



UNIVERSITÉ SIDI MOHAMED BEN ABDELLAH – FÈS
FACULTÉ DES SCIENCES ET TECHNIQUES
DÉPARTEMENT GÉNIE MÉCANIQUE



MÉMOIRE DE PROJET DE FIN D'ÉTUDES

Pour l'obtention du

Diplôme Master Sciences et Techniques

Spécialité : *Ingénierie Mécanique*

Sous le Thème

**ÉTUDE DE LA RÉNOVATION DU SYSTÈME DE LUBRIFICATION
DU TUBE SÈCHEUR POUR LES LIGNES DE PRODUCTION
DES ENGRAIS, CALCUL DES COÛTS DE MAINTENANCE
ET LE MANQUE À GAGNER DUE AUX ARRÊTS
FORTUITS DES LIGNES DE PRODUCTION**

***DIRECTION INDUSTRIELLE – AXE NORD / DIRECTION SITE JORF LASFAR/ USINE
MAROC PHOSPHORE III – IV / ATELIERS DES ENGRAIS***

Présenté par :

- **M. NEZAR TOUMI**
- **M^{lle}. GHIZLANE BOUICHICHAN**

Encadré par :

- **Pr. ABDELHADI EL HAKIMI, Professeur du département Génie Mécanique, FST Fès**
- **M. NOUREDDINE SOULHI, Chef de Service Maintenance Mécanique, OCP Jorf Lasfar**
- **EFFECTUÉ À : OCP – MAROC PHOSPHORE III – IV JORF LASFAR**
- **SOUTENU LE : 23 JUIN 2015 à 10h00**

Devant le Jury :

Mr. BILAL HARRAS, Professeur du département Génie Mécanique, FST Fès
Mr. ABBASS SEDDOUKI, Professeur du département Génie Mécanique, FST Fès
Mr. JALIL ABOUCHITA, Professeur du département Génie Mécanique, FST Fès
Mr. ABDELHADI EL HAKIMI, Professeur du département Génie Mécanique, FST Fès

Année Universitaire : 2014-2015

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 concurrentielle pour garantir sa continuité. Les besoins international en Acide Phosphorique et Engrais ne cessent d'augmenter. Face à cette demande croissante, Il en résulte que l'OCP a entamé une stratégie d'investissement visant à augmenter et diversifier son parc de production.

Ce projet est issu du stage de fin d'études que nous avons réalisé dans le cadre de l'obtention du *Master ès Sciences et Techniques en Ingénierie Mécanique* dont les enseignements sont dispensés par la Faculté des Sciences et Techniques Fès Saïs.

Au cours de ce stage, qu'on a effectué au sein de l'Office Chérifien de Phosphates, Maroc Phosphore III – IV Jorf lasfar pendant les mois : Février, Mars, avril et mai 2015, nous avons eu pour mission, la rénovation du système de lubrification du tube sécheur pour les lignes de production des engrais, ainsi que le calcul des coûts de maintenance et le manque à gagner due aux arrêts fortuits des lignes de production.

C'est donc dans un souci de fiabilité, de sécurité et de disponibilité des lignes de production que le présent défi nous est posé. Il s'agit de réduire les arrêts fortuits causés par les dysfonctionnements constatés, à savoir le cisaillement de l'arbre d'entrée du réducteur d'entraînement du sécheur, la détérioration de l'état de surface du groupe galet – bandage ainsi que les pertes d'huile de lubrification.

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 compétences dans le marché d'emploi.

REMIRCIEMENTS

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

- Monsieur **RAMDANI** : Directeur de site industriel JORF LASFAR.
- Monsieur **SOUILHI** : Chef de Division **INJ/C/M/M**
- Monsieur **SAKNI** : Chef de Département **INJ/C/M/M**

Nous tenons à exprimer nos profondes gratitude ainsi que toutes nos reconnaissances à nos encadrants **Mr. NOUREDDINE SOULHI** et **Mr. HAFID BENZIDANE** qui nous ont fait bénéficier de leurs savoir-faire, de leurs conseils appréciables, 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** qui sont préoccupées d'améliorer et enrichir nos connaissances grâce à leurs efforts, leurs recommandations et leurs conseils.

Nous tenons également à adresser nos plus sincères remerciements à l'ensemble du corps enseignant de la FST de Fès département Génie Mécanique en particulier notre tuteur **Pr. ABDELHADI EL HAKIMI** pour leurs conseils judicieux qu'ils nous ont donné tout au long de notre formation.

Nos remerciements s'adressent aussi aux membres du jury, qui ont accepté de juger notre travail. Qu'ils trouvent dans ce travail le modeste témoignage de notre haute considération et notre sincère reconnaissance.

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

RÉSUMÉ

La présente étude est consacrée pour un projet de fin d'études sous le thème « ***Étude de la rénovation du système de lubrification du tube sécheur pour les lignes de production des engrais, calcul des coûts de maintenance et le manque à gagner due aux arrêts fortuits des lignes de production*** ». Pour cela nous allons répartir le total du travail en six parties principales chacune d'elle consiste à parcourir un domaine particulier pour comprendre le problème lié au système de lubrification existant et bien détailler la solution proposée pour abolir ce problème.

Dans un premier lieu, Avant de développer les différentes opérations qui nous ont permis d'atteindre notre objectif, il serait judicieux de parler de l'organisme et du service d'accueil.

En deuxième lieu, nous représentons le système de séchage actuel, leurs caractéristiques techniques, le système mécanique d'entraînement du sécheur, ainsi que le circuit de lubrification actuel du groupe galet – bandage.

Dans la troisième partie, nous déterminerons le problème lié au système mécanique d'entraînement du tube sécheur « cisaillement de l'arbre d'entrée du réducteur », ainsi que la cause racine de ce problème qui se manifeste dans le circuit de lubrification qui devient inadéquat depuis l'augmentation de la vitesse du sécheur.

La partie suivante, on va décrire les concepts et les méthodes utilisés de l'ingénierie mécanique pour la résolution du problème.

La partie l'avant dernière, présente les solutions et les recommandations proposées pour répondre aux exigences productives de nos installations.

La dernière partie sera consacrée à l'étude technico – économique de la recommandation proposée.

N.TOUMI & G.BOUICHICHAN

ABSTRACT

This study is devoted to a project end of study under the theme "**Study of the renovation of the drying tube lubrication system for fertilizer production lines, calculation of maintenance costs and loss of earnings due to unplanned outages production lines**". For that we will split the total work into six main parts each of which is to browse a particular area to understand the problem with the existing lubrication system and many details of the proposed solution to eliminate this problem.

In a first, before developing the various operations that have allowed us to achieve our goal, it would be sensible to speak of the host organization. Secondly, we represent the current drying system, technical characteristics, the mechanical drive system the dryer, and the current lubrication circuit of the roller-bandage group.

In the third part, we will find out the problem with the mechanical drive system of the dryer tube "shearing of the input shaft of the gearbox," as the root cause of this problem which manifests itself in the lubrication circuit becomes inadequate since an increase in the speed of the dryer.

The next part, we will describe the concepts and methods of mechanical engineering in solving the problem.

The part before the last, present solutions and recommendations proposed to meet the requirements of our production facilities.

The last part will be devoted to technical - economic study of the proposed recommendation.

N.TOUMI & G.BOUICHICHAN

TABLE DES MATIÈRES

Avant – propos	i
Remerciements	ii
Résumé	iii
Abstract	iv
Table des matières	v
Liste des figures	ix
Liste des tableaux	x
Liste des abréviations	xi
Liste des annexes	xii
Introduction générale	xiii
Gestion temporelle du projet	xiv
CHAPITRE I : PRÉSENTATION DE L'ORGANISME ET DU SERVICE D'ACCUEIL	1
Introduction	2
I.1. Présentation de l'Office Chérifien des Phosphates	2
I.1.1. Historique	2
I.1.2. Statut juridique du groupe	2
I.1.3. Fiche technique.....	3
I.1.4. Sites miniers	3
I.1.5. Organigramme hiérarchique de l'OCP.....	4
I.2. Présentation du Maroc phosphore III – IV.....	5
I.2.1. Atelier sulfurique	5
I.2.2. Atelier des utilités.....	6
I.2.3. Atelier phosphorique	6
I.2.4. Atelier des engrais	6
I.2.5. Atelier des fertilisants.....	6
I.2.6. Schéma synoptique de production.....	7
I.3. Présentation du service maintenance mécanique	7
I.3.1. Rôle du service	7
I.3.2. Organigramme hiérarchique	8
I.3.3. Structure interne du service	9
I.3.4. Mission du service	10
I.3.5. Organisation.....	10
I.4. Stratégie de la maintenance	11
I.4.1. La centralisation de la maintenance.....	11
I.4.2. Les services centralisés.....	11
I.4.3. Étapes d'approbation de la demande d'intervention	12
I.4.4. Logigramme de maintenance.....	13
I.4.5. Méthodes de maintenance.....	14
Conclusion.....	14

CHAPITRE II : SÈCHEUR ET SON SYSTÈME DE LUBRIFICATION ACTUEL	15
Introduction	16
II.1. Processus général des engrais	16
II.1.1. Principe de production des engrais.....	16
II.1.2. Procédé de fabrication	17
II.2. Tube sécheur F02.....	20
II.2.1. Principe de fonctionnement.....	22
II.2.2. Caractéristiques techniques	22
Conclusion.....	29
CHAPITRE III : PROBLÉMATIQUE ET SON IMPACT SUR LA PRODUCTION.....	30
Introduction	31
III.1. Dysfonctionnements constatés	31
III.1.1. Au niveau des galets et bandages.....	31
III.1.2. Au niveau du réducteur	32
III.2. Évaluation des pertes économiques.....	33
III.2.1. Pertes économiques causées par le cisaillement	33
III.2.2. Pertes économiques dues aux arrêts fortuits	34
III.3. Évaluation et analyse des causes racines.....	36
III.3.1. Diagramme Ishikawa initial	36
III.3.2. Analyse Pareto	38
III.3.3. Analyse des résultats.....	39
III.3.4. Diagramme Ishikawa final	40
III.3.5. Explication des résultats	41
III.4. Démarche de résolution.....	42
Conclusion.....	42
CHAPITRE IV : CONCEPTS UTILISÉS DE L'INGÉNIERIE MÉCANIQUE	43
Introduction	44
IV.1. Mécanique de contact.....	44
IV.2. Mécanique et énergétique	44
IV.2.1. Transfert thermique	44
IV.2.2. Dimensionnement par méthode DLMT	44
IV.3. Mécanique des fluides.....	46
IV.3.1. Régime d'écoulement et nombre de Reynolds	46
IV.3.2. Conservation de masse	47
IV.3.3. Théorème de Bernoulli	47
IV.3.4. Les pertes de charges	48
IV.4. Régulation industrielle	49
IV.4.1. Généralités	50
IV.4.2. Schéma de structure	51
IV.4.3. Méthodologie d'étude des systèmes asservis	51
IV.4.4. Les différents types d'implémentations d'un régulateur PID	52
IV.4.5. Paramétrage du PID	54

Conclusion.....	55
CHAPITRE V : SOLUTIONS ET RECOMMANDATIONS PROPOSÉES	56
Introduction	57
V.1. Présentation du système	57
V.2. Analyse fonctionnelle.....	57
V.2.1. Diagramme « Bête à Corne »	58
V.2.2. Validation du besoin	58
V.2.3. Diagramme des Interacteurs.....	58
V.2.3.1. Phase d'installation.....	58
V.2.3.2. Phase d'utilisation.....	59
V.2.3.3. Phase de maintenance	59
V.2.4. Cahier des charges fonctionnel	60
V.2.5. Arbre fonctionnel (Diagramme FAST).....	61
V.3.2. Diagramme « SADT » niveau A0.....	61
V.3. Développement de la fonction qualité.....	64
V.4. Génération des solutions	65
V.4.1. Matrice morphologique.....	65
V.4.2. Analyse des rangés de la matrice	67
V.4.3. Analyse de Pugh.....	69
V.5. Concept final	70
V.5.1. Schéma fonctionnel 2D.....	70
V.5.2. Prototype en 3D	71
V.6. Dimensionnement de l'installation.....	72
V.6.1. Choix de lubrifiant	72
V.6.2. Choix de pompes.....	72
V.6.2.1. Calcul de débit fourni	72
V.6.2.2. Calcul de la pression après pompe.....	74
V.6.2.3. Calcul de Puissance nette de la pompe	76
V.6.2.4. Critères de choix de la pompe	78
V.6.3. Dimensionnement du décanteur.....	78
V.6.4. Choix du filtre	79
V.6.5. Dimensionnement de l'échangeur.....	79
V.6.5.1. Calcul du flux thermique transféré	80
V.6.5.2. Calcul de la surface d'échange	81
V.6.5.3. Calcul de la longueur du tube d'échange.....	81
V.6.6. Dimensionnement du réservoir d'appoint.....	82
V.6.7. Synthèse de la boucle de régulation	83
V.6.7.1. Modélisation	83
V.6.7.2. Obtention du schéma fonctionnel	83
V.6.7.3. Modélisation de la vanne régulatrice	84
V.6.7.4. Modélisation du serpentin.....	85
V.6.7.5. Boucle de régulation	87
Conclusion.....	87

CHAPITRE VI : ÉTUDE TÉCNICO – ÉCONOMIQUE	88
Introduction	89
VI.1. Définition du projet	89
VI.2. Investissement initial.....	90
VI.2.1. Coût d'achat des équipements	90
VI.2.2. Coût de confection dans les ACX.....	90
VI.2.3. Coût de cintrage dans les ACX.....	91
VI.2.4. Coût d'installation dans le chantier production	91
VI.2.5. Coût total du projet	92
VI.3. Charges d'exploitation.....	92
VI.3.1. Coût d'énergie à consommer par les pompes	93
VI.3.2. Coût des eaux brutes de refroidissement	93
VI.3.3. Charges annuelles d'exploitation.....	93
VI.4. Gain à gagner	94
Conclusion.....	94
Conclusion générale	95
Annexes	97
Bibliographie & webographie	108

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 : Organigramme hiérarchique de l'OCP	4
Figure I.2 : Principe d'exploitation et production de MARPHOS III-IV Jorf lasfar	7
Figure I.3 : Organigramme du service maintenance mécanique.....	8
Figure I.4 : Structure d'organisation du service.....	9
Figure I.5 : Service concernés par la centralisation	11
Figure I.6 : Logigramme de la maintenance	13
Figure II.1 : Étapes du procédé de fabrication des engrais.....	17
Figure II.2 : Schéma synoptique du procédé de fabrication des engrais	18
Figure II.3 : Tube Sécheur (four rotatif).....	20
Figure II.4 : Schéma détaillé du tube sécheur.....	21
Figure II.5 : Coupleur Hydraulique Voith	25
Figure II.6 : Image du Réducteur H3SH 18-3	26
Figure II.7 : Dessin d'ensemble du réducteur.....	27
Figure II.8 : Schéma descriptif du système de lubrification actuel	29
Figure III.1 : Problème du groupe galets – bandages par effet de l'usure.....	32
Figure III.2 : Cisaillement de l'arbre d'entrée du réducteur.....	32
Figure III.3 : Demi-manchon cisailé du réducteur	34
Figure III.4 : Diagramme Ishikawa traite l'ensemble des causes probables	37
Figure III.5 : Diagramme PARETO des causes qui affectent les réducteurs	39
Figure III.6 : Diagramme Ishikawa traite les causes racines.....	40
Figure III.7 : Récapitulative des causes qui engendrent le cisaillement.....	41
Figure III.8 : Démarche à suivre pour la résolution du problème	42
Figure IV.1 : Le flux thermique à travers une paroi	44
Figure IV.2 : Architecture d'un système asservi	51
Figure IV.3 : Structure PID Série	52
Figure IV.4 : Structure PID parallèle	53
Figure IV.5 : Structure PID mixte.....	53
Figure IV.6 : Réponse d'un système à un échelon unité en boucle ouverte	54
Figure V.1 : Schéma présente diagramme Bête à Corne.....	57

Figure V.2 : Diagramme des interactions « PIEUVRE » en phase installation	58
Figure V.3 : Diagramme des interactions « PIEUVRE » en phase d'utilisation	59
Figure V.4 : Diagramme des interactions « PIEUVRE » en phase de maintenance.....	59
Figure V.5 : Arbre fonctionnel du système à concevoir	63
Figure V.6 : Diagramme SADT niveau A0	64
Figure V.7 : La Maison de qualité	65
Figure V.8 : Schéma fonctionnel 2D.....	70
Figure V.9 : Concept final de la solution proposée.....	71
Figure V.10 : Collecteur de refoulement.....	72
Figure V.11 : Station hydraulique de lubrification	76
Figure V.12 : Serpentin de refroidissement	79
Figure V.13 : Écoulement contre courant (anti- méthodique)	80
Figure V.14 : Schéma bloc du système de refroidissement	83
Figure V.15 : Courbe représente le flux en fonction du débit dans le serpentin.....	86
Figure V.16 : Boucle de régulation de la température	87

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1 : Fiche technique de l'Office Chérifien des Phosphates.....	3
Tableau I.2 : Récapitulatif des moyens de la section AMM.....	10
Tableau II.1 : Nomenclature du schéma précédent	19
Tableau II.2 : Nomenclature du réducteur H3SH 18-3	28
Tableau III.1 : Moyenne des pertes annuelles causées par le cisaillement	34
Tableau III.2 : Prix unitaires (P.U) des produits engrais.....	34
Tableau III.3 : Les pertes économiques au niveau des lignes de production	35
Tableau III.4 : Récapitulatif des pertes engendrées par cette problématique.....	35
Tableau III.5 : Répartition des causes qui affectent les réducteurs	38
Tableau IV.1 : Influence des coefficients d'un PID sur un système	54
Tableau V.1 : Tableau représente le cahier des charges fonctionnel du système	60
Tableau V.2 : Génération des solutions possibles pour chaque fonction	66
Tableau V.3 : Analyse des concepts par méthode de Pugh	69

Tableau V.5 : Données spécifiques des conduites	74
Tableau V.6 : Récapitulatif des Pressions d'entrée des autres conduites	76
Tableau V.7 : Calcul du volume total du réservoir	82
Tableau VI.1 : Coût d'achat des équipements à installer pour une ligne de production	90
Tableau VI.2 : Coût de confection des équipements à installer.....	91
Tableau VI.3 : Coût de cintrage des conduites à installer dans le nouveau système.....	91
Tableau VI.4 : Coût d'installation dans le chantier production.....	92
Tableau VI.5 : Récapitulatif des coûts relatifs à la mise en place de la solution.....	92

LISTE DES ABRÉVIATIONS

OMC : Organisation Marocaine de commerce.....	i
OCP : Office Chérifien De Phosphates	i
INJ/C/M/M : Direction Industrielle Jorf Lasfar / Moyens Généraux / Maintenance	ii
MAP : Mono Ammonium Phosphates.....	5
DAP : Di Ammonium Phosphates	5
TSP : Triple Super Phosphates	5
MO : Machines Outils	8
CHD : Chaudronnerie	8
AMM : Ajustage Montage Mécanique	8
INJ/A : Pôle Industriel Jorf lasfar/ Production Acide phosphorique.....	11
INJ/E : Pôle Industriel Jorf lasfar/ Production des Engrais.....	11
INJ/S : Pôle Industriel Jorf lasfar/ Production intermédiaire	11
INJ/I : Pôle industriel Jorf lasfar/ Production infrastructure	11
INJ/M : Pôle industriel Jorf lasfar/ Logistique & matériel	12
INJ/LA : Pôle industriel Jorf lasfar/ Logistique achat	12
EMAPHOS : Euro Maroc Phosphore	12
IMACID : Indo Maroc Acide.....	12
PMP : Pakistan Maroc Phosphore	12
DI : Demande d'Intervention.....	12

OT : Ordre de Travail	12
ACX : Ateliers Centraux.....	14
RM : Rapport molaire.....	16
PN : Pré – neutraliseur	16
PDR : Pièces de Rechange.....	34
M.O : Main d'œuvre	35
DLMT : Méthode des Différences de Températures Logarithmiques Moyennes.....	45
MCE : Mètre colonne d'eau	48
PID : Proportionnel Intégral Dérivé	52
U.O : Unité d'œuvre	91

LISTE DES ANNEXES

Annexe I : Arbre d'entrée du réducteur H3SH18-3.....	98
Annexe II : Catalogue des lubrifiants Shell	99
Annexe III : Les coefficients de perte de charge singulière.....	100
Annexe IV : Détail de calcul de la pression de la conduite (5)	101
Annexe V : Épaisseur en fonction du diamètre de la conduite.....	103
Annexe VI : Caractéristiques d'un système second ordre.....	103
Annexe VII : Les spécifications techniques de la vanne régulatrice	104
Annexe VIII : Calcul des sections de la matière première.....	105
Annexe IX : Calcul de la contrainte d'Hertz	105

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Vue l'importance des stages pratiques au cours du cursus d'un ingénieur, et afin de livrer des lauréats opérationnels prêts à intégrer dans le domaine industriel, la Faculté des Sciences et Techniques, nous accorde l'opportunité d'effectuer des stages au sein des entreprises manufacturières, pour affûter la formation pluridisciplinaire acquise au département Génie Mécanique, et mettre nos compétences en épreuve.

Dans ce cadre, nous avons effectué avec un immense plaisir un stage de fin d'études au sein du Groupe OCP – direction industrielle / axe nord / direction site Jorf Lasfar / usine Maroc phosphore III IV / ateliers centraux, pour une durée de quatre mois, pendant laquelle nous avons chargé d'étudier la rénovation du circuit de lubrification du groupe galets-bandages et de calculer les coûts de maintenance et le manque à gagner due aux arrêts fortuits des linges de production.

La consultation des responsables, la visite des différents sites nous ont permis de mettre en exergue un ensemble de préoccupations et de besoins témoignant d'un grand souci de rigueur et de recherche d'efficacité dans la gestion des opérations au sein du service.

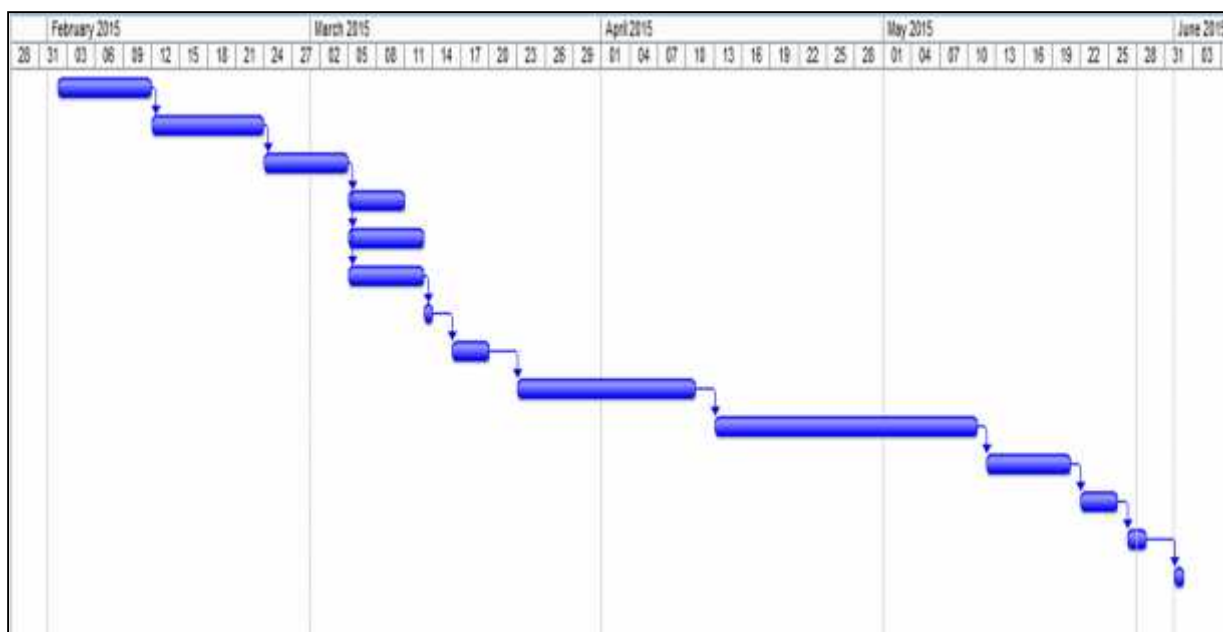
La présente étude sera entamée par une laconique présentation de l'entreprise d'accueil, présentation du procédé de séchage et son mécanisme d'entraînement actuel, problématique et démarche de résolution, les concepts utilisés pour la résolution des problèmes, ainsi que la proposition des solutions et recommandations, et finalement une étude technico-économique.

