.
- ❖ *Cours de gestion de Maintenance* de la FST Fès Saïss de l'Université Sidi Mohamed Ben Abdellah.
- ❖ *Cours de calcul de structure* de la FST Fès Saïss de l'Université Sidi Mohamed Ben Abdellah.
- ❖ *Cours de dynamique de structure* de la FST Fès Saïss de l'Université Sidi Mohamed Ben Abdellah.
- ❖ *Cours de construction mécanique* de la FST Fès Saïss de l'Université Sidi Mohamed Ben Abdellah.
- ❖ *Cours de fabrication mécanique* de la FST Fès Saïss de l'Université Sidi Mohamed Ben Abdellah.
- ❖ *Cours de gestion de production* de la FST Fès Saïss de l'Université Sidi Mohamed Ben Abdellah.

WEBOGRAPHIE

- ❖ http://www.google.co.ma/search?q=centrale+hydro%C3%A9lectrique&hl=fr&prmd=imvns&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ei=yC_kT4LVHYS_8gPkw4TSCg&ved=0CHAQsAQ&biw=1138&bih=555
- ❖ <http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/mecanique-th7/transmission-de-puissance-hydraulique-42187210/>
- ❖ http://www.GénieMécaniquepro.com/Php/produits_sv.php?navig=3&choix=sv
- ❖ <http://www.ocpgroup.ma>