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 Gant de notre projet.

Phases du projet

	Task Name	Duration	Start	Finish	Predecessors
1	Tournée d'information	8 days	Mon 02/02/15	Wed 11/02/15	
2	Collecte des données et les caractéristiques du procédé de séchage actuel	8 days	Thu 12/02/15	Mon 23/02/15	1
3	Collecte des données pour l'étude statistique "historique"	7 days	Tue 24/02/15	Wed 04/03/15	2
4	Evaluation des pertes économique	4 days	Thu 05/03/15	Tue 10/03/15	3
5	Recherche des causes possibles et élaboration du diagramme ishikawa	6 days	Thu 05/03/15	Thu 12/03/15	3
6	Tracer le diagramme de pareto sous excel	6 days	Thu 05/03/15	Thu 12/03/15	3
7	Analyse des résultats et déduire la cause racine de cisaillement de l'arbre d'entrée	1 day	Fri 13/03/15	Fri 13/03/15	6
8	Recherche des concepts et les méthodes utilisés pour la résolution du problème	4 days	Mon 16/03/15	Fri 20/03/15	7
9	Proposition de la solution convenable et la conception du prototype	15 days	Mon 23/03/15	Sat 11/04/15	8
10	Dimensionnement des sous ensembles de la solution	20 days	Mon 13/04/15	Mon 11/05/15	9
11	Etude technico-économique	7 days	Tue 12/05/15	Thu 21/05/15	10
12	Mise en page et élaboration du rapport	2 days	Fri 22/05/15	Tue 26/05/15	11
13	Présentation avant soutenance	2 days	Wed 27/05/15	Fri 29/05/15	12
14	validation du stage et remise de l'attestation	1 day	Mon 01/06/15	Tue 02/06/15	13



GANT du projet

I.1. Présentation de l'Office Chérifien des Phosphates [Réf. 1]

I.1.1. Historique

L'Office Chérifien des Phosphates fut créé au 7 août 1920 par Dahir. Il réservera à l'État tous les droits de recherche et d'exploitation du phosphate, ainsi que le monopole des ventes de ce minerai sur le marché. L'exploitation effective du minerai ne fut entreprise qu'en 1921 dans la région d'Oued Zem. Dès cette période, l'OCP a connu une très vive expansion sans relâche grâce à la qualité du minerai extrait et à la présentation des pays demandeurs.

- **1920:** Début de l'extraction du phosphate Boujniba (Khouribga).
- **1930:** Ouverture d'un nouveau centre de production de phosphate (Yousseoufia).
- **1950:** Mise en œuvre de la méthode d'extraction en découverte à Khouribga.
- **1960:** Développement de la mécanisation du souterrain à Yousseoufia.
- **1965:** Démarrage de Maroc phosphore I-II à Safi.
- **1970:** Création de la structure organisationnelle intégrant l'OCP et ces entreprises filiales.
- **1980:** Partenariat industriel en Belgique : Démarrage du site de Jorf Lasfar avec Maroc phosphore III-IV.
- **1990:** Exportation des nouveaux projets de partenariat industriels de renforcements des capacités.
- **2000:** Démarrage d'une unité de flottation de phosphate à Khouribga.
- **2002:** Prise de participation dans la société indienne PPL en joint-venture avec le Groupe Birla.
- **2003:** L'OCP est devenu le seul actionnaire de Phosboucraâ.
- **2004:** Création de la Société "Pakistan Maroc Phosphore" S.A en Joint venture entre l'OCP et Fauji Fertiliser Bin Qasim Limited (Pakistan).

I.1.2 Statut juridique du groupe

L'Office Chérifien des Phosphates a été constitué sous forme d'un organisme semi-public sous contrôle de l'État. Il fonctionne ainsi comme une société dont le seul actionnaire est l'État marocain, appliquant les méthodes de gestion privée, dynamique, souple et efficace. Vu le caractère de ses activités industrielles et

commerciales, il est dirigé par un Directeur Général nommé par Dahir, le contrôle est exercé par un conseil d'administration présidé par le Premier Ministre.

I.1.3. Fiche technique

Tableau I.1 : Fiche technique de l'Office Chérifien de Phosphates

Raison sociale	Office Chérifien de Phosphates (OCP)
Numéro du registre de commerce	Casablanca 40.327
Siège social	Immb. OCP N°2 Rue Al Abtal Hay Erraha Casablanca
Statut juridique	Entreprise d'État avec une gestion financière autonome
Date de création	Dahir du 17/08/1920
La mise en place de la structure du groupe	Juillet 1975
Les ports d'embarquement	Casablanca, Jorf Lasfar, Safi, Laayoun.
Activités	Extraction valorisation et commercialisation des phosphates.

I.1.4. Sites miniers

Le groupe OCP livre aux cinq continents de la planète. Ses exportations représentent 35 à 40% du commerce international du phosphate et de ses dérivés présents dans cinq zones géographiques du pays. Trois sites d'exportations minières (Khouribga Youssoufia, Boucraa – Laayoun) et deux sites de transformation chimique (Jorf Lasfar et Safi) constituent un vecteur de développement régional et national important.

I.1.5. Organigramme hiérarchique de l'OCP

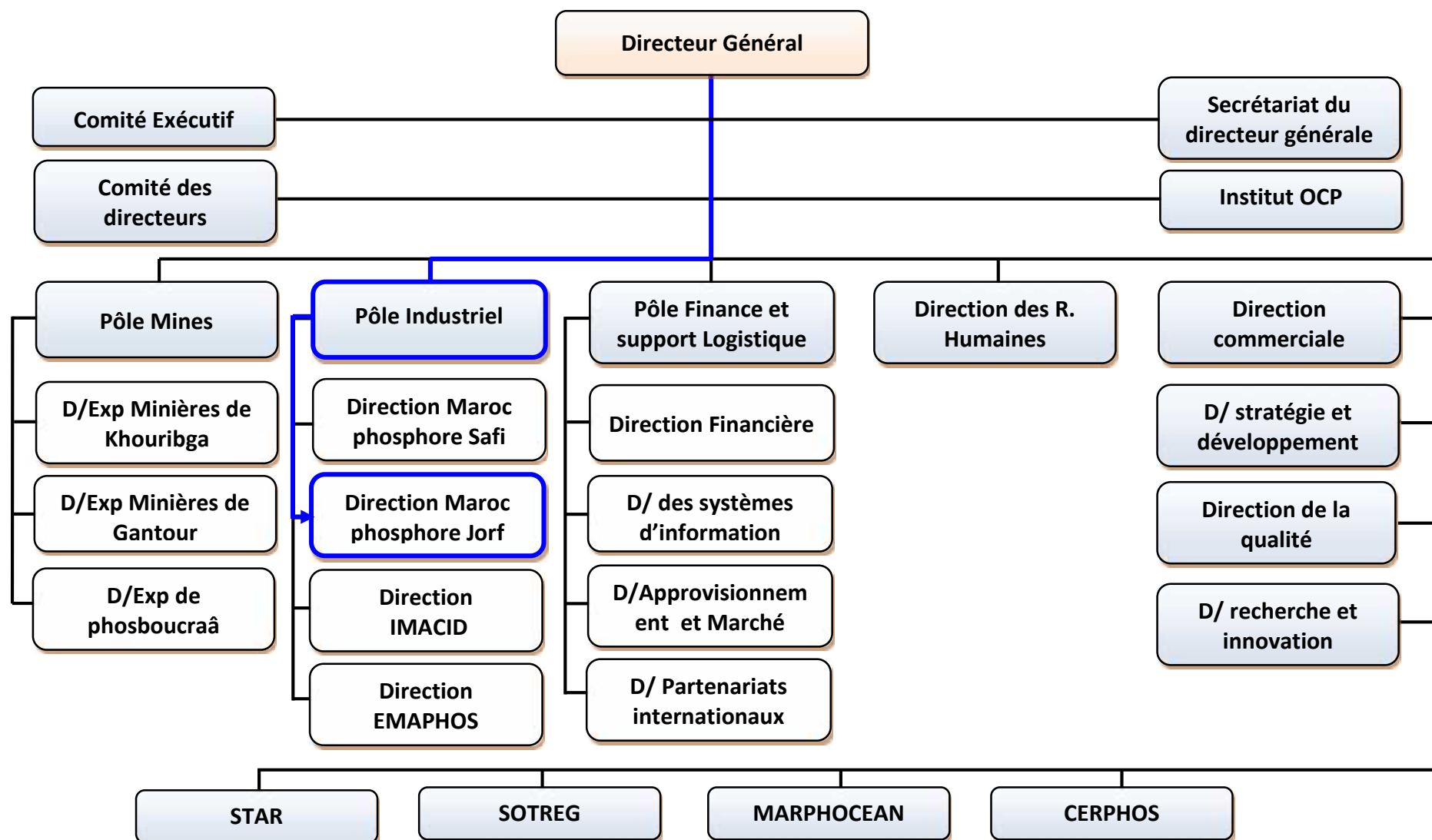


Figure I.1 : Organigramme hiérarchique de l'OCP

I.2. Présentation du complexe Maroc Phosphore

Le complexe industriel *Maroc Phosphore* du groupe OCP est implanté à Jorf Lasfar pour les raisons suivantes :

- Une proximité des zones minières permettant son alimentation en phosphate,
- Existence d'un port tirant d'eau important,
- Disponibilité de terrains pour les extensions futures.

Ce complexe qui se situe dans une enceinte s'étendant sur 1700 ha environ, permet de produire actuellement :

- Trois millions de tonnes de P_2O_5 sous forme d'acide phosphorique et de fertilisants, nécessitant la transformation d'environ :
 - 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.

Il a démarré en 1986. Sa capacité de production a atteint :

- 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).

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 (INJ/PA) pour la production de l'acide phosphorique, Pôle Industriel Jorf / Production Engrais (INJ/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 (INJ/PA, 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 :

- Une centrale thermoélectrique avec trois groupes turboalternateurs chacun de 37MW.
- 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.2)

I.2.6. Schéma synoptique d'exploitation et production

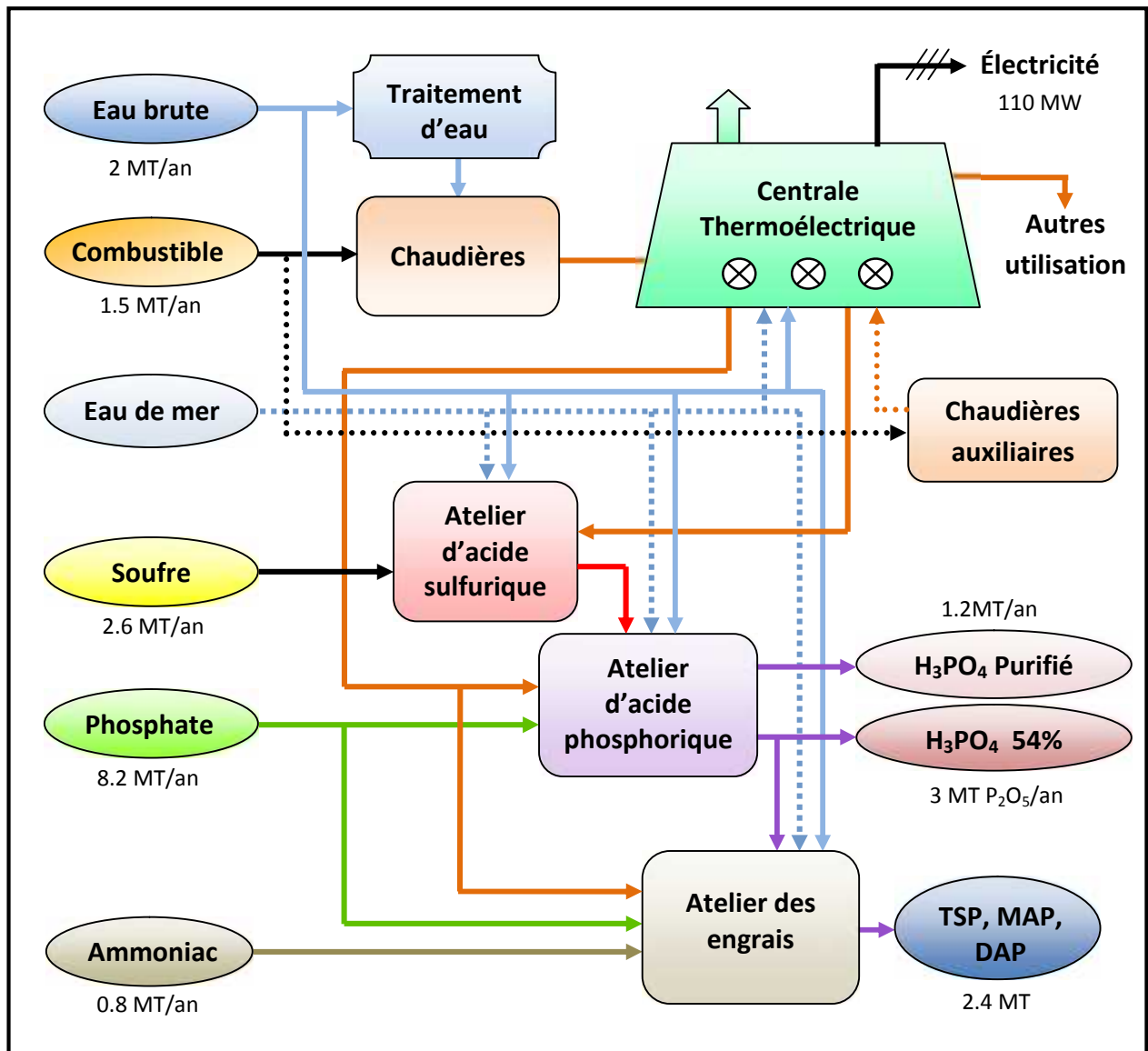


Figure I.2 : Principe d'exploitation et production de MARPHOS III-IV Jorf lasfar

I.3. Présentation du service maintenance mécanique

I.3.1. Rôle du service

Le service maintenance mécanique (INJ/C/M/M) a pour rôle principal d'assurer la maintenance des équipements mécaniques des lignes de production. Il est chargé de l'exécution de prestations demandées par les services de production des ateliers suscités et veille au maintien en bon état de fonctionnement tous les instruments mécaniques. Son personnel comprend un Responsable de service et 64 agents (*Cf. Figure I.3*)

I.3.2. Organigramme hiérarchique

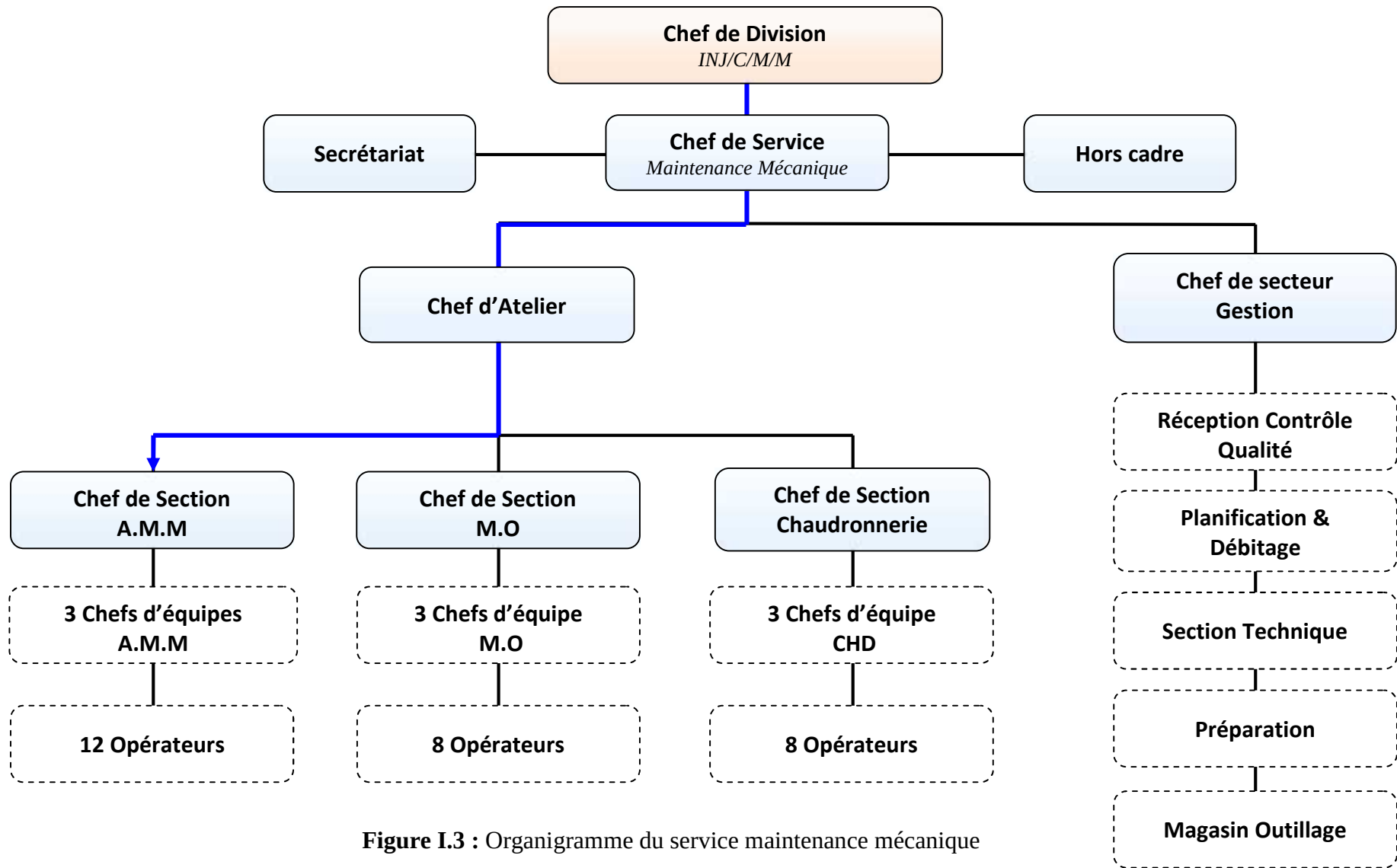


Figure I.3 : Organigramme du service maintenance mécanique

I.3.3. Structure interne du service

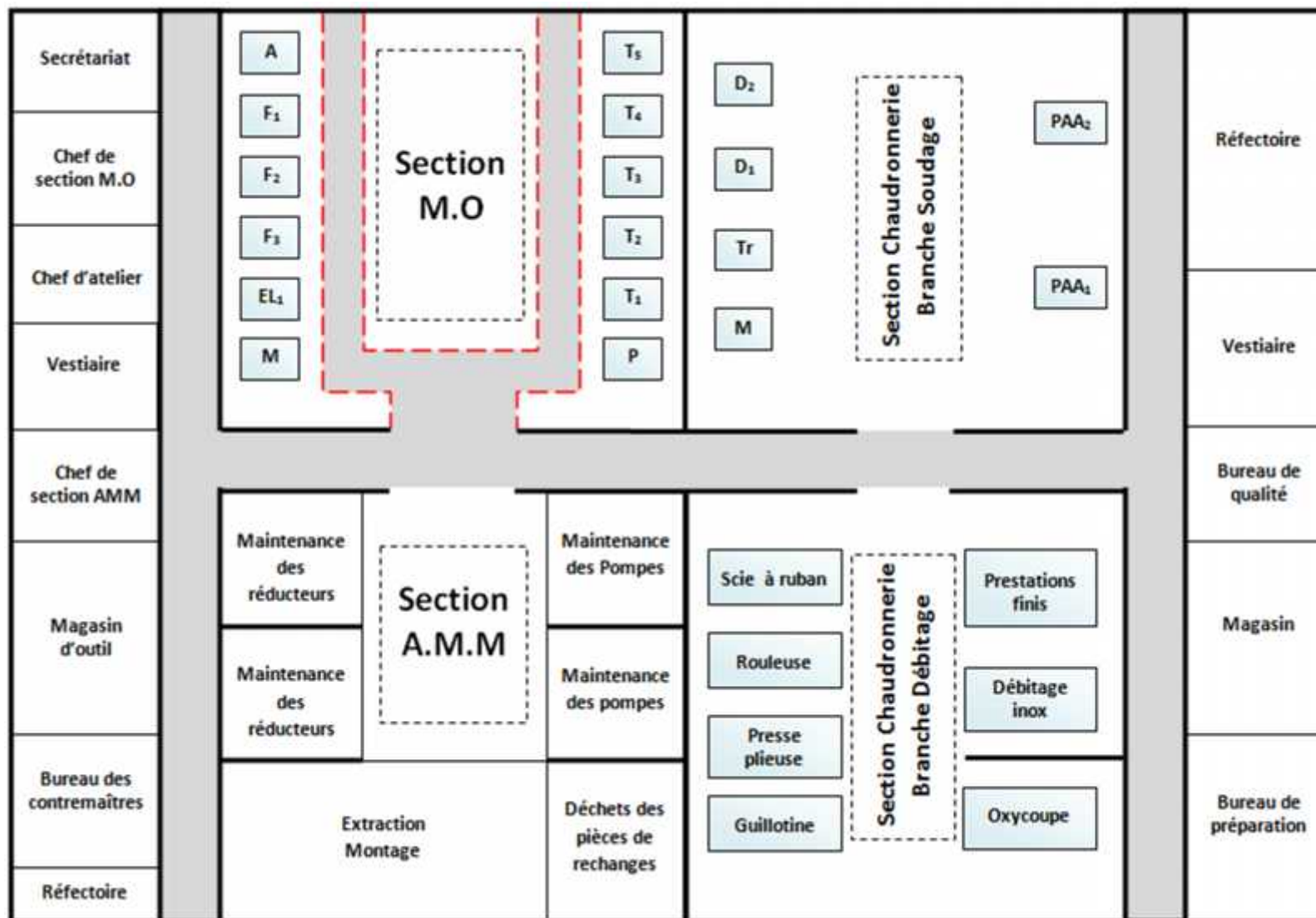


Figure I.4 : Structure d'organisation du service

I.3.4. Mission du service

Les ateliers centraux sont des prestataires de service. Ils ont pour vocation principale de répondre aux besoins de toutes les entités du pôle industriel 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 et/ou de réparation,
- Travaux d'amélioration,
- De plus, un autre type de d'activité concernant l'aspect préventif et systématique de la maintenance.
- La révision générale des équipements mécaniques

I.3.5. Organisation

Ces ateliers sont répartis en trois sections :

- **Section *Ajustage-Montage-Mécanique* (AMM) :** Sollicitée par les secteurs d'entretien, sa vocation principale est la révision des équipements de production. 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'outillages qui leur permet de réaliser leurs prestations dans des délais raisonnables

Tableau I.2 : Récapitulatif des moyens de la section AMM

Moyens humains	Moyens Matériels
▪ 03 chefs d'équipe. ▪ 12 mécaniciens qualifiés. ▪ 04 aides mécaniciens	▪ 02 presses hydrauliques 200T et 60T. ▪ 40 établis pour mécaniciens. ▪ Caisse à outils individuelle.

- **Section *Machine-outil* :** Elle se charge de tous les travaux d'usinage de pièces, soit directement demandées par les Services Clients, soit sous forme de Bons de Travaux internes dans le cas de confection de pièces de rechange.
- **Section *Chaudronnerie* :** Elle assure tous les travaux de chaudronnerie (de remises en état ou de travaux neufs).

I.4. Stratégie de la maintenance

La maintenance des équipements (Réducteurs, pompes, coupleurs...etc.), consiste à garantir la fiabilité des lignes de production, optimiser les coûts de maintenance directs et indirects, améliorer la qualité du produit, protéger l'environnement et assurer la sécurité.

I.4.1. La centralisation de la maintenance

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 suite :

- 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
- Rénovation.

I.4.2. Les services centralisés

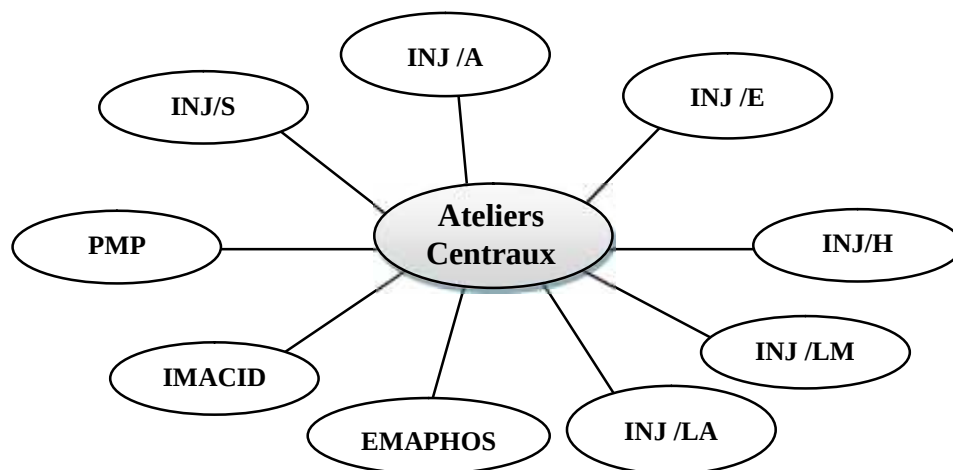


Figure I.5 : Service concernés par la centralisation

- **INJ/A** (Industriel Nord Jorf lasfar/ Production acide phosphorique)
- **INJ /E** (Industriel Nord Jorf lasfar/ Production des engrais)
- **INJ / S** (Industriel Nord Jorf lasfar/ production intermédiaire)
- **INJ / I** (Industriel Nord Jorf lasfar/ Production infrastructure)

- **INJ / M** (Industriel Nord Jorf lasfar/ Matériel)
- **INJ / LA** (Industriel Nord Jorf lasfar/ Logistique achat)
- **EMAPHOS** (Euro Maroc Phosphore)
- **IMACID** (Indo Maroc acide)
- **PMP** (Pakistan Maroc Phosphore)

I.4.3. 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 et la Peinture...etc.
- Bureau de préparation : Le rôle de ce bureau est de recevoir la DI du client et 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 (planifiée ou urgente). Les prestations urgentes ont la priorité de réalisation.

I.4.4. Logigramme de maintenance

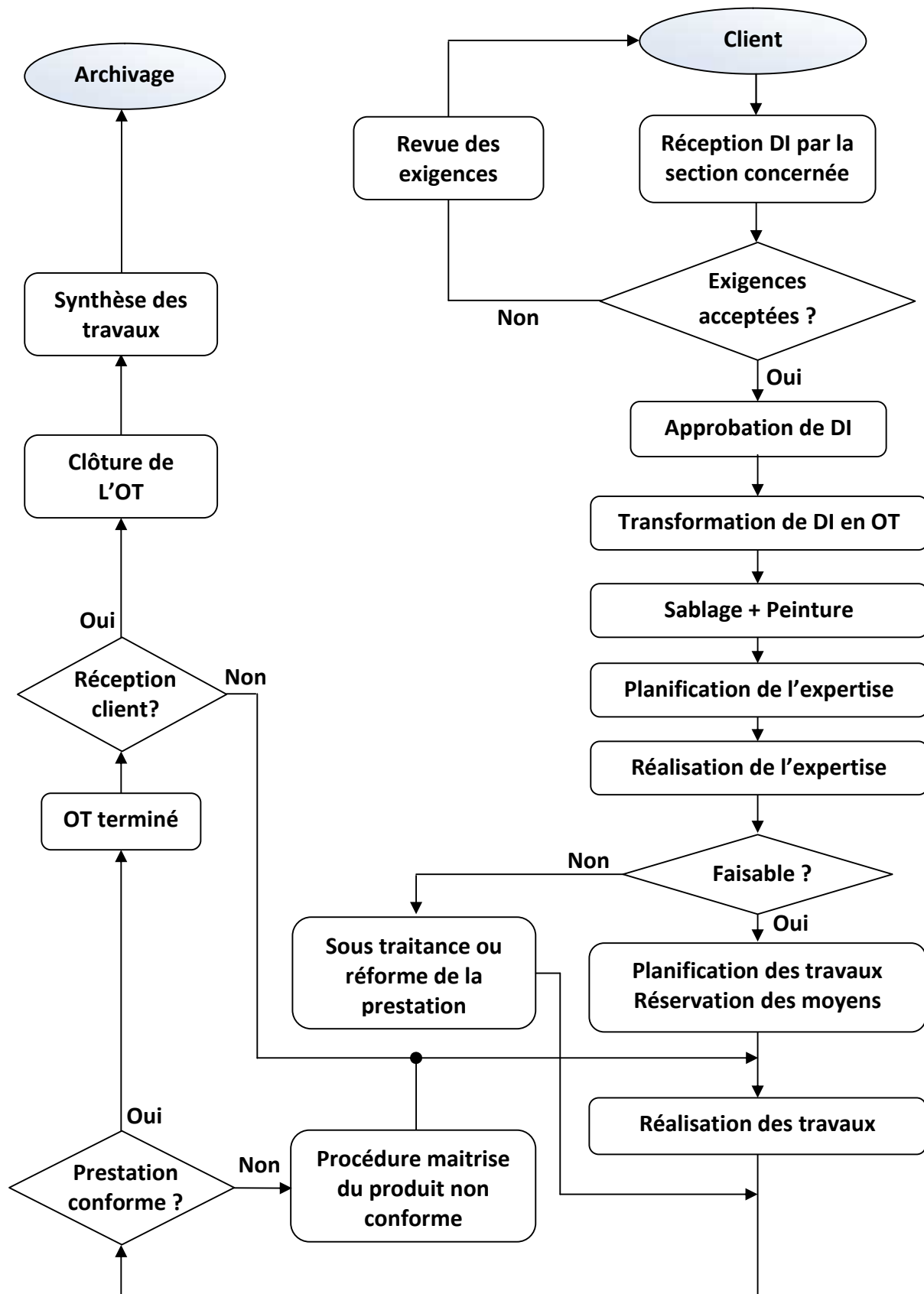


Figure I.6 : Logigramme de la maintenance

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 des équipements dès la réception jusqu'au remontage et retour au client.

I.4.5. Méthodes de maintenance

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

▪ 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 2 cas, cette opération nécessite la dépose de différents sous-ensembles :

- **Démontage** : Démonter tout les composants constituant le mécanisme.
- **Expertise** : Examiner tout 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.
- **Remontage** : Remonter à nouveau l'équipement avec l'outillage et la méthode convenable.

▪ 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 de 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, ce dossier va être imprimé et placé dans l'archive avec les dossiers antécédents.

Les sècheurs sont principalement utilisés dans les domaines des matériaux de construction, la transformation des minéraux, métallurgie, industrie chimique, etc., ils peuvent être utilisés pour sécher les matières avec l'humidité et la taille spécifiés. C'est pour cela qu'ils constituent des postes névralgiques sur la chaîne de production, d'où il est primordial de bien comprendre leur fonctionnement et leurs modes de défaillance liés à l'exploitation et à la maintenance.

Ce chapitre est dédié à la description de l'exploitation proprement dite du sècheur. Nous partirons d'une description générale du principe de fonctionnement du tube sècheur. Nous enchaînerons ensuite par une description de leur configuration.

II.1. Processus général des engrais [Réf 2]

Les engrais phosphatés sont obtenus à partir du principe actif de la roche de phosphate, elle contient une certaine teneur en P_2O_5 qui peut varier de manière importante selon les gisements ou selon les couches de sédimentation. Les roches sont transformées en acide phosphorique, par attaque d'acide sulfurique sur la roche de phosphate. Le graphique ci-dessous reprend le processus de production, communément utilisé, pour la production des principaux engrais solides obtenus à partir du phosphate

II.1.1. Principe de production des engrais

La production des engrais azotés consiste à neutraliser l'acide phosphorique ce qui donne lieu à une réaction exothermique. Le procédé consiste à effectuer la neutralisation en deux étapes :

- Une pré-neutralisation de l'acide phosphorique H_3PO_4 par l'ammoniac NH_3 jusqu'à un rapport molaire de 1,4 pour le DAP et RM de 0,6 pour le MAP ce qui correspond à une fluidité maximale de la bouillie et des pertes moindres en ammoniac par tension de vapeur. Cette première étape s'effectue dans le pré-neutraliseur PN.
- Une ammonisation complémentaire jusqu'à obtention d'un RM de 1,8 pour DAP et RM de 1 pour le MAP, ce qui favorise la cristallisation. Ce deuxième stade est réalisé dans le granulateur.

La chaleur dégagée aux deux stades de la réaction provoque l'évaporation de la plus grande quantité d'eau introduite pour diluer l'acide phosphorique. Ainsi

toute la masse gazeuse (dégagée du PN et du granulater) est récupérée pour subir un lavage au niveau de la section de lavage (décrite ci-après) afin d'améliorer le rendement en NH_3 en récupérant l'ammoniac non réagit au cours des deux étapes de neutralisation.

II.1.2. Procédé de fabrication

La fabrication du DAP et du MAP selon le procédé, peut être scindée en six étapes principales:

- La neutralisation,
- La granulation,
- **Le séchage (Notre Cadre d'étude)**
- La classification granulométrique,
- Le conditionnement du produit (refroidissement + enrobage),
- Assainissement et lavage des gaz.

On peut schématiser ces étapes comme suit :

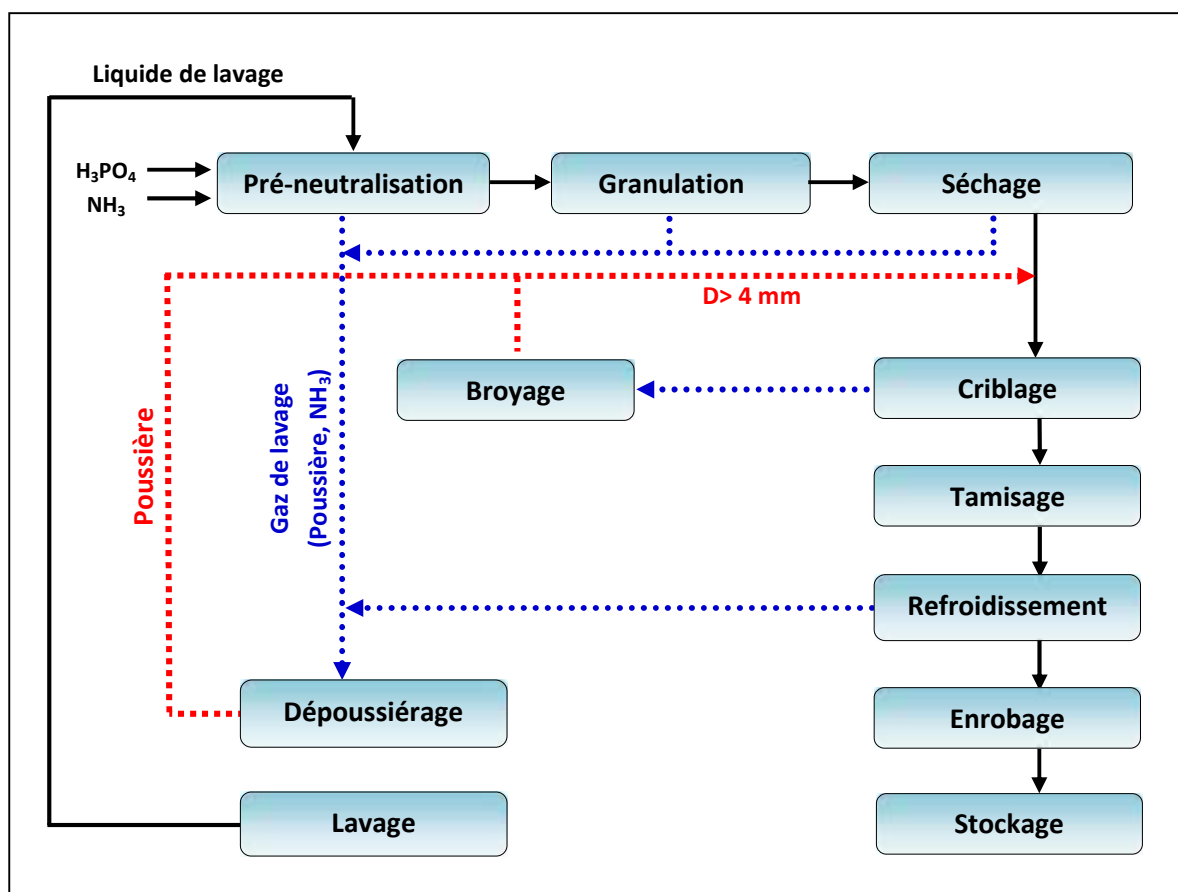


Figure II.1: Étapes du procédé de fabrication des engrais

Les deux figures ci-après sont deux Flowsheets descriptifs du procédé de fabrication des engrais de Maroc Phosphore III et IV :

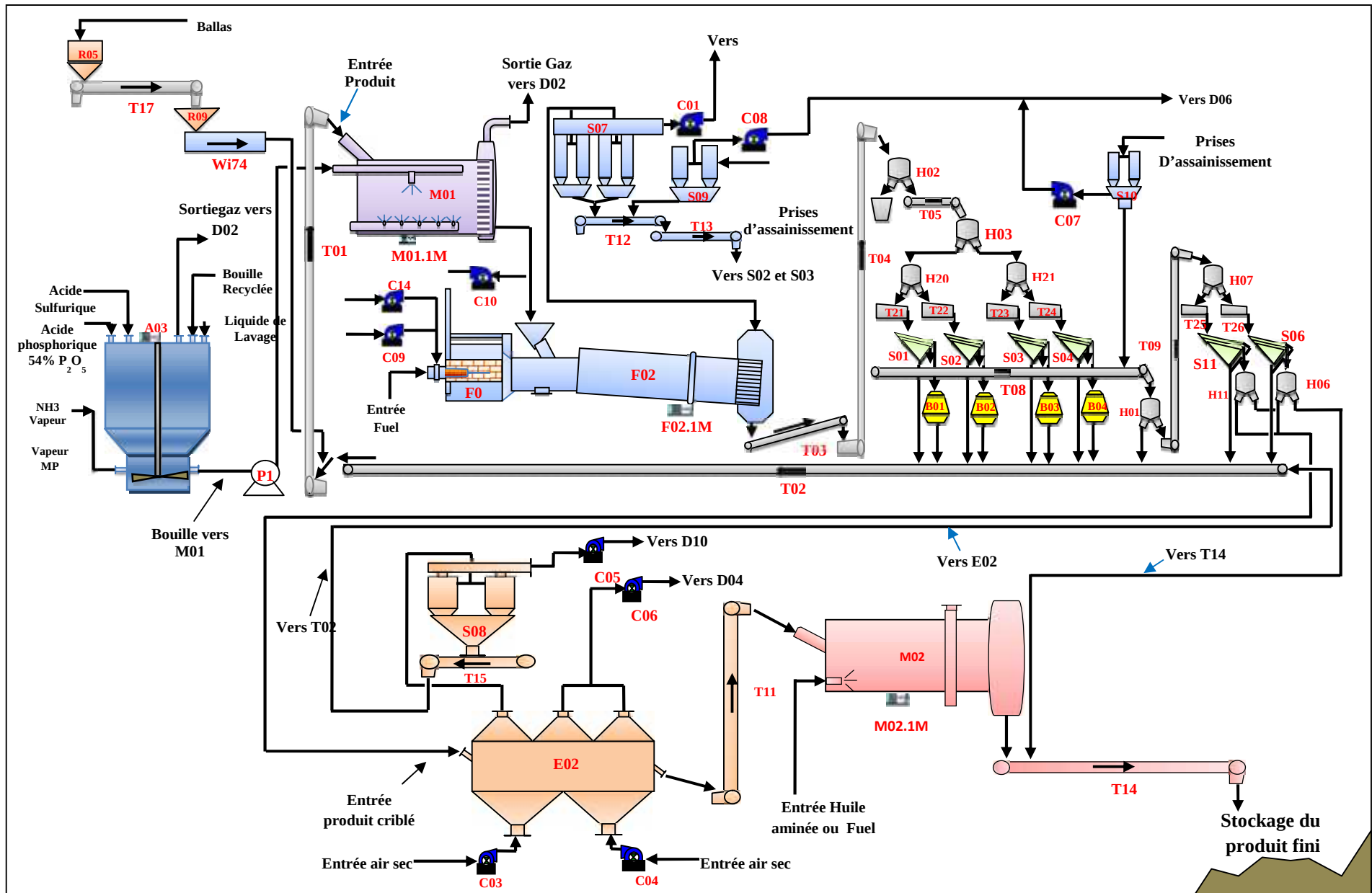


Figure II.2 : Schéma synoptique du procédé de fabrication des engrais

Tableau II.1 : Nomenclature du schéma précédent

Repère	Désignation
R05	Trémie de distribution de matière de remplissage.
R09	Trémie d'alimentation de matière de remplissage.
W03	Pré-neutraliseur.
M03	Granulateur.
F01	Chambre de combustion.
F02	Sécheur.
S01, S02, S03, S04	Cribles
S06, S11	Tamis finisseurs.
B01, B02, B03, B04	Broyeurs
H02, H03, H06, H07, H11, H20, H21	Séparateurs.
T21, T22, T23, T24, T25, T26	Distributeurs vibrants.
E02	Refroidisseur.
M02	Enrobeur.
C01, C03, C04, C05, C06, C08, C07, C09, C10, C14	Ventilateurs.
T01, T04, T09, T11	Élévateurs.
T02, T03, T05, T08, T12, T13, T14, T15, T17	Convoyeurs.
S07, S08, S09, S10	Cyclones.
P14	Pompe
D02, D10	Tour de Prélavage.
D01, D06, D04	Laveurs.
A03	Agitateur continue du pré-neutraliseur.
M01.1M	Moteur asynchrone du granulateur.
F02.1M	Moteur asynchrone du tube Sécheur.
M02.1M	Moteur asynchrone de l'enrobeur.
Wi 740	Dosimétrie.
MP	Moyenne Pression.

II.2. Tube sécheur F02

Le sécheur consiste à débarrasser le produit d'une partie de son eau, grâce à une masse d'air chaude que l'on fait passer en Co-courant avec le produit granulé. Cette étape permet d'éviter les phénomènes de colmatage des appareils de broyage, criblage et conditionnement ainsi que la prise en masse au cours du stockage de l'engrais.

A la sortie du tube sécheur, les gaz chargés d'eau et de poussières sont traités au niveau d'une batterie de cyclones, pour récupérer le maximum de poussières qui sont recyclées vers le granulateur. L'opération de séchage s'effectue dans un sécheur qu'on peut le diviser en deux parties :

- La chambre à combustion «F01»: revêtue par un réfractaire, et alimentée par un brûleur de la combustion, fuel lourd N°2.
- Le tube sécheur (F02) : c'est un tambour rotatif équipé intérieurement par des pelles releveuses favorisant l'écoulement du produit sous forme de pluie, afin d'assurer un échange thermique, et entraînant le produits vers l'avant.

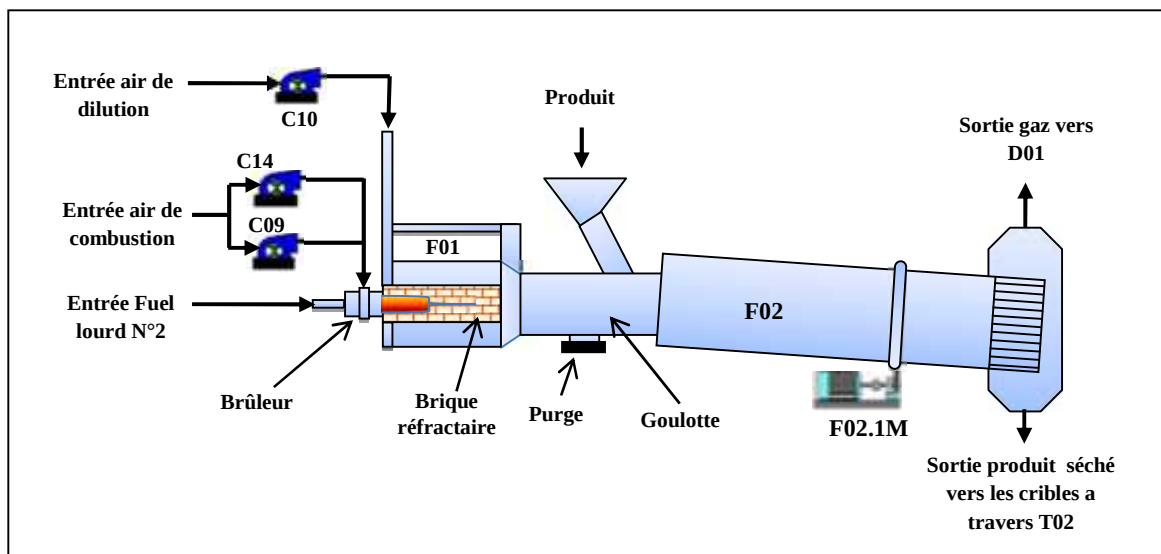


Figure II.3 : Tube Sécheur (four rotatif)

- **F01** : Chambre à combustion.
- **F02** : Tube sécheur.
- **F02.1M** : Moteur asynchrone de sécheur.
- **C09, C10, C14, C08, C01** : Ventilateurs.
- **D01, D06** : Laveurs.

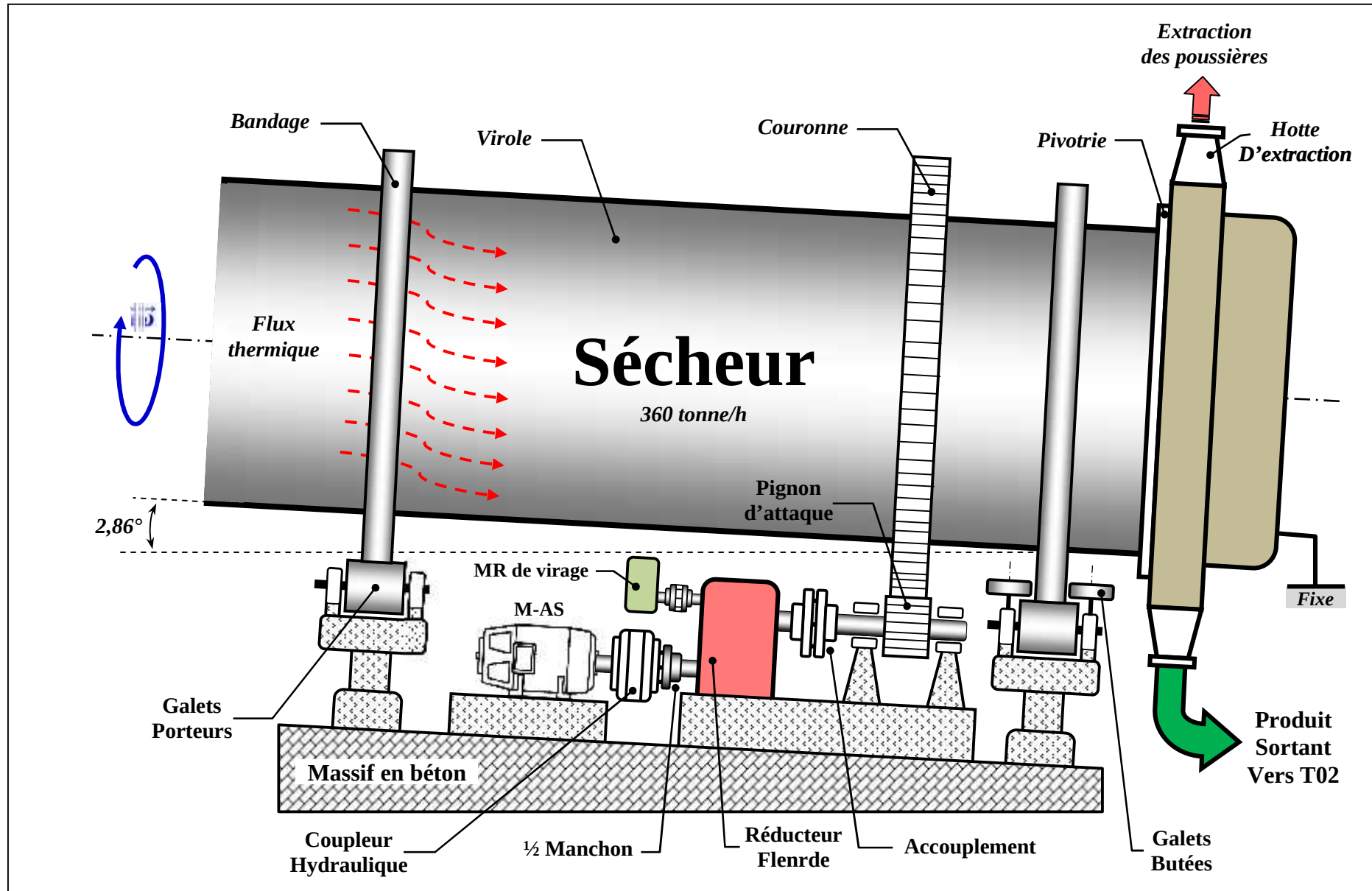


Figure II.4 : Schéma détaillé du tube sécheur

II.2.1. Principe de fonctionnement

Le tube sécheur est un tambour rotatif en mouvement de rotation équipé intérieurement par des pelles releveuses (Les pelles angulaire droites et les pelles angulaires) et des marteaux frappeurs à l'entrée du sécheur qui favorisent l'écoulement du produit, la mise en rotation du four est assurée par un pignon d'attaque et une couronne dentée fixée à la virole, De plus, le guidage en rotation du four est assuré par les bandages lisses et les galets porteurs , finalement le guidage axial du four est assuré par des galets butés qui impriment au four un mouvement axial limité. Dans ce qui suit représente les différents composants du tube sécheur.

II.2.2. Caractéristiques techniques

- **Équipement : Sécheur 07 J F02**
- **Marque : COMESSA**
- **Nombre : 4**
- **Données d'exploitation**
 - Produit Engrais phosphaté : DAP, MAP et TSP
 - Humidité 10% environ pour TSP et 3% environ pour DAP et MAP
 - Température : 101°C maxi à la sortie du sécheur
 - Débit nominal : 360 t/h
 - Densité produit : 0,95 t/m³
 - Charge de produit : 83 tonnes
- **Chambre à combustion**
 - Diamètre : 2000 mm
 - Longueur : 2000 mm
 - Matériau : Brique réfractaire
- **Virole :**
 - Diamètre intérieur : 4000 mm
 - Longueur : 30 300 mm
 - Vitesse de rotation : 3,4 tr/min
 - Coefficient de remplissage : 15.5%
 - Pente 5% (2,86° par rapport à l'horizontal.)
 - Matériaux : En acier du carbone.

- Puissance installée : 375 kw.
- Temps de séjour : 13,87 min.
- Poids : 72234 kg
- **Bandage**
 - Diamètre extérieur : $4650 \pm 0,10$ mm
 - Diamètre intérieur : $4230 \pm 0,10$ mm
 - Tolérance de cylindricité : 0,05
 - Épaisseur : 210 mm
 - Largeur : 520 mm
 - Matière : 42 CD 4 Forgé traité 27-300 daN/mm²
 - Dureté : 270 -300 HB
 - Poids : 11880 kg
- **Galets porteurs**
 - Nombre : 4
 - Largeur : $550 \pm 0,5$ mm
 - Alésage : Ø340 H7
 - Diamètre extérieur : $900 \pm 0,03$ mm
 - Matière : 30 CND 8 Forgé traité 330-360 daN/mm²
 - $R_r = 110 -121 \text{ kg/mm}^2$ (**N.B : $1 \text{ Kg/mm}^2 = 9,806 \text{ Mpa}$**)
 - Dureté HB : 330 – 360 (temps à effectuer poinçonnage galet)
 - Poids : 2290 kg
- **Galets butés**
 - Nombre : 2
 - Diamètre : 717 mm
 - Hauteur de contact : 125 mm
 - Matière : 30 CND 8 traité 110-121 daN/mm²
 - Poids : 2290 kg
- **Pignon**
 - Matière : 42 CD 4 forgé ($R_r = 109 \text{ kg/mm}^2$).
 - Largeur : $b = 450$ mm
 - Angle de pression : 20°
 - Module : $m = 34$

- Nombre dents : $Z = 23$
- Vitesse de rotation : $N = 25,13 \text{ tr/min}$
- Puissance : $P = 486 \text{ kw}$
- Diamètre primitif : 782 mm
- Diamètre de tête : $873,12 \text{ mm}$
- Diamètre de pied : $716,177 \text{ mm}$
- Épaisseur de la dent : $61,82 \text{ mm}$
- Saillie : $45,56 \text{ mm}$
- Creux : $32,913 \text{ mm}$
- Entraxe : 3381 mm
- Poids : 1743 Kg
- **Couronne**
 - Matière : 35 CD 4 moulé ($R_r = 88 \text{ kg/mm}^2$)
 - Angle de pression : 20°
 - Largeur : $b = 450 \text{ mm}$
 - Module : $m = 34$
 - Nombre dents : $Z = 170$
 - Vitesse de rotation : $N = 3,4 \text{ tr/min}$
 - Taillage : Classe 10
 - Puissance : $P = 494 \text{ kw}$
 - Diamètre primitif : 5780 mm
 - Diamètre de tête : $5824,88 \text{ mm}$
 - Diamètre de pied : $5667,933 \text{ mm}$
 - Épaisseur de la dent : $44,99 \text{ mm}$
 - Saillie : $22,44 \text{ mm}$
 - Creux : $56,033 \text{ mm}$
 - Entraxe : 3381 mm
 - Poids : 13000 kg
- **Moteur**
 - Tension : $10 \text{ kv} \pm 10\%$
 - Puissance absorbée : 450 kw
 - Puissance nominale : 400 kw

- Vitesse de Rotation : 1500 tr/min
- Fréquence : 50 Hz $\pm$ 5%
- **Réducteur de virage**
 - Type : SZN 160
 - Entraînement : Moteur électrique vireur
 - Rapport : 10,836
 - Puissance installée : 37 kw
 - Vitesse d'entrée : 1450 tr/min
 - Vitesse de sortie : 134 tr/min
 - Diamètre arbre entrée : 38mm
 - Diamètre arbre sortie : 57mm
 - Long bout d'arbre : 210 mm
 - Puissance nominale : 54 kw
 - Puissance absorbée : 31,4 kw
 - Poids : 145 kg
- **Coupleur**
 - Constructeur : **Voith Turbo**
 - Poids : 358 Kg
 - Puissance hydraulique : 350 kw
 - Vitesse d'entraînement : 1500 tr/min
 - Fluide utilisé : huile hydraulique
 - Couple transmis : 2227 N.m



Figure II.5 : Coupleur Hydraulique Voith

▪ Réducteur principal :



Figure II.6 : Image du Réducteur H3SH 18-3

- Marque : **flendre**.
- Type Arbres parallèle.
- Désignation : H3SH 18-3
 - ♦ **H** : Réducteur à engrenage cylindrique
 - ♦ **3** : Nombre de train
 - ♦ **S** : Arbre Plein
 - ♦ **H** : Horizontal
 - ♦ **18-3** : Taille
- Rapport de réduction : 54,783
- Vitesse d'entrée $N_1 = 1406$ tr/min
- Vitesse de sortie $N_2 = 25,66$ tr/min
- Puissance nominale : 328 Kw.
- Couple Mécanique : 122065 N.m
- Diamètre arbre d'entrée : 140 mm
- Diamètre arbre de sortie : 470 mm
- Diamètre arbre crabot: 210 mm

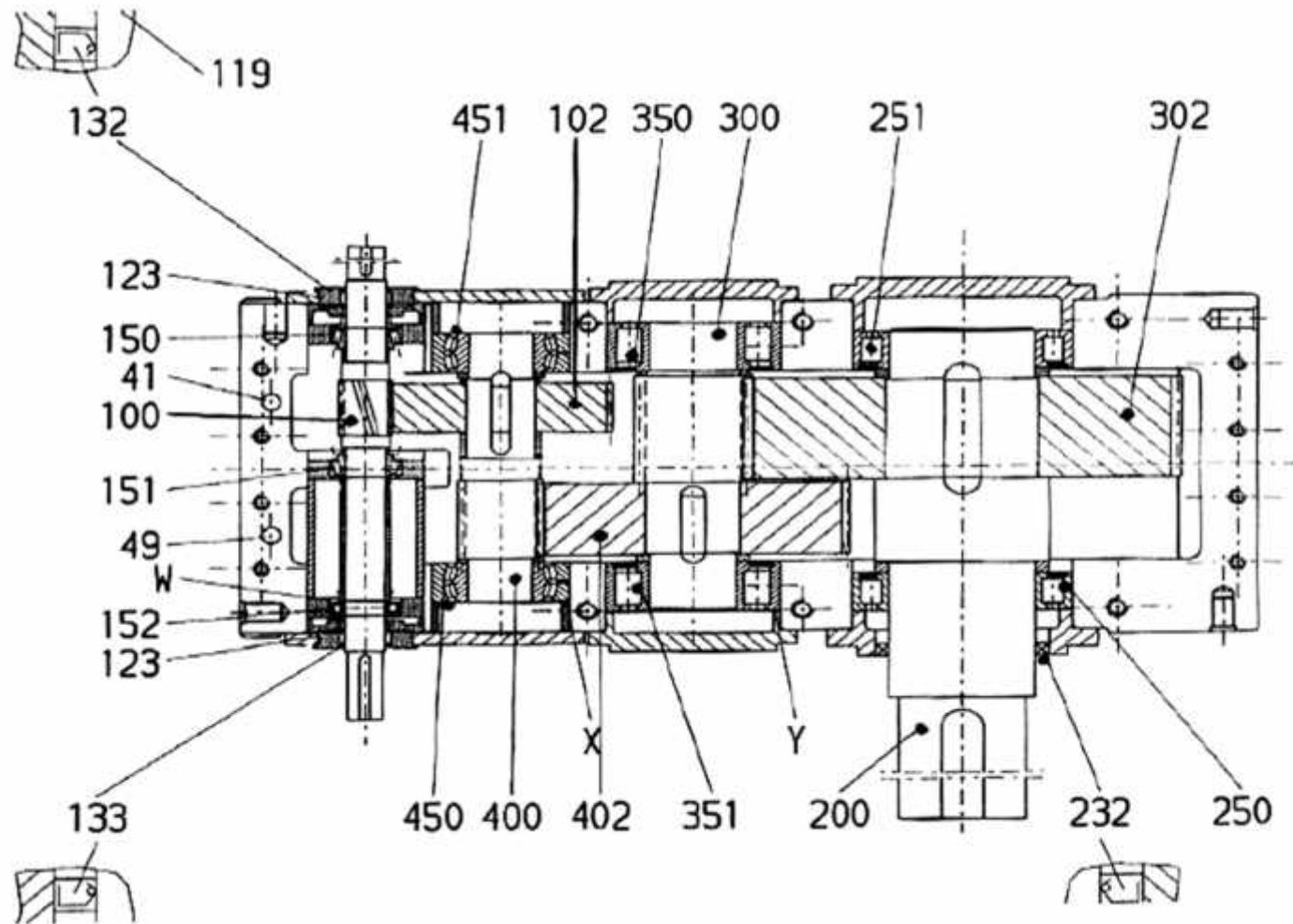
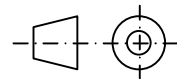


Figure II.7 : Dessin d'ensemble du réducteur

Échelle : 1/1



A4

Série 4



Groupe Office Chérifien de Phosphates
Maroc Phosphore III – IV Jorf Lasfar

Réducteur H3SH 18-3

Flendre

Le : 16/02/2015

Doc N° 1

Tableau II.2 : Nomenclature du réducteur H3SH 18-3

Repères	Désignations	Nombre des dentures
100	Arbre à engrenage cylindrique	$Z_1= 23$
102	Engrenage cylindrique	$Z_2= 72$ et $Z_3= 18$
119	Anneau porte lamelles 80 x 128 x 33	----
123	Joint torique	----
132	Bague à lèvre d'étanchéité 80 x 100 x 10	----
135	Anneau à lamelles	----
150/151	Roulement	----
152	Roulement	----
200	Arbre 330 x 1200,5	----
219	Anneau porte lamelles 280 x 380 x 26	----
232	Bague à lèvre d'étanchéité 280 x 320 x 20	----
235	Anneau à lamelles	----
250/251	Roulement	----
300	Arbre à engrenage cylindrique	----
302	Engrenage cylindrique	$Z_6=72$
350/351	Roulement	----
400	Arbre à engrenage cylindrique	----
402	Engrenage cylindrique	$Z_5=16$ et $Z_4=70$
450/451	Roulement	----

▪ Système de lubrification

Le système de lubrification du tube sécheur au niveau des galets porteurs très simple, est équipé par des réservoirs et des tubes de transmission de l'huile. L'opération de graissage se fait par système de lubrification goutte à goutte avec l'huile perdue.

- Quantité d'huile : 20 l/jours
- Débit : goutte / 3Sec

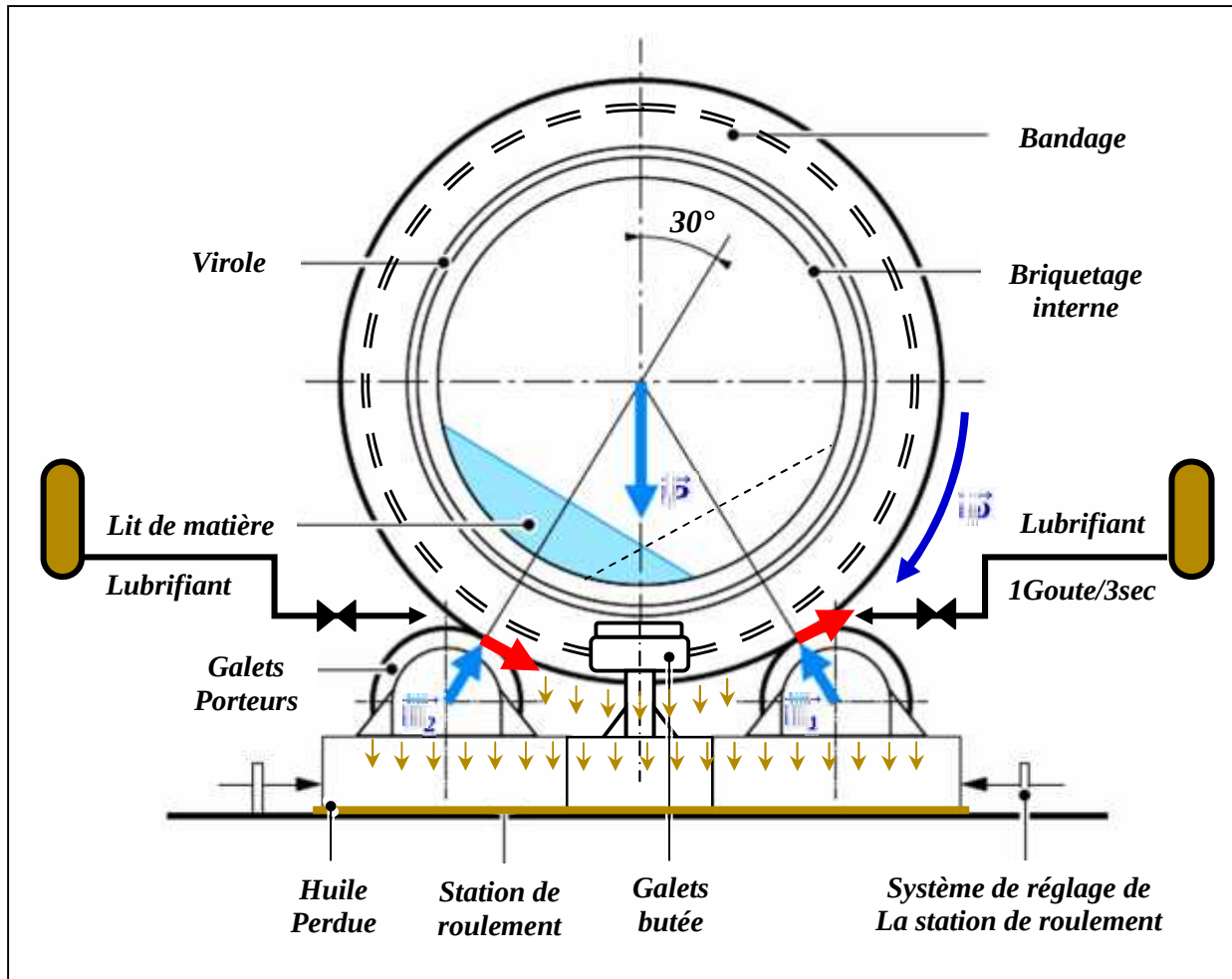


Figure II.8 : Schéma descriptif du système de lubrification actuel

« N.B : Notre travail visait à rénover le système de lubrification du tube sécheur que nous avons présenté ci – dessus»

Conclusion

Durant ce chapitre Nous avons présenté les différents composants de la chaine cinématique d'entraînement du tube sécheur, leurs caractéristiques techniques, le processus général des engrais, ainsi que le système de lubrification actuel. Dans le chapitre suivant on va décortiquer le problème de cisaillement qui engendre les dysfonctionnements majeurs au niveau de la ligne de production.

Introduction

Depuis les dernières années, le système de séchage actuel des lignes de production des engrais, de l'usine *Maroc phosphate* souffre à cause des dysfonctionnements au niveau du réducteur qui sont traduits par le cisaillement de son arbre d'entrée, ces derniers engendrent des pertes économiques très importantes.

Dans le présent chapitre nous allons analyser les différents problèmes mécaniques liés aux arrêts du tube sécheur en évaluant les causes racines probables qui provoquent le cisaillement de l'arbre du réducteur, ainsi que leurs impacts techniques et financiers qui affectent la disponibilité des lignes de production.

III.1. dysfonctionnements constatés

Les sécheurs des lignes de production des engrais sont confrontés aux problèmes de cisaillement, vibrations et usure de leurs équipements. Ce qui provoque enfin des dysfonctionnements majeurs au niveau des organes ci-dessus :

III.1.1. Au niveau des galets et bandages

Lors du fonctionnement du four rotatif (tube sécheur) en pleine production. Les bandages et les galets s'usent suite à la forte concentration des poussières et le mauvais graissage. Cette usure donne lieu et conditions de détériorer les dimensions des galets et bandages, à savoir réduction du diamètre extérieur, cela provoque une vibration du tube sécheur qui affronte une usure du mécanisme galets – bandages en fin vibration de l'ensemble.

Les conditions d'usure les plus courantes sont les modèles concaves et convexes d'usure où le bandage s'use dans un modèle de type couronné et les galets porteurs s'usent d'une façon uniforme comme le bandage lisse repose sur lui. Cela signifie que le bandage lisse a été bloqué mécaniquement en place car il s'use dans les galets et ne peut se déplacer très bien dans un sens ou dans l'autre. Cela peut également conduire à d'autres problèmes de poussée.

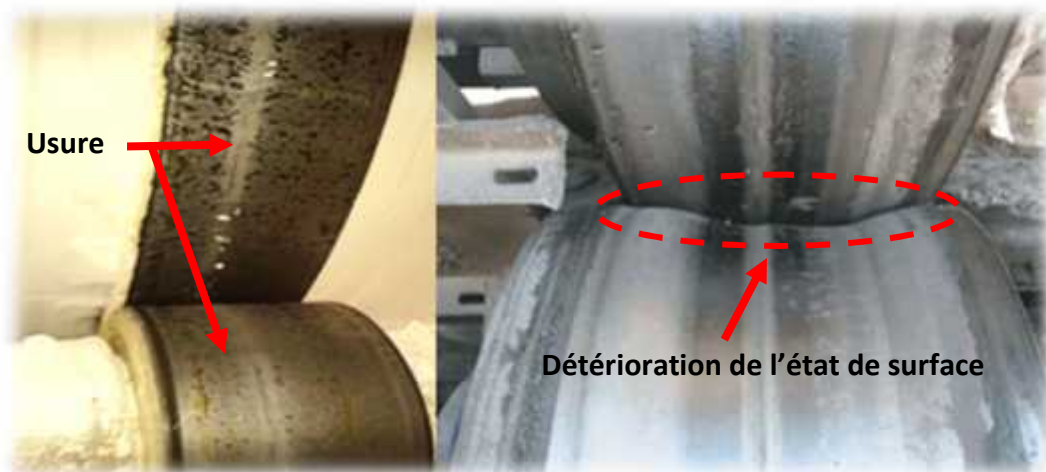


Figure III.1 : Problème du groupe galets – bandages par effet de l'usure

III.1.2. Au niveau du réducteur

Pendant la production, le sécheur arrête brusquement, à cause d'un problème qui devient fréquent depuis le changement de la cadence de production. Il s'agit de cisaillement de l'arbre d'entrée du réducteur d'entraînement du sécheur. Il faut préciser cependant que le temps de bon fonctionnement recommandé par les constructeurs est de cinq ans, mais dans le cas réel il tombe en panne chaque six mois à cause du cisaillement de cet arbre. **Annexe I.**



Figure III.2 : Cisaillement de l'arbre d'entrée du réducteur



Figure III.3 : Demi-manchon cisailé du réducteur

III.2. Évaluation des pertes économiques

Le problème de cisaillement de l'arbre d'entrée du réducteur d'entraînement du tube sécheur de l'usine *Maroc Phosphore* est à l'origine de pertes économiques très importantes. Cette affirmation sera mise en évidence dans ce qui suit. Ces pertes sont dues principalement aux arrêts fortuits des lignes de production. Nous allons tout d'abord évaluer les pertes économiques causées par le problème de cisaillement de l'arbre d'entrée du réducteur depuis 2010 jusqu'à 2014 en calculant :

- Les pertes économiques causées par le cisaillement de l'arbre d'entrée.
 - Montant des pièces de rechanges.
 - Coût des interventions (Main d'œuvre & consommables).
 - Charges fixes liées à la maintenance.
- Les pertes économiques dues aux arrêts fortuits suite au problème du cisaillement.
 - Au niveau d'atelier des Engrais.

Ces données ont été relevées des cahiers de marche des lignes de production des *Engrais*.

III.2.1. Les pertes économiques causées par le cisaillement [Réf : 3]

Le cisaillement de l'arbre d'entrée du réducteur des cinq dernières années, a engendré des pertes économiques annuelles très importantes. L'estimation de ces pertes est reprise dans le tableau ci-dessous :

Tableau III.1 : Moyenne des pertes annuelles causées par le cisaillement

Libellé	Montant (KDH)
Montant des PDR	240
Coût des interventions	64
Charges fixes liées à la maintenance	12
Total	316

N.B : 1KDH = 10³ DH

III.2.2.Pertes économiques dues aux arrêts fortuits

Nous nous sommes basés sur les fichiers historiques des arrêts fortuits du tube sécheur suite au problème rencontré (*cisaillement d'arbre d'entrée du réducteur*) au sein de l'atelier Engrais depuis 2010 jusqu'à 2014. Cela a pour objet de calculer les manques à gagner engendrés par les indisponibilités des lignes de production.

Tableau III.2 : Prix unitaires (P.U) des produits engrais

Produit engrais	Montant
MAP	470 \$/Tonne = 4,23 KDH / Tonne
DAP	530 \$/Tonne = 4,77 KDH / Tonne
TSP	340 \$/Tonne = 3,06 KDH / Tonne
Prix moyen	4,02 KDH / Tonne
Productible moyenne annuelle « A »	2,4 MT / an

N.B : 1\$ = 9DH

Nous avons défini le taux d'arrêt par le ratio suivant :

$$T_r = \frac{\text{Heures d'arrêt annuelles}}{\text{Heures totale annuelles}} \quad (3.1)$$

Nous avons pris en compte les heures totales annuelles de marche sont de **8000** heures/an, **760** heures estimés pour les arrêts programmés, maintenance systématique...etc.

- **Le coût de la main d'œuvre :**

$$\text{Le coût M.O} = \text{Unité d'œuvre} \times \text{Temps actif} \times \text{N}^{\text{br}} \text{ des agents} \quad (3.2)$$

- **Manque à gagner au niveau des engrais :**

$$\text{MAG} = (\text{P.U}_{\text{produit}}) * \text{A} * \text{T}_a \quad (3.3)$$

Tableau III.3 : Les pertes économiques au niveau des lignes de production

<i>Année</i>	<i>Nombre d'arrêt</i>	<i>Nombre des heures d'arrêt</i>	<i>Taux d'arrêt</i>	<i>Manque à gagner en production engrais (KDH)</i>	<i>Coût de la main d'œuvre (KDH)</i>	<i>Total (KDH)</i>
2010	8	48	0,60%	57888,00	25,92	57913,92
2011	7	45	0,56%	54270,00	22,68	54292,68
2012	8	56	0,70%	67536,00	25,92	67561,92
2013	9	54	0,68%	65124,00	29,16	65153,16
2014	7	43	0,54%	51858,00	22,68	51880,68
Moyenne annuelle						59360,47

Tableau III.4 : Récapitulatif des pertes engendrées par cette problématique

<i>Les pertes économiques annuelles</i>	<i>Montant en (KDH)</i>
Les pertes économiques causées par le cisaillement de l'arbre d'entrée du réducteur	316
Pertes économiques dues aux arrêts des lignes de production	59360,47
Total	59676,47

III.3. Évaluation et analyse des causes racines

III.3.1. Diagramme Ishikawa initial

On déduira les causes majeures influant sur le système d'entraînement du sécheur, qui ont affecté la disponibilité des les lignes de production.

- **Effet recherché** : Cisaillement d'arbre d'entrée du réducteur H3SH 18-3.
- **Mode opératoire** : Regrouper et lister les différentes causes majeurs par famille.
 - **Matériel,**
 - **Méthode,**
 - **Matière,**
 - **Milieu,**
 - **Main d'œuvre. (Cf. Figure III.4)**

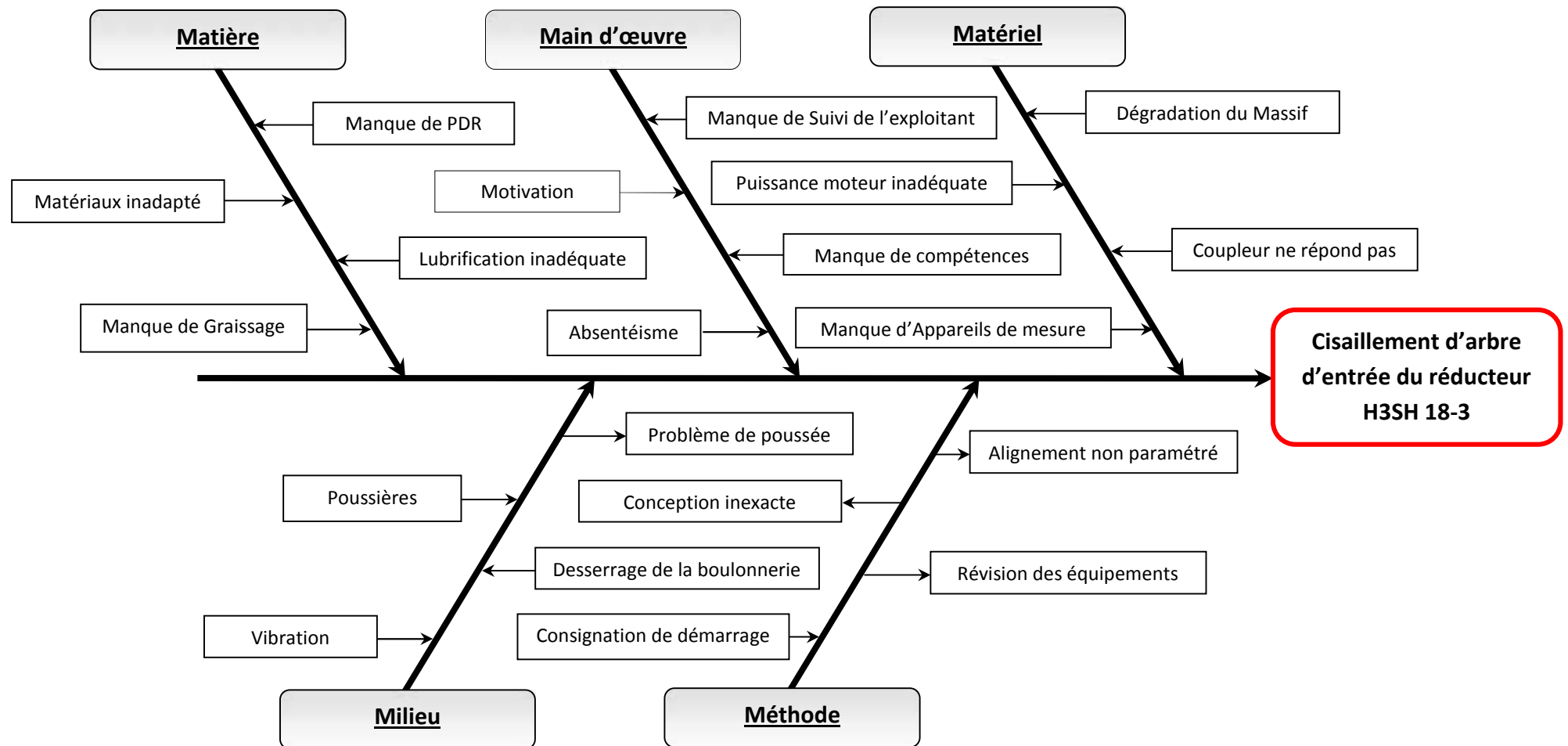


Figure III.4 : Diagramme Ishikawa traite l'ensemble des causes probables qui peuvent provoquer le cisaillement de l'arbre d'entrée du réducteur d'entraînement du sécheur.

III.3.2. Analyse Pareto

L'objectif de cette partie est l'établissement d'une étude statistique portant la fréquence de chaque panne. Les résultats de cette analyse nous aideront à déduire les principales causes affectant les réducteurs d'entraînement des sécheurs pour les lignes de production des engrais. A cet effet, l'étude sera faite à base du fichier historique des interventions des cinq dernières années depuis 2010 jusqu'au 2014.

Le tableau et le graphique suivants montrent les proportions des différentes causes dues aux dysfonctionnements constatés au niveau des réducteurs.

Tableau III.5 : Répartition des causes qui affectent les réducteurs

Type de la cause	Fréquence	(%) de la Fréquence	Cumulé	(%) Cumulé
Vibration	62	36,05%	62	36,05%
Mauvaise fixation des organes de transmission	41	23,84%	103	59,88%
Arbre tordu, fléchi ou cassé	38	22,09%	141	81,98%
Défaut d'alignement	20	11,63%	161	93,60%
Denture trop usée ou cassée	3	1,74%	164	95,35%
Roulements défectueux	3	1,74%	167	97,09%
Bague cassée ou trop usée	2	1,16%	169	98,26%
Introduction d'une pièce étrangère entre engrenage	2	1,16%	171	99,42%
Mauvais réglage du jeu d'engrènement	1	0,58%	172	100,00%
Total	172	100,00%	172	100,00%

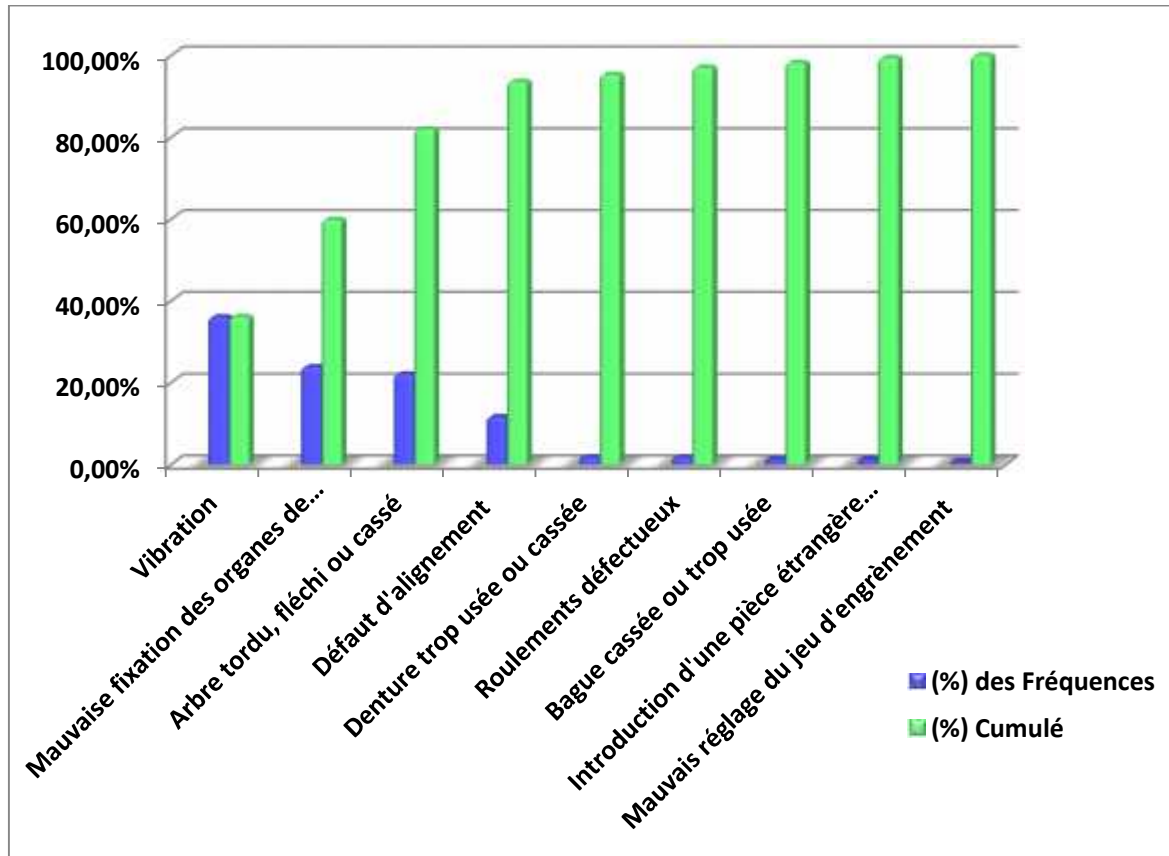


Figure III.5 : Diagramme PARETO des causes qui affectent les réducteurs

On remarque que les principales causes provoquant le phénomène de cisaillement et qui représente **80%** sont :

1. Vibration ;
2. Mauvaise fixation des organes de transmission ;
3. Arbre tordu, fléchi ou cassé.

III.3.2. Analyse des résultats

D'après cette analyse, la cause répétitive parmi les trois est de la vibration (35%). Alors pour palier à la solution adéquate il faut chercher les différentes causes racines qui provoquent la vibration. Généralement les causes qui engendrent la vibration des réducteurs sont :

- Vibration du système ;
- Désalignement excessif des arbres ;
- Vibration d'autre élément de la structure ;
- Massif non approprié ;
- Excentration magnétique du moteur
- Mauvais montage ;
- Lubrifiant inadéquat.

III.3.4. Diagramme Ishikawa final

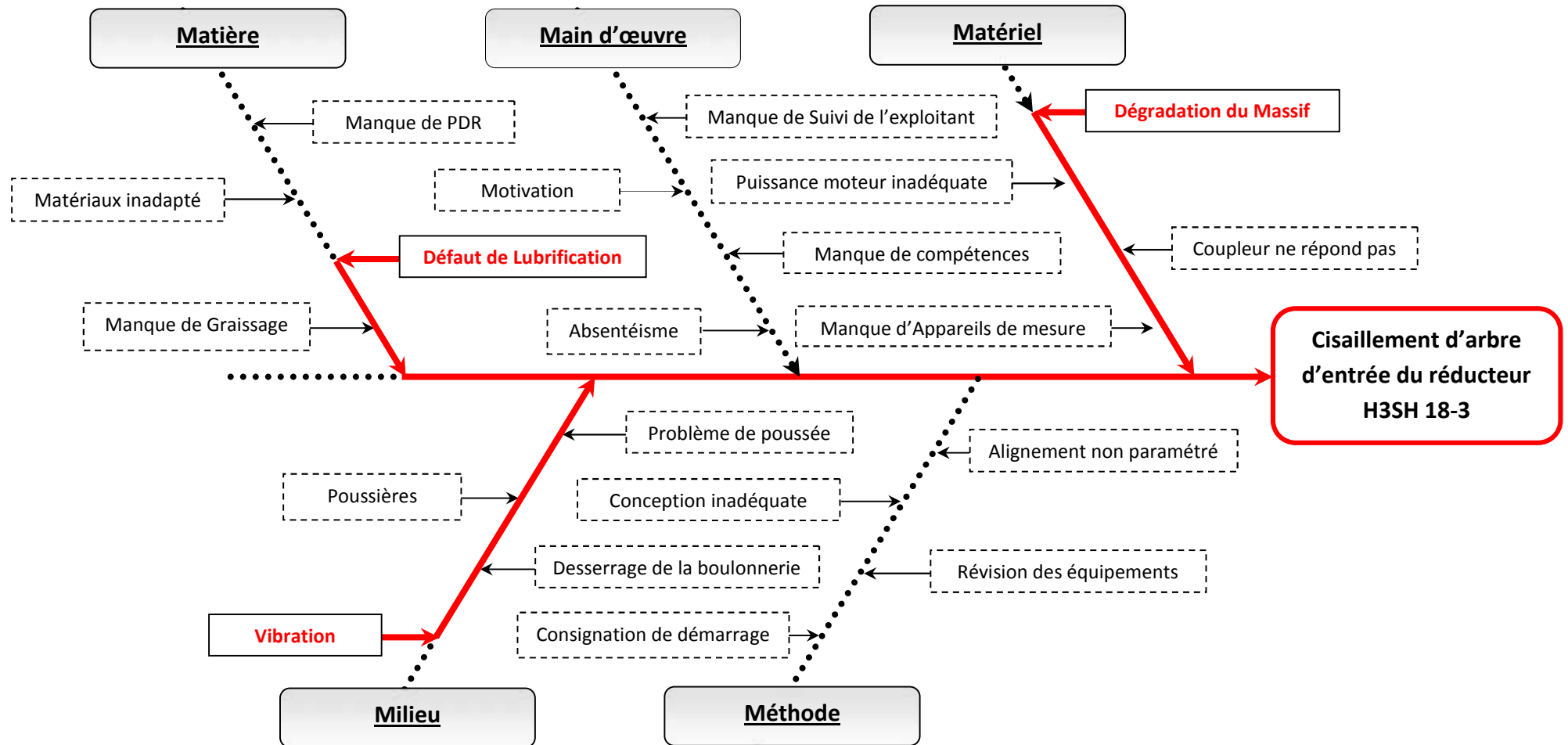


Figure III.6 : Diagramme Ishikawa trait les problèmes exacts qui causent le cisaillement de l'arbre d'entrée du réducteur d'entraînement du sécheur.

III.3.5. Explication des résultats

Les vibrations de la virole peuvent provenir d'un défaut de graissage de la couronne, ou du groupe galets – bandages (Vibrations continues), ou d'un dérèglement de galets, ou des pignons (vibration cyclique), ou d'une avarie de roulements, ou de la présence d'un corps étranger entre partie mobile et partie fixe.

Concernant le graissage de la couronne et pignon se fait quotidiennement tandis que la lubrification du groupe galets – bandages est mal effectuée puisque ils ont augmenté la vitesse de rotation du tube sécheur (augmentation de la cadence de production) sans penser à modifier le système de lubrification, Cela provoque la détérioration de l'état de surface des galets. Par conséquent la vibration du système entier, d'autre part le massif été attaqué par les rejets d'huile de lubrification (mise en service depuis 1986), ce qui engendre le desserrage de la boulonnerie de fixation du châssis support.

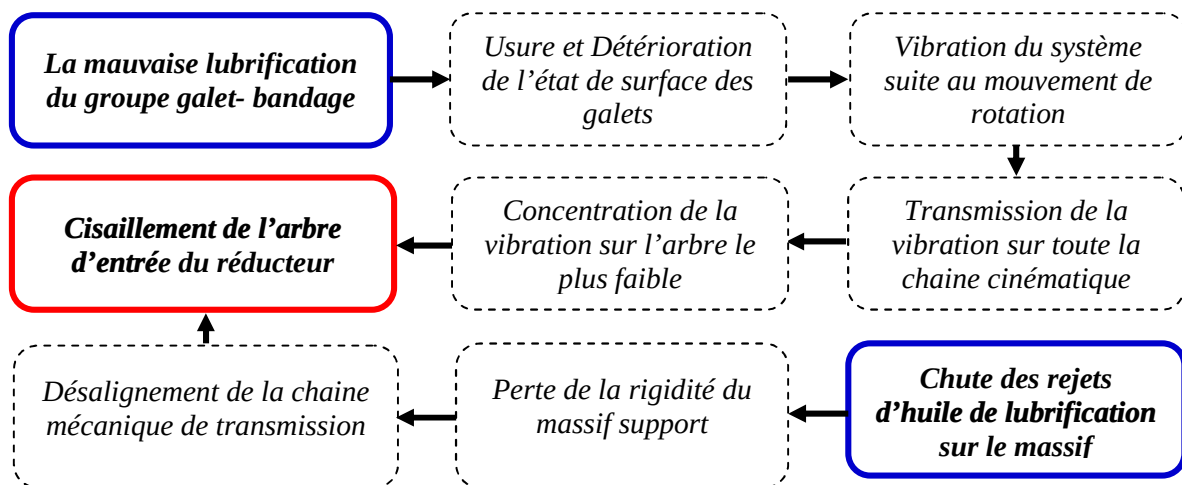


Figure III.7 : Récapitulative des causes qui engendrent le cisaillement

D'après le diagramme de causalité ci-dessus on voit que la cause racine qui provoque le cisaillement de l'arbre d'entrée du réducteur ce n'est que la mauvaise lubrification des galets. La rénovation de cette dernière augmentera certainement la fiabilité du sécheur et par conséquent la disponibilité des lignes de production.

III.5. Démarche de résolution

Pour palier à la dégradation de la fiabilité du système mécanique d'entraînement du tube sécheur des engrais DAP, MAP et TSP, il faut donc modifier et améliorer le système de lubrification du groupe galets – bandages pour les sécheurs des lignes de production. Ci-joint le diagramme de résolution permet, par un questionnement, d'aboutir aux solutions constructives associées. (Cf. **Figure III.8**)

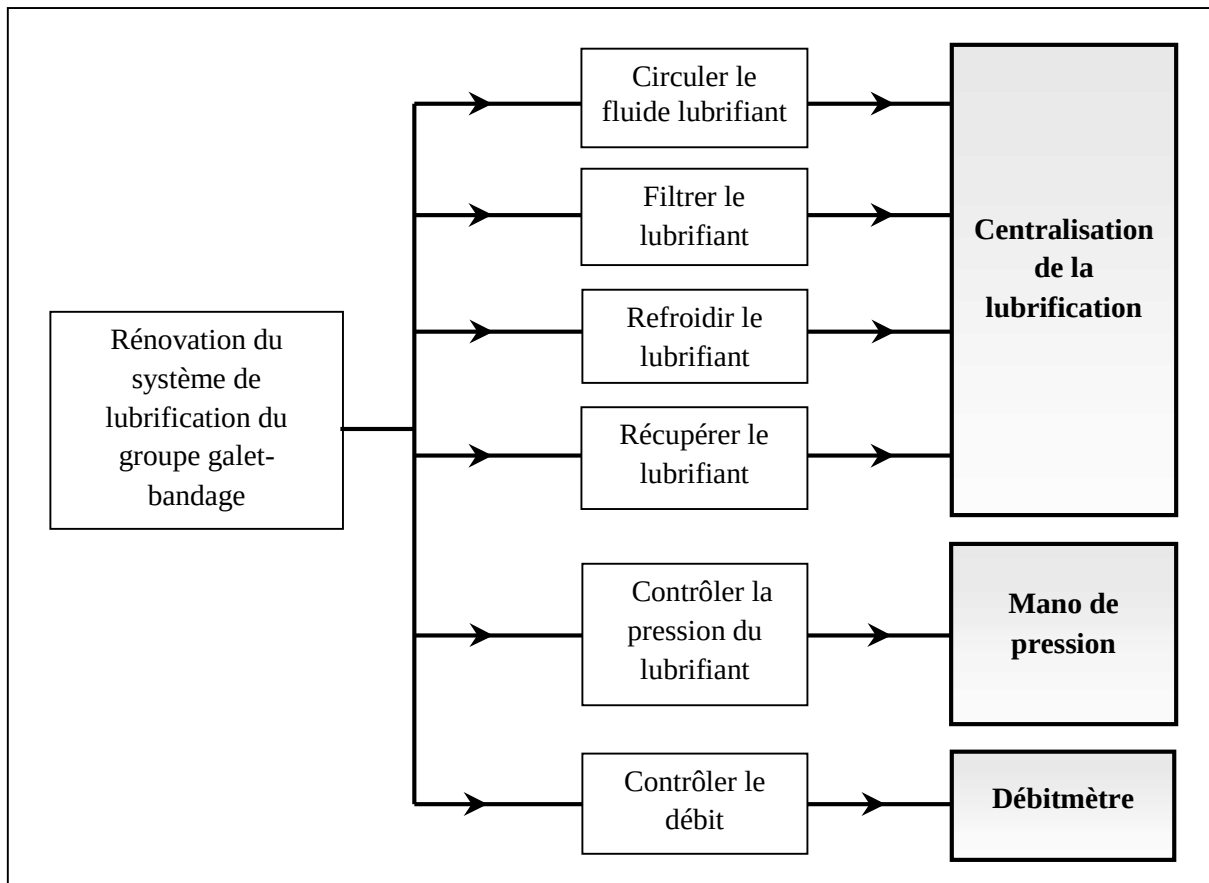


Figure III.8 : Démarche à suivre pour la résolution du problème

Conclusion

Durant ce chapitre, nous avons commencé par une description des dysfonctionnements au niveau du système mécanique d'entraînement du tube sécheur et leurs impacts sur la production, ensuite nous avons fait une analyse pour déterminer les causes racines du problème et finalement nous avons procédé à la démarche à suivre pour la résolution. Dans le chapitre suivant on va attacher les outils et les concepts à utiliser afin de générer la solution adéquate.

Introduction

Ce chapitre est dédié à la présentation des concepts que nous allons utiliser dans le chapitre des solutions et recommandations proposées, dans la partie de dimensionnement des sous ensembles du circuit de lubrification proposé.

IV.1. Mécanique de contact [Réf 4]

▪ Contrainte d'hertz

$$\sigma_{max} = 0,59 \frac{q E_1 E_2 (R_1 + R_2)}{R_1 R_2 (E_1 + E_2)} \quad (4.1)$$

- E_i : Modules de young (Gpa)
- R_i : Rayons des cylindres (mm)
- q : Charge par unité de largeur (N/mm)

▪ Critère de dimensionnement

$$\sigma_{max} < \sigma_{adm(matériau)}$$

IV.2. Mécanique et énergétique [Réf 5]

IV.2.1. Transfert thermique

Les échangeurs thermiques sont nécessaires dans plusieurs types d'industrie : Chauffage et Froid, Pétrochimie, Chimie, Agroalimentaire, Papeterie et Environnement. Les échangeurs thermiques doivent présenter une grande surface d'échange de chaleur sous un volume externe le plus réduit possible. Pour ces types d'échangeurs, l'échange thermique se fait généralement entre deux fluides distincts.

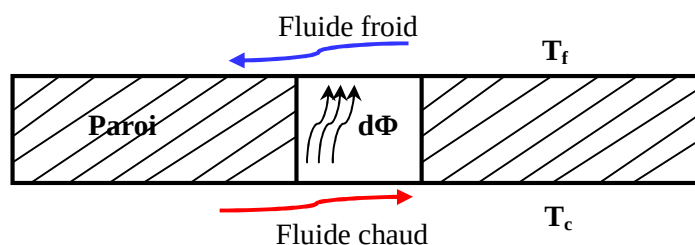


Figure IV.1 : le flux thermique à travers une paroi

IV.2.2. Dimensionnement par méthode DLMT

Chaque dimensionnement d'un système de refroidissement demande d'établir une étude thermique. Cas où l'échangeur est à dimensionner :

Les débits des fluides chauds et froids et leurs températures sont connus à l'entrée et à la sortie. L'objectif consiste alors à déterminer:

- La surface d'échange requise, la longueur d'échangeur et le flux transféré.
- La géométrie appropriée en fonction du type d'échangeur.

▪ **Le flux de chaleur au travers d'une paroi en watt (j/s):**

$$d\Phi = \frac{dQ}{dt} = K \cdot (T_c - T_f) \cdot ds \quad (4.2)$$

- $d\Phi$: Flux élémentaire
- T_c : Température chaude
- T_f : Température froide
- ds : Surface élémentaire
- K : Coefficient de transfert de chaleur

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} + \frac{e}{\lambda} \quad (4.3)$$

- a_1 : Coefficient de convection fluide chaud - paroi
- a_2 : Coefficient de convection fluide froid - paroi
- λ : Coefficient de conduction linéaire
- e : Épaisseur de la paroi.

▪ **Le flux thermique cédé ou reçu :**

le flux thermique traversant une paroi d'un échangeur est donné par la formule suivante :

$$d\Phi = - \dot{m}_c C_{pc} dT_c = + \dot{m}_f C_{pf} dT_f \quad (4.4)$$

▪ **Bilan total d'énergie :**

$$\Phi = \dot{m}_c C_{pc} (T_{ce} - T_{cs}) = \dot{m}_f C_{pf} (T_{fs} - T_{fe}) \quad (4.5)$$

- Φ : flux thermique
- $\dot{m}$: débit massique
- T_{ce} : Température chaude d'entrée
- T_{cs} : Température chaude de sortie
- T_{fe} : Température froide d'entrée
- T_{fs} : Température froide de sortie
- C_{pc} : Chaleur massique du fluide chaud
- C_{pf} : Chaleur massique du fluide froid

IV.3. Mécanique des fluides [Réf 6]

Dans la présente étude nous allons travailler que le fluide était parfait pour appliquer l'équation de conservation de l'énergie. L'écoulement d'un fluide réel est plus complexe que celui d'un fluide idéal.

IV.3.1. Régime d'écoulement et nombre de Reynolds

Les expériences réalisées par *Reynolds* lors de l'écoulement d'un liquide dans une conduite cylindrique rectiligne dans laquelle arrive également un filet de liquide coloré, ont montré l'existence de deux régimes d'écoulement laminaire et régime turbulent.

En utilisant divers fluides à viscosités différentes, en faisant varier le débit et le diamètre de la canalisation, Reynolds a montré que le paramètre qui permettait de déterminer si l'écoulement est laminaire ou turbulent est un nombre sans dimension appelé nombre de Reynolds donné par l'expression suivante:

$$R_e = \frac{V \cdot D}{\nu} \quad (4.6)$$

- V : Vitesse moyenne d'écoulement à travers la section considérée en (m/s)
- d : Diamètre de la conduite ou largeur de la veine fluide en (m).
- ν : Viscosité cinématique du fluide (m^2/s).

▪ Résultats empirique à titre indicatif :

- Si $R_e < 2000$ l'écoulement est laminaire
- Si $R_e > 2000$ l'écoulement est turbulent

- Lisse si $2000 < R_e < 100000$
- Rugueux si $R_e > 100000$

IV.3.2. Conservation de masse

Principe de conservation de masse entre deux points :

Donc
$$\boxed{dm_1 = dm_2 = dm} \rightarrow \boxed{Q_{v1} = Q_{v2} = Q_v} \quad (4.7)$$

IV.3.3. Théorème de Bernoulli

▪ Équation de Bernoulli

Considérons un écoulement entre deux points (1) et (2) d'un fluide réel dans une conduite, tel qu'entre les points (1) et (2) il n'y ait pas de machine hydraulique.

$$\boxed{Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho g} = Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho g} + \Delta H_{12}} \quad (4.8)$$

- **P** : Pression (Pa)
- **V** : Vitesse d'écoulement (m/s)
- **Z_A** : La hauteur en (m)
- **ρ** : Masse volumique (Kg/m³)
- **g** : Accélération de la pesanteur (m/s²)
- **ΔH₁₂** : les pertes de charges entre (1) et (2).

▪ Équation de Bernoulli généralisé

Considérons un écoulement entre deux points (1) et (2) d'un fluide réel dans une conduite, On suppose éventuellement, qu'il existe entre (1) et (2) des machines hydrauliques.

$$\boxed{\frac{1}{2} V_2^2 - V_1^2 + \frac{1}{\rho} P_2 - P_1 + g Z_2 - Z_1 = J_{12} \pm \frac{P_n}{\rho Q_v}} \quad (4.9)$$

- **J₁₂** : les pertes de charges entre (1) et (2).
- **P_n** : Puissance mécanique échangée de la machine (w)

- Q_v : Débit volumique (m^3/s)
- $\pm$: Énergie reçu ou cédé

IV.3.4. Les pertes de charges

- Perte de charge exprimée en (m)

$$\Delta H_{12} = \Delta H_{Linéaire} + \Delta H_{Singulière} \text{ (m)} \quad (4.10)$$

Avec :

$$\Delta H_L = \lambda \frac{V^2 L}{2g D} \text{ (m)} \quad (4.11)$$

$$\Delta H_S = K_s \frac{V^2}{2g} \text{ (m)} \quad (4.12)$$

- Perte de charge exprimée en (j/kg) :

$$I_{12} = I_{Linéaire} + I_{Singulière} \text{ (J/kg)} \quad (4.13)$$

Avec :

$$I_L = \lambda \frac{V^2 L}{2 D} \text{ (J/kg)} \quad (4.14)$$

$$I_S = K_s \frac{V^2}{2} \text{ (J/kg)} \quad (4.15)$$

- Perte de charge exprimée en (Pa) :

$$\Delta P_{12} = \Delta P_{Linéaire} + \Delta P_{Singulière} \text{ (Pa)} \quad (4.16)$$

Avec :

$$\Delta P_L = \lambda \rho_f \frac{V^2 L}{2 D} \text{ (Pa)} \quad (4.17)$$

$$\Delta P_S = K_s \rho_f \frac{V^2}{2} \text{ (Pa)} \quad (4.18)$$

- Perte de charge exprimée en (MCE) :

$$\Delta P_{12} = \Delta P_{Linéaire} + \Delta P_{Singulière} \text{ (MCE)} \quad (4.19)$$

Avec :

$$\Delta P_L = \lambda \frac{\rho_f V^2 L}{\rho_e 2g D} \text{ (MCE)} \quad (4.20)$$

$$\Delta P_S = K_s \frac{\rho_f V^2}{\rho_e 2g} \text{ (MCE)} \quad (4.21)$$

- **L** : Longueur de la conduite (m)
- **D** : Diamètre de la conduite (m)
- **ρ_f** : Masse volumique de fluide (m/s^2)
- **ρ_e** : Masse volumique de l'eau (m/s^2)
- **λ** : Coefficient de perte de charge linéaire. Il dépend du régime d'écoulement et notamment du nombre de Reynolds **Re**.

- Dans un régime d'écoulement laminaire : **Re < 2000**

(Formule de Poiseuille) :

$$\lambda = \frac{R_e}{64} \quad (4.22)$$

- Dans un régime d'écoulement turbulent lisse : **2000 < Re < 10⁵**

(Formule de Blasius) :

$$\lambda = 0,316 \cdot R_e^{-0,25} \quad (4.23)$$

- Dans un régime d'écoulement turbulent rugueux : **Re > 10⁵**

(Formule de Blench) :

$$\lambda = 0,79 \cdot \frac{\overline{\varepsilon}}{d} \quad (4.24)$$

avec :

- **ε** : rugosité de la surface interne de la conduite (mm)
- **d** : diamètre intérieur de la conduite (mm)

Parfois, on lit la valeur de λ sur un abaque établie par *Moody*.

Les formules exposées dans cette partie relatives aux pertes de charge constituent un outil de calcul grossier permettant d'obtenir des valeurs approximatives. Même s'il demeurerait grossier, il serait néanmoins très utile pour une tâche de conception ou l'on privilégie la simplicité et la rapidité d'exécution quitte à perdre un peu de précision.

IV.4. Régulation industrielle

La régulation électronique est la technique de la conception d'un système purement électronique (analogique ou numérique) capable de réguler autres systèmes sans l'intervention de l'être humain, C'est un mécanisme automatique qui élabore un signal de commande en fonction de l'écart de réglage selon un algorithme donné.

IV.4.1 Généralités

- **Systèmes linéaire** : Un système est dit linéaire lorsqu'il peut être défini par un ensemble d'équations différentielles linéaires à coefficients constants. C'est le cas du système que nous étudions.
- **Entrée** : les entrées d'un système sont des variables susceptibles d'être changées ou contrôlées par moyens externes mis à la disposition de l'ingénieur en automatique. Dans notre système l'entrée sera le débit d'eau admis dans la turbine.
- **Sortie** : ce sont les variables mesurables et dont les valeurs donnent une indication sur les performances du processus. Ici nous nous intéressons à la vitesse de la turbine et la fréquence.
- **Le Processus** est soumis aux excitations constituées par l'entrée de référence et les perturbations. Il y répond par une grandeur qui lui est propre. Cette grandeur porte le nom de grandeur asservie ou grandeur réglée.
- **Le capteur** donne une image utilisable de la grandeur réglée : la nature de cette mesure est le plus souvent électrique : un capteur doit donner une image fidèle de la grandeur réglée.
- **Le régulateur** est composé de deux parties :
 - **le comparateur** qui reçoit l'information de référence et la grandeur mesurée dont il fait la différence ϵ appelée Ecart ou erreur.
 - **le correcteur** dont le rôle sera d'éliminer cet écart, quelles que soient les perturbations et d'amener le processus à réagir le plus rapidement, quelles que soient les variations de l'entrée de référence ou les perturbations, c'est l'organe intelligent du système asservi.
- **L'actionneur** reçoit du régulateur la grandeur réglante et l'amplifie en puissance, c'est le muscle de la chaîne qui va piloter l'évolution du processus (par exemple moteur, vérin, vanne, ..., etc.)
- **Un système asservi** comporte outre une chaîne de commande avec amplification de puissance. Une chaîne de retour et un outil de comparaison.

IV.4.2. Schéma de structure :

On peut schématiser le principe de la régulation dans la structure suivante :

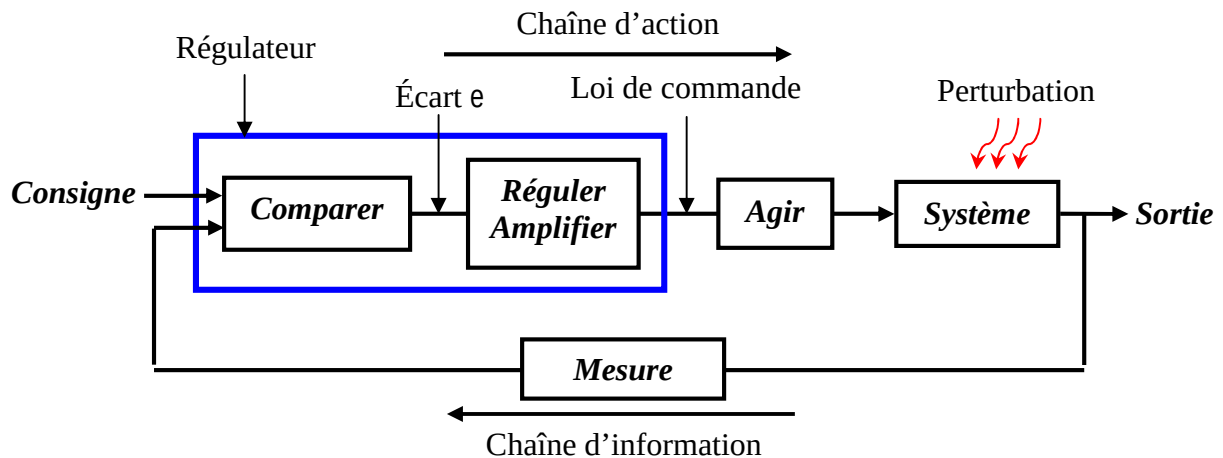


Figure IV.2 : Architecture d'un système asservi

La régulation regroupe l'ensemble des moyens matériels et techniques mis en œuvre pour :

- Maintenir une grandeur commandée égale à une valeur de référence, appelée consigne, malgré les variations des conditions extérieures (les perturbations); c'est le problème de régulation ou de maintien.
- Faire suivre à une grandeur commandée une trajectoire consigne; c'est le problème d'Asservissement ou de Suivi. Les deux notions sont souvent confondues car les méthodes d'étude et matériel sont communs, d'où l'emploi indifférent des termes régulation et asservissement pour désigner la structure du système commandé.

IV.4.3. Méthodologie d'étude des systèmes asservis

La démarche à suivre est décomposée en quatre étapes principales :

▪ Modélisation du système

Cette étape très importante permet d'obtenir un équivalent mathématique du système étudié dans la phase de fonctionnement considérée. Étant donné qu'il serait difficile d'obtenir un modèle aux performances telles qu'il décrivait adéquatement les besoins et le comportement d'un système.

Nous développerons pour notre part un modèle linéaire en considérant que l'on a de faibles variations autour d'un point de fonctionnement.

Nous présenterons par la suite des méthodes de modélisation du système :

▪ Choix du type de commande

Le choix de la commande (continue ou échantillonnée) intervient sur les choix matériels. En particulier lorsque le processus existe déjà et que l'on désire améliorer son comportement en boucle fermée.

▪ Synthèse du correcteur

Cette étape consiste à choisir les caractéristiques d'un correcteur pour que la fonction de transfert en boucle fermée soit une fonction de transfert convenable que l'on s'impose à priori. Un système asservi doit être suffisamment robuste pour garantir trois critères de performance : stabilité, précision et rapidité.

Les formes les plus courants qui s'ajoutent à l'action proportionnelle sont : L'action intégrale qui assurera une bonne précision et l'action dérivée qui assurera un temps de réponse correct. Ces actions s'effectuent en général sur le signal d'erreur.

▪ Simulation

Cette étape importante dans le processus d'étude du système asservi permet de tester les performances du système. Cette démarche se fait à l'aide du logiciel de simulation *Matlab/Simulink*.

IV.4.4 Les différents types d'implémentations d'un régulateur PID

Trois implémentations sont possibles : implémentation Série, Parallèle et Mixte :

▪ Structure du PID Série

Il existe un lien fort entre les paramètres puisque le réglage de l'action Proportionnelle G_r influe (par exemple) sur l'action Intégrale et que T_i influe sur l'action Proportionnelle.

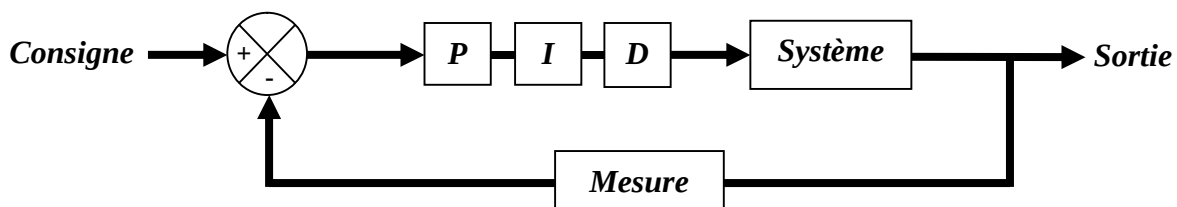


Figure IV.3 : Structure PID Série

Le calcul en série donne la fonction de transfert suivante :

$$S = G_r \frac{T_i + T_d}{T_i} \varepsilon + \frac{G_r}{T_i} \varepsilon dt + G_r \times T_d \frac{d\varepsilon}{dt} \quad (4.25)$$

▪ Structure du PID parallèle

Une grande liberté de choix de réglages est offerte. Malgré tout, cette structure est peu utilisée car plus complexe à régler.

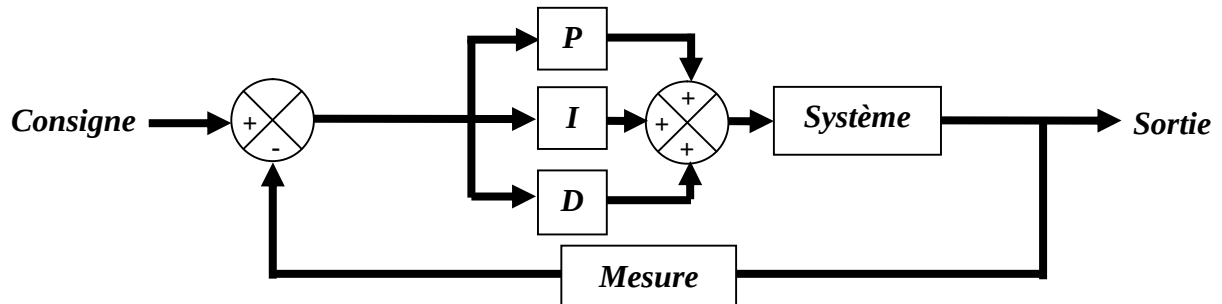


Figure IV.4 : Structure PID parallèle

Le calcul est réalisé en parallèle et une somme est effectuée sur les différentes contributions pour avoir la commande à appliquer.

$$S = G_r \varepsilon + \frac{1}{T_i} \int \varepsilon dt + T_d \frac{d\varepsilon}{dt} \quad (4.26)$$

▪ Structure du PID Mixte

C'est la configuration la plus répandue dans le domaine industriel, facile à régler

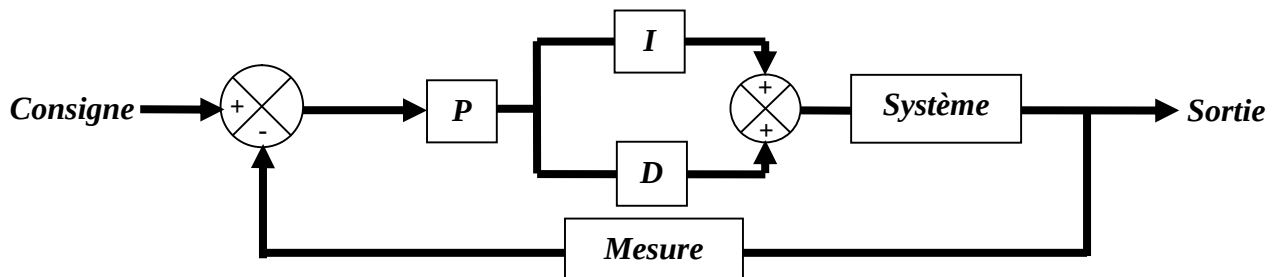


Figure IV.5 : Structure PID mixte

Le calcul est réalisé en parallèle pour les contributions Intégrale et Dérivée et la somme de ces actions est mise en série avec la contribution proportionnelle. C'est la structure la plus classique.

$$S = G_r \varepsilon + \frac{G_r}{T_i} \int \varepsilon dt + G_r * T_d \frac{d\varepsilon}{dt} \quad (4.27)$$

Récapitulatif de l'action des coefficients :

Tableau IV.1: Influence des coefficients d'un PID sur un système

<i>Coefficients des actions</i>	<i>Temps de montée</i>	<i>Temps de stabilisation</i>	<i>Dépassement</i>	<i>Erreur statique</i>
<i>Action proportionnelle K_p</i>	Diminue	Augmente	Augmente	Diminue
<i>Action intégrale K_i</i>	Diminue	Augmente	Augmente	Annule
<i>Action dérivée K_d</i>	Pas d'influence	Diminue	Diminue	Pas d'influence

IV.4.5. Paramétrage du PID

Le réglage d'un PID consiste à trouver les meilleurs coefficients G_r , T_i et T_d dans le but d'obtenir une réponse adéquate du procédé et de la régulation. L'objectif est d'être robuste, rapide et précis tout en limitant les dépassements.

Pour régler le PID on peut appliquer la méthode de **Ziegler – Nichols** qui reste la plus répandue tenant compte de sa simplicité. Cette méthode empirique est très répandue dans l'industrie ou chez les électromécaniciens pour régler les correcteurs de ce type de chaîne. Elle a l'avantage de ne pas nécessiter de modélisation précise du système asservi, mais se contente d'essais expérimentaux, ce qui rend cette méthode très simple. On relève les valeurs de τ et T à partir de la courbe de réponse du système et on applique les relations suivantes pour trouver les différents coefficients du régulateur PID :

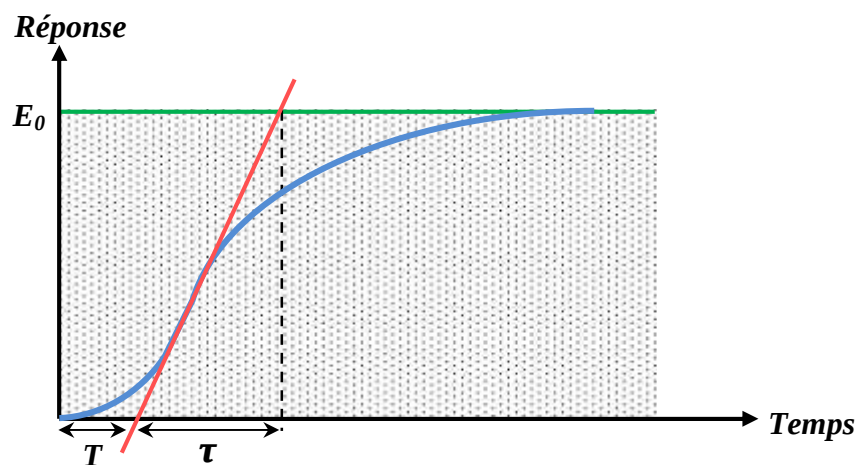


Figure IV.6 : Réponse d'un système à un échelon unitaire en boucle ouverte

$$✓ G_r = 1.27 \frac{\tau}{T}$$

$$✓ T_i = 2T$$

$$✓ T_d = 0.5T$$

Conclusion

Durant ce chapitre nous avons vu les différents domaines relatifs à la mécanique industrielle, qui seront misent en application dans le chapitres suivant. La partie subséquente est consacrée aux solutions proposées avec leurs dimensions.

Dans la mécanique, toujours on utilise des produits qui répondent à nos besoins. L'outil d'analyse fonctionnelle est une approche technique qui raisonne en termes de fonctionnalités devant être assurées par un produit : elle consiste à rechercher, ordonner, caractériser et hiérarchiser les fonctions d'un système.

Durant ce chapitre on va analyser fonctionnellement notre besoin afin de déterminer toutes les fonctionnalités du système.

V.1. Présentation du système

Le fonctionnement du système est dédié pour lubrifier le groupe galets-bandage du tube sécheur, récupérer l'huile utilisée, éliminer les rejets d'huile usagée et optimiser la consommation d'huile, tout en gardant l'efficacité de la lubrification pendant le fonctionnement bien que possible, de telle façon à protéger l'état de surface du groupe galet – bandage contre l'usure accélérée. Il faut tenir sous contrôle les vibrations, de façon que la forme et l'angle d'inclinaison du massif rentrent dans les règles pour un bon fonctionnement. L'utilisation de la lubrification centralisée reste donc le seul issu pour protéger les composants du sécheur contre les vibrations.

V.2. Analyse fonctionnelle

On va analyser notre produit « **Système de lubrification** » en tant qu'un produit capable de fournir des fonctions de service durant son cycle d'utilisation autour de son environnement.

V.2.1. Diagramme « Bête à Corne »

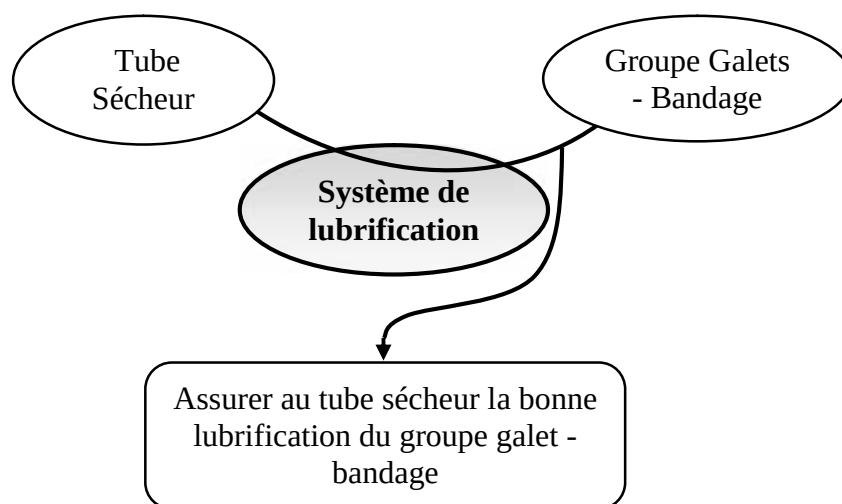


Figure V.1 : Schéma présente diagramme Bête à Corne

V.2.2. Validation du besoin

À fin de valider le besoin exprimé et approuver sa nécessité, la réponse aux questions suivantes est nécessaire :

- **Pour quoi ce besoin existe-il ?**
 - o Pour assurer la lubrification du groupe galets - bandage.
- **Qu'est ce que pourrait le faire apparaître ?**
 - o Fonctionnement permanent pendant la production.
 - o Bonne lubrification.
 - o Récupération d'huile de lubrification.
- **Qu'est ce que pourrait le faire évoluer ?**
 - o Optimiser le coût de la consommation d'huile.
 - o Protéger le massif contre la dégradation.

V.2.3. Diagramme des Interacteurs

Dans ce diagramme on va attacher les fonctions de service du système pendant son cycle de vie en se basant sur ces interactions avec le milieu extérieur. Il sera caractérisé par deux types des fonctions de service :

- **FP** : Fonction principale
- **FC** : Fonction contrainte

V.2.3.1. Phase d'installation

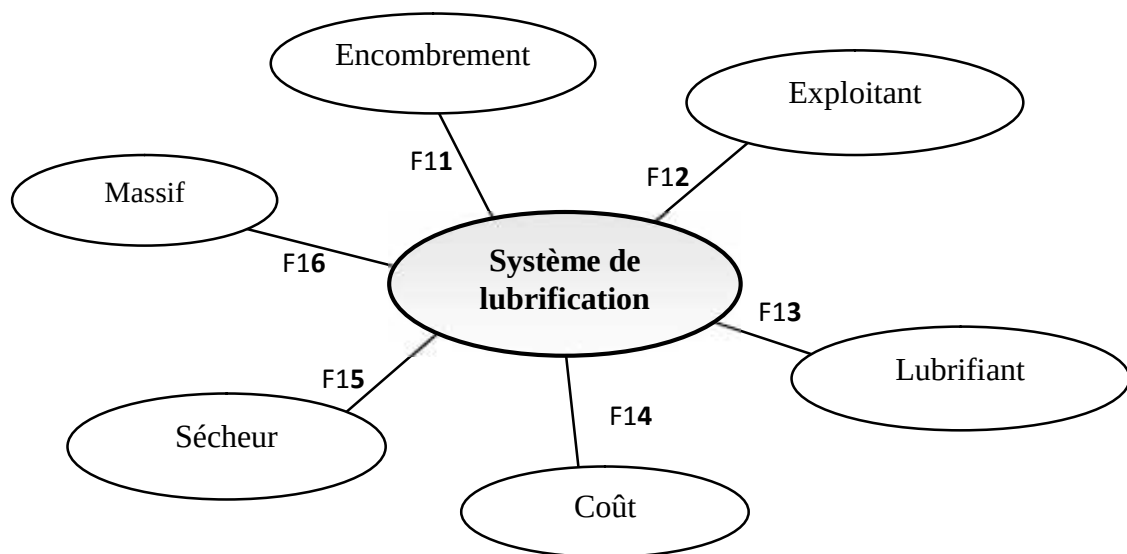


Figure V.2 : Schéma présente diagramme des interactions « PIEUVRE » en phase installation

♣ Liste des fonctions

- F11 : Avoir l'espace suffisant pour installer le système de lubrification.
- F12 : Donner l'accès à l'exploitant d'installer le système.
- F13 : Choisir le bon lubrifiant.
- F14 : Avoir un coût optimum.
- F15 : Assurer une proximité maximale au tube sécheur.
- F16 : Protéger le massif contre les rejets d'huile.

V.2.3.2. Phase d'utilisation

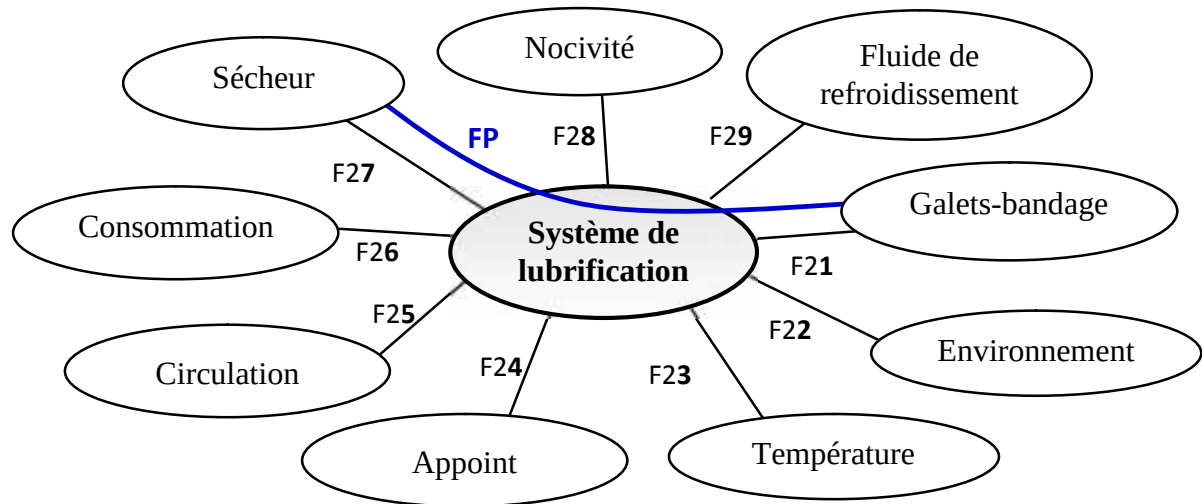


Figure V.3 : Schéma présente diagramme des interactions « PIEUVRE » en phase d'utilisation

♣ Liste des fonctions

- **FP** : Assurer au sécheur la bonne lubrification du groupe galets-bandages.
- F21 : Protéger l'état de surface du groupe Galets-bandages.
- F22 : Protéger l'ensemble du système contre les contraintes d'environnement.
- F23 : Refroidir le lubrifiant.
- F24 : Prévoir un lieu de stockage du lubrifiant.
- F25 : Circuler le fluide lubrifiant.
- F26 : Optimiser la consommation d'huile utilisée pour la lubrification.
- F27 : Adapter le système de lubrification avec le sécheur.
- F28 : Protéger le fluide contre les particules nocives.
- F29 : Optimisation de l'utilisation du Fluide de refroidissement

V.2.3.3. Phase de maintenance

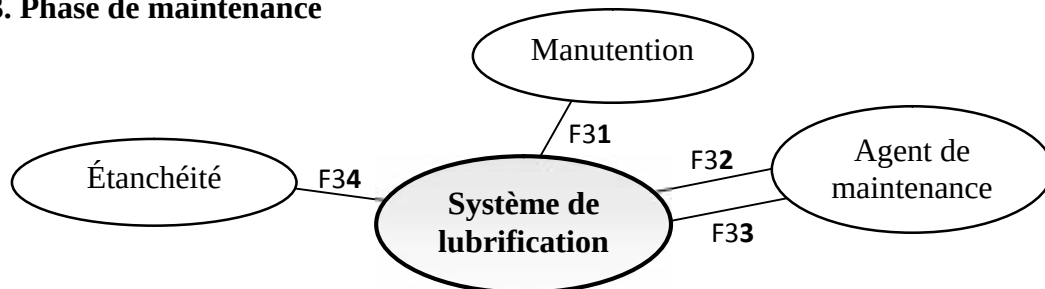


Figure V.4 : Schéma présente diagramme des interactions « PIEUVRE » en phase de maintenance

♣ **Liste des fonctions**

- F31 : Prévoir des composants pour simplifier et sécuriser la mise en place des composants lourds et fragiles du système (conduites- pompes- réservoirs).
- F32 : Permettre à l’exploitant de nettoyer le système.
- F33 : Utiliser les outils de maintenance.
- F34 : Protéger le système contre les fuites.

V.2.4. Cahier des charges fonctionnel

Tableau V.1 : Tableau représente le cahier des charges fonctionnel du système

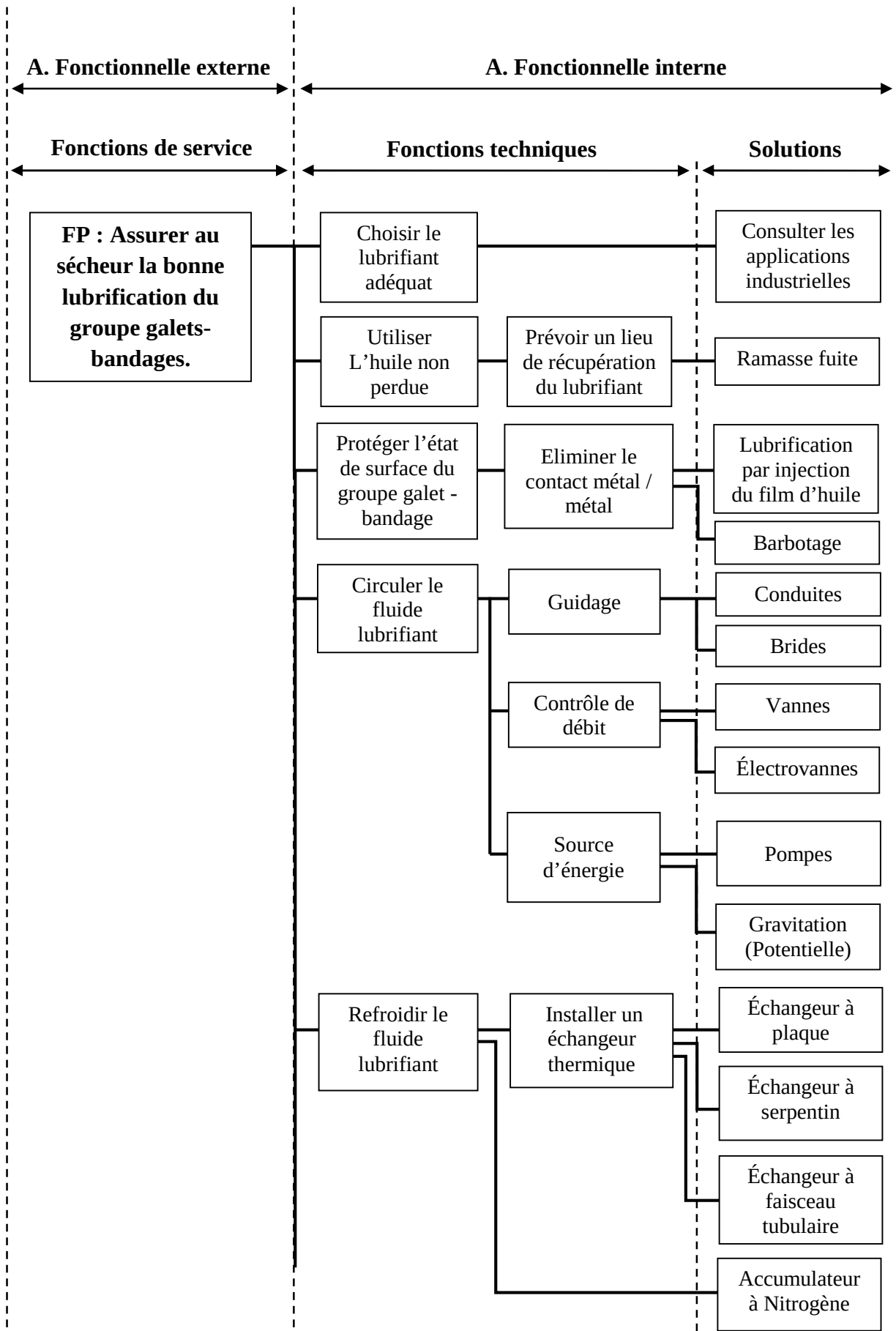
N°	Fonction	k	Critère	Niveau	flexibilités
1-Phase d’installation					
FP	Assurer au sécheur la bonne lubrification du groupe galets-bandages.	5	Rendement	90%	± 5%
F11	Avoir l’espace suffisant pour installer le système de lubrification.	4	Encombrement	test	----
F12	Donner l’accès à l’agent de maintenance.	3	Temps de démontage	test	----
F13	Choisir le bon Lubrifiant.	5	Viscosité	test	----
F14	Avoir un coût optimum	4	Coût	Minimum	----
F15	Assurer une proximité maximale au sécheur.	4	Perte de charge	Minimum	----
F16	Récupérer l’huile pour protéger le massif.	4	Rigidité	Test	----
2- Phase d’utilisation					
F21	Protéger l’état de surface du groupe Galets-bandages.	4	Rugosité	0.3 µm	± 1 µm
F22	Protéger l’ensemble du système contre les contraintes d’environnement	3	Résistance à la Corrosion	Test	----
F23	Refroidir le fluide lubrifiant.	4	Température	Test	----
F24	Prévoir un lieu de stockage du lubrifiant	4	Volume	Test	----
F25	Circuler le fluide lubrifiant.	5	Pression	2 bars	----
			débit	1,5 l/s	± 10%

F26	Optimiser la consommation d'huile utilisée pour la lubrification.	4	Coût de consommation d'huile	Minimum	
F27	Adapter le système de lubrification avec le sécheur.	3	Raccordement		
F28	Protéger le fluide contre les particules nocives.	4	Taux de filtration	90%	$\pm 5\%$
F29	Optimisation de l'utilisation du Fluide de refroidissement	4	Débit d'eau	Régulé	
3- Phase de maintenance					
F31	prévoir des composants pour simplifier et sécuriser la mise en place des composants lourds et fragiles du système (conduites- pompes- réservoirs).	3			
F32	Permettre à l'exploitant de nettoyer le système.	3	Temps		
F33	Utiliser les outils de maintenance.	3			
F34	Protéger le système contre les fuites.	3	Pression d'Étanchéité		

Pour réaliser les fonctions de service énoncées précédemment, ce produit (**Système de lubrification**) est constitué de composants, de pièces mécaniques,... Ces ensembles de pièces réalisent des fonctions techniques permettant de satisfaire le besoin. Il est caractérisé par le diagramme FAST.

V.2.5. Arbre fonctionnel (Diagramme FAST)

Cet outil permet, à partir d'une fonction de service, par un questionnement, d'aboutir aux fonctions techniques et aux solutions constructives associées au système étudié.



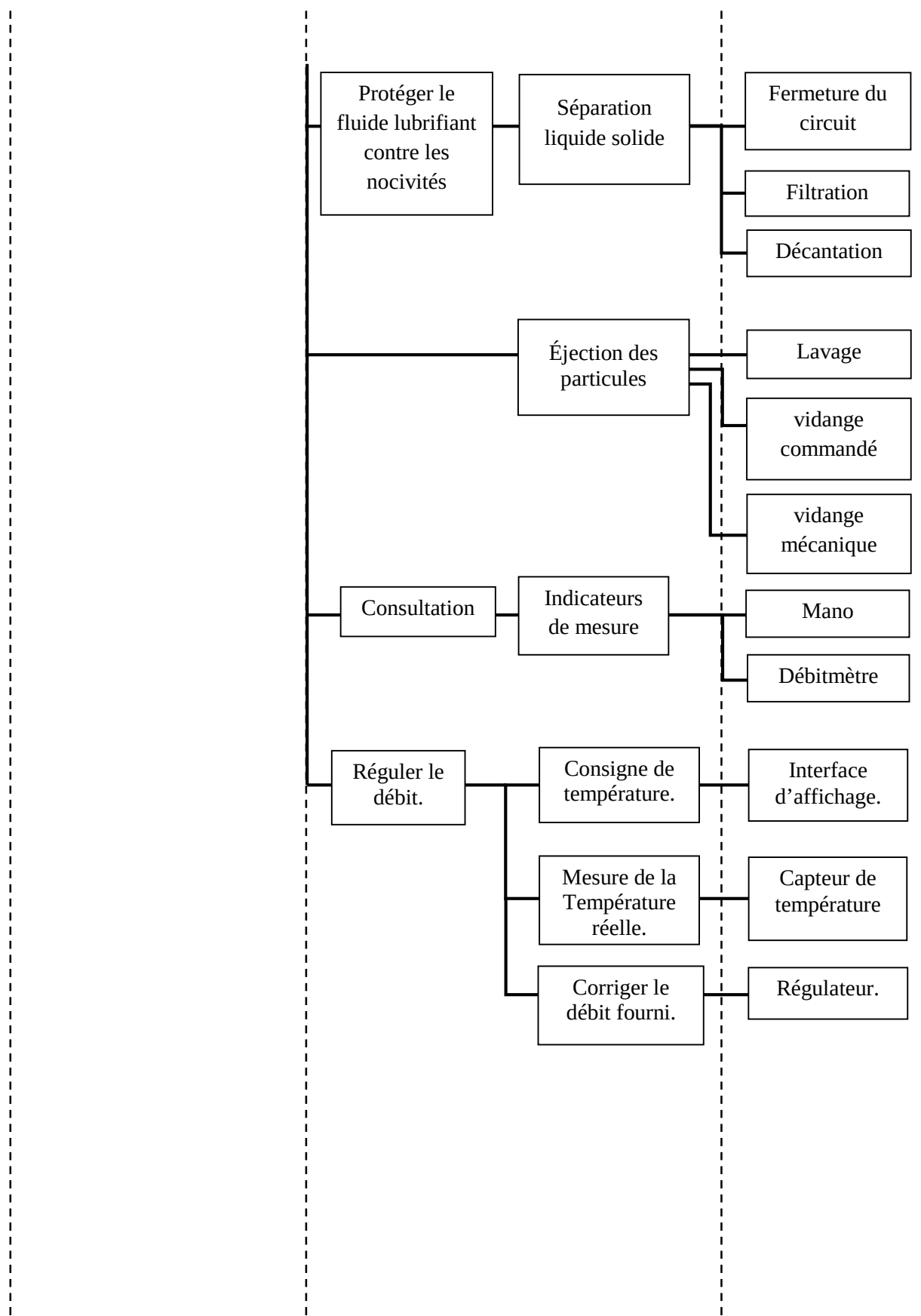


Figure V.5 : Arbre fonctionnel du système à concevoir

V.3.2. Diagramme « SADT » niveau A_0 :

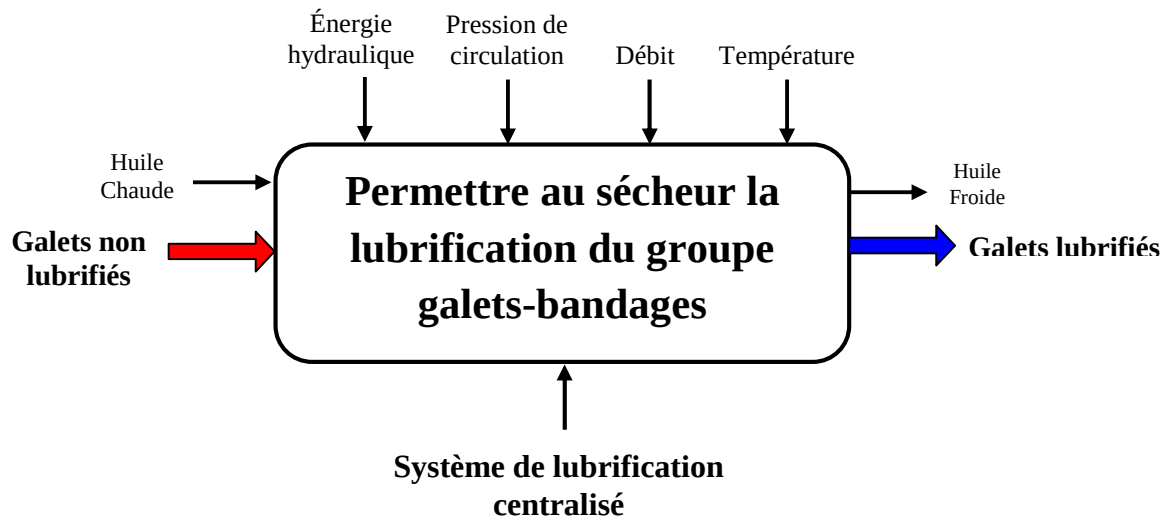


Figure V.6 : Diagramme SADT niveau A_0

V.3. Développement de la fonction qualité

La maison de la qualité fait le lien entre les fonctions et les critères et elle permet de traduire les attentes du client (les quoi), écrites en lignes, en spécifications du produit (les comment), écrites en colonnes. Le principe de base du passage de l'un vers l'autre est la réponse à la question quoi/comment tout en assurant d'avoir répondu aux questions essentielles pourquoi et combien. (Cf. *figure V.7*)

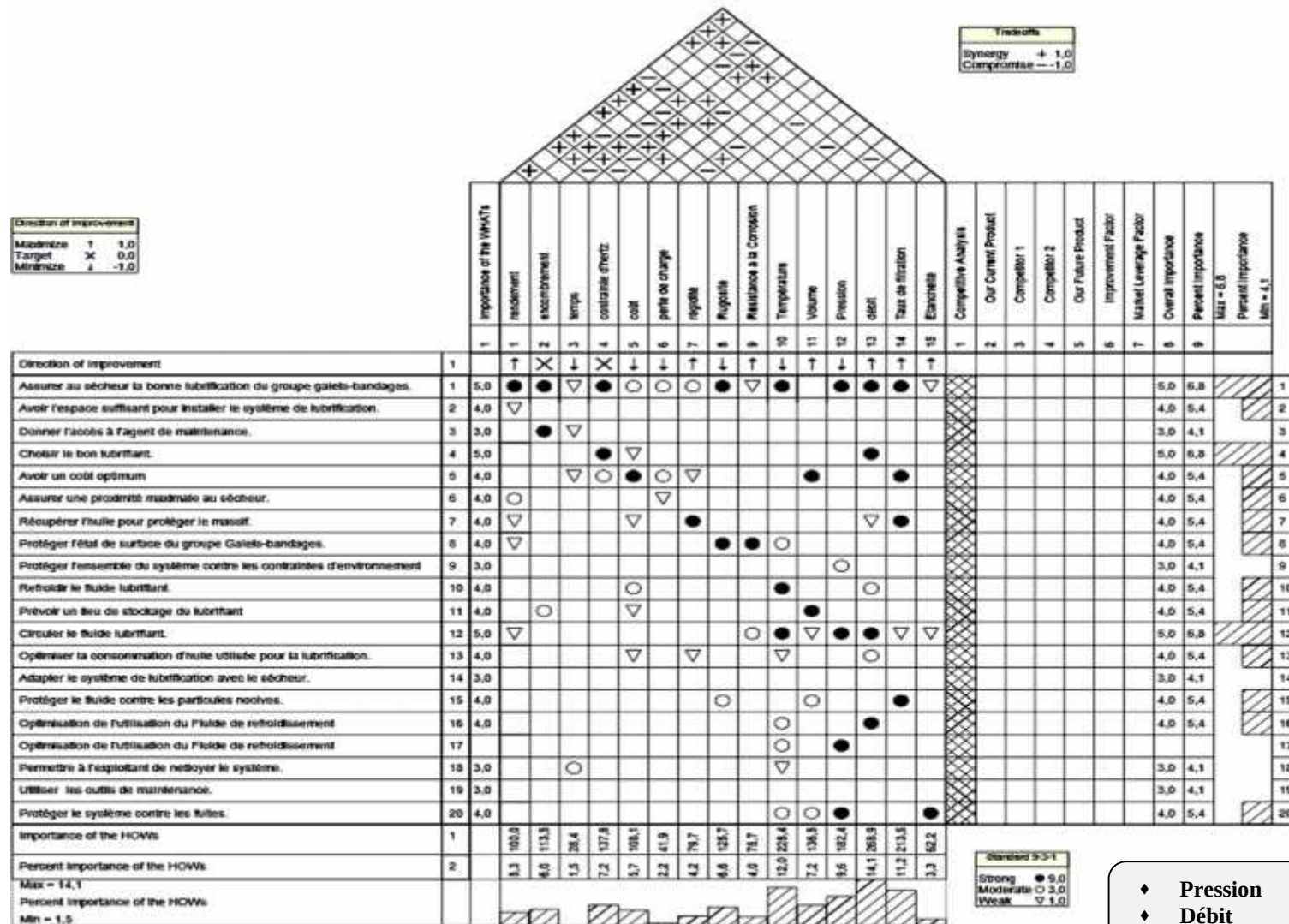


Figure V.7 : la Maison de qualité

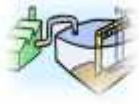
- ♦ Pression
- ♦ Débit
- ♦ Taux de filtration
- ♦ Température

V.4. Génération des solutions

V.4.1 Matrice Morphologique

La matrice morphologique permet de visualiser tous les concepts liés à une fonction et de visualiser toutes les combinaisons possibles entre les concepts pour créer des concepts globaux.

Tableau V.2 : Génération des solutions possibles pour chaque fonction

Fonctions	Solutions possibles			
	1	2	3	4
Refroidissement				
	1-Echangeur à faisceau tubulaire	2-Echangeur à plaque	3-Echangeur À serpentin	4-Machine frigorifique
Séparation fluide solide				
	1-Décanteur Conique	2-Unité de traitement	3-Décanteur centrifuge	4- Décanteur classique
Assemblage				
	1-Rivetage	2-Bridage	3-Vise Ecrou	4-Soudage
Interconnexion				
	1-Conduites en PVC	2- Conduites en Chrome	3- Conduites en Acier	4- Conduites en Cuivre
Étanchéité				
	1-Joint elastique	2-Joint torique	3-Joint plat	4-Joint à buraint
Régulation de débit				
	1-Servovalve	2-Vanne	3-Eletrovanne	4-Vanne régulatrice

Clarification				
	1-Desableur	2-Dégrailleur	3-Filtres	4-Fitres jetables
Source d'énergie				
	1-Ppe centrifuge	2-Ppe Volumique	3-Bassin gravitaire	4-Station hydraulique
Mesure				
	1-Mano	2-Sonde	3-tachymètre	4-Débitmètre

V.4.2. Analyse des rangés de la matrice

Pour chacune des fonctions, on analyse les concepts trouvés, on place les concepts en ordre de potentiel, on cherche à éliminer les concepts les moins prometteurs (coûteux, complexes, etc.), on procède ensuite aux combinaisons, on regroupe certaines fonctions ensemble, on procède aux combinaisons possibles pour chaque groupe de fonctions, finalement on combine les résultats de ces premières combinaisons.

Fonctions	Solutions possibles			
	1	2	3	4
Refroidissement « F1 »				
	1-Echangeur à faisceau tubulaire	2-Echangeur à plaque	3-Echangeur à serpentin	4-Machine frigorifique
Séparation fluide solide « F2 »				
	1-Décanteur Conique	2-Unité de traitement	3-Décanteur centrifuge	4- Décanteur classique
Assemblage « F3 »				
	1-Rivetage	2-Bridage	3-Vise Ecrou	4-Soudage
Interconnexion « F4 »				
	1-Conduites en PVC	2- Conduites en Chrome	3- Conduites en Acier	4- Conduites en Cuivre
Étanchéité « F5 »				
	1-Joint elastique	2-Joint torique	3-Joint plat	4-Joint à buraint
Régulation de débit « F6 »				
	1-Servovalve	2-Vanne	3-Eletrovanne	4-Vanne régulatrice
Clarification « F7 »				
	1-Dégrailleur	2-Filtre à tamis	3-Filtres jetables	4-Fitres auto clean

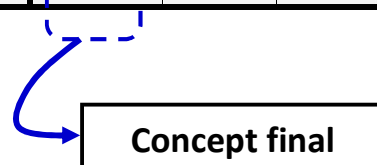
Source d'énergie « F8 »				
	1-Ppe centrifuge	2-Ppe Volumique	3-Bassin gravitaire	4-Station hydraulique
Mesure « F9 »				
	1-Mano	2-Sonde	3-capteur de température	4-Débitmètre

V.4.4. Analyse de Pugh

Méthode matricielle permettant de diminuer le nombre de concepts et d'améliorer les concepts étudiés.

Tableau V.3 : Analyse des concepts par méthode de Pugh

Concepts Critères	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
Pression	+	+	+	+	=	DATUM	=	=
Débit	+	=	=	-	+		+	=
Taux de filtration	+	=	-	=	+		+	-
Température	=	=	-	-	=		-	-
Facilité de fabrication	+	=	+	+	=		=	=
Coût	-	-	-	-	=		=	=
Facilité de maintenance	+	+	+	+	=		=	=
Complexité	+	+	+	+	=		=	=
Sécurité	+	+	+	+	=		=	=
Somme des « + »	7	4	5	5	2		2	0
Somme des « - »	1	1	3	3	0		1	2
Somme des « = »	1	4	1	1	7		6	7



V.5. Concept final

V.5.1. Schéma fonctionnel 2D

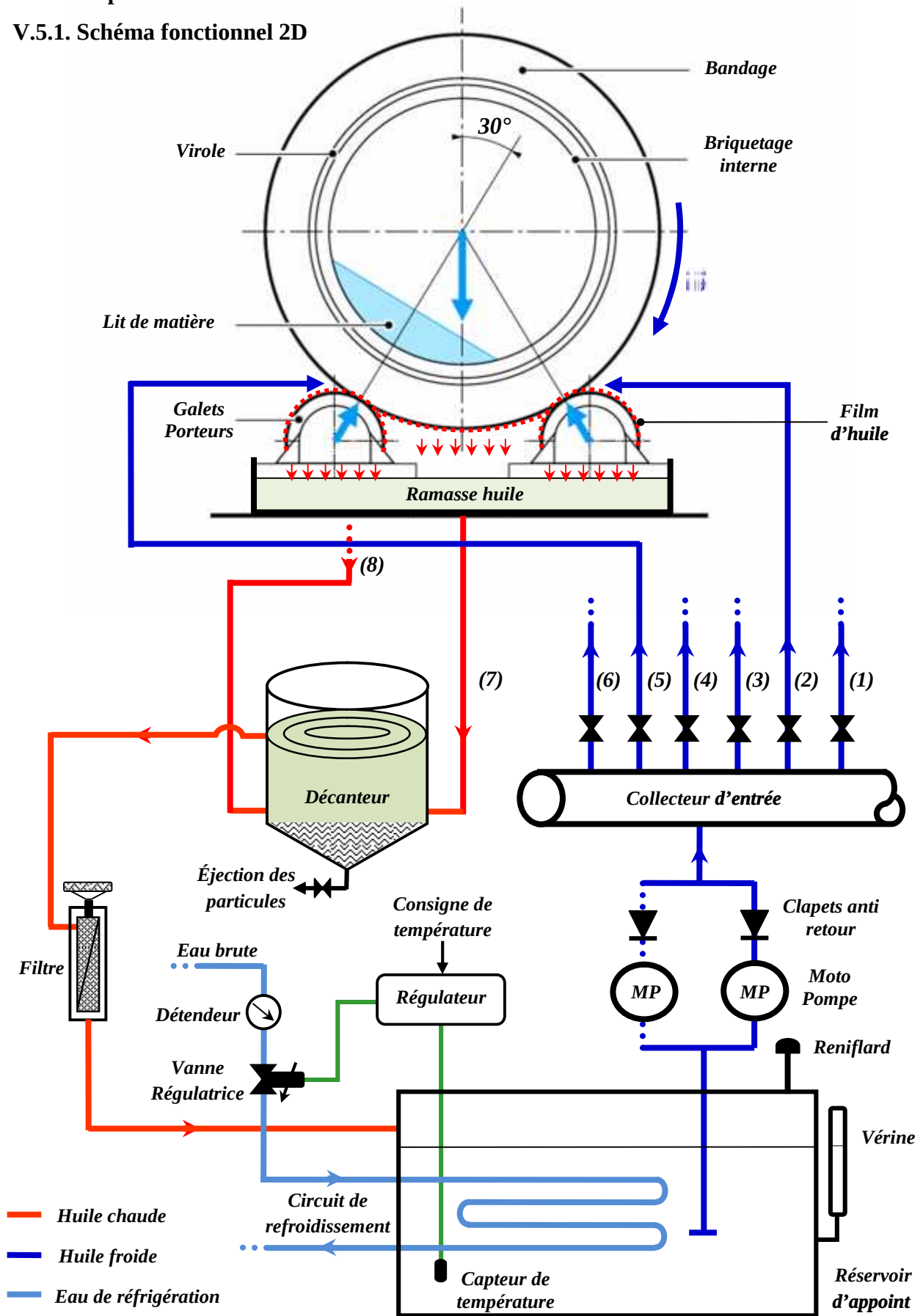


Figure V.8 : Schéma fonctionnel 2D

V.5.1. Prototypage en 3D

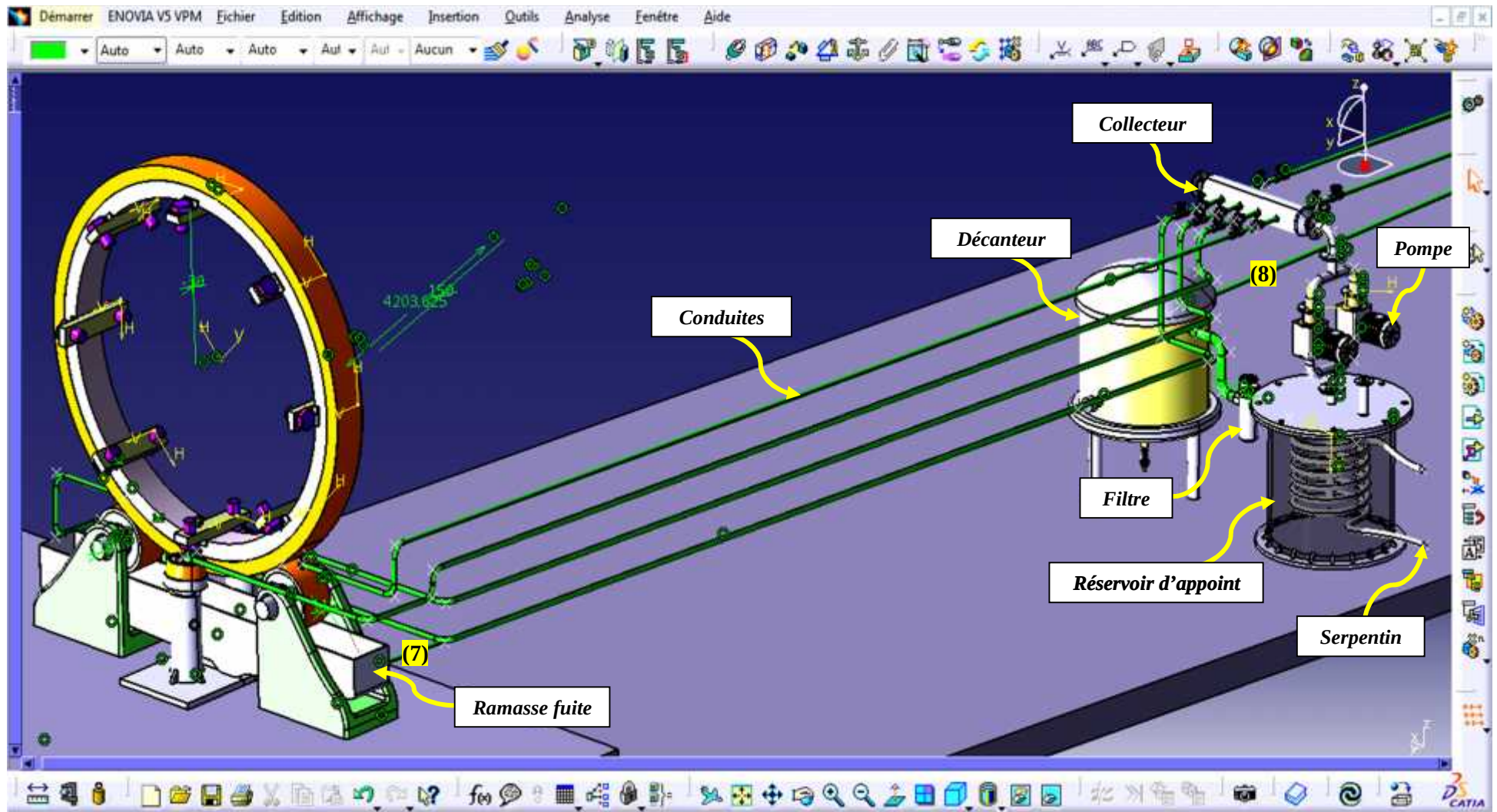


Figure V.9 : Concept final de la solution proposée

V.6. Dimensionnement de l'installation

V.6.1. Choix de lubrifiant

Concernant le choix du lubrifiant adéquat, nous avons basé sur le catalogue des lubrifiants mentionné dans l'Annexe II.

V.6.2. Choix de pompes

Avant de choisir les pompes convenables de cette installation, il est nécessaire dans un premier temps de calculer le débit fourni et la pression après pompe.

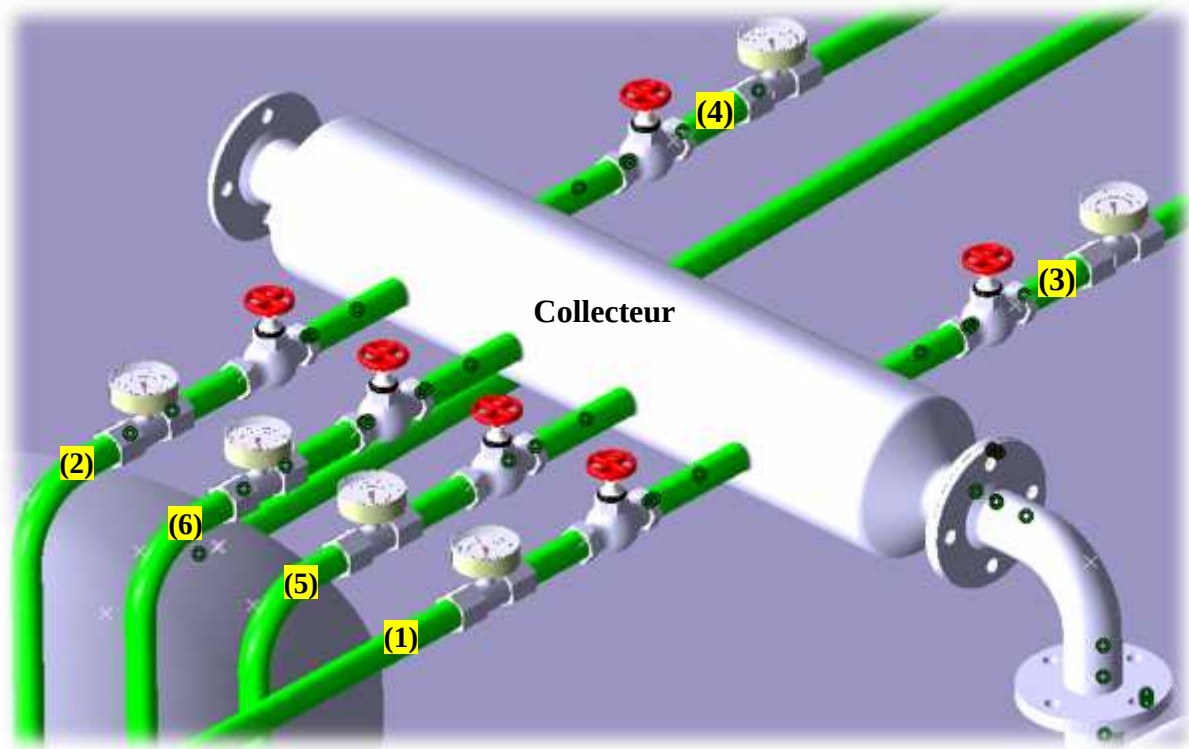
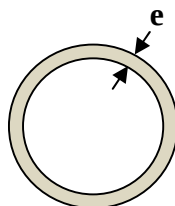
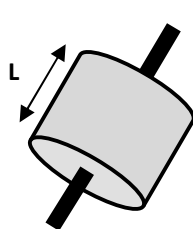


Figure V.10 : Collecteur de refoulement

V.6.2.1. Calcul de débit fourni

Il faut préciser ce pendant que le film d'huile à injecter entre galets et bandage est d'épaisseur de 1 mm sur toute la largeur du galet.

- Galets porteurs :



- $L = 550 \text{ mm}$
- $D = 900 \text{ mm}$
- Épaisseur de l'huile $e = 1 \text{ mm}$

- Le volume occupé par le film d'huile :

$$V_1 = R_2^2 - R_1^2 \times \pi \times L$$

$$V_1 = 451^2 - 450^2 \times \pi \times 550$$

$$V_1 = 1,55 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

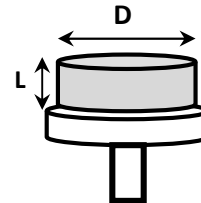
$$Q_1 = 1,55 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

- Le débit des quatre galets porteurs est :

$$Q_P = 4 \times Q_1 = 6,22 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

▪ Galets butés :

- L = 125 mm
- D = 717 mm
- Épaisseur de l'huile : e = 1mm



$$V_2 = R_2^2 - R_1^2 \times \pi \times L$$

$$V_2 = 359,5^2 - 358,5^2 \times \pi \times 125$$

$$V_2 = 2,82 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$Q_2 = \frac{V_2}{t} = 2,82 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

- Le débit des deux galets butés :

$$Q_B = 2 \times Q_2 = 5,64 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

- Le débit total fourni par la pompe :

$$Q_T = Q_P + Q_B = 6,78 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_T = 6,78 \text{ l/s}$$

V.6.2.2. Calcul de la pression après pompe P_r

Pour calculer la pression après pompe P_r , il est nécessaire de calculer la pression d'entrée de chaque conduite, en utilisant le théorème de Bernoulli entre l'entrée **A** et la sortie **B** du fluide lubrifiant.

▪ **Donnée du problème**

- Diamètre des conduites est de **1 Pouce = 25,4 mm**
- Pression des sorties est $P_B = P_{atm} = 1 \text{ bar}$
- Masse volumique $\rho = 900 \text{ kg/m}^3$
- Accélération de la pesanteur $g = 9,81 \text{ m/s}^2$
- Viscosité cinématique $\nu = 25 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
- Coefficients de pertes de charges singulières (**Annexe III**)

Tableau V.5 : Données spécifiques des conduites

Conduite	Longueur (m)	Hauteur $Z_B - Z_A$ (m)	N ^{br} de coudes
1	10,9	0,8	2 de 90°
2	23,36	0,8	7 de 90°
3	12,55	1,3	3 de 90°
4	16,2	1,3	4 de 90°
5	16,6	1	7 de 90°
6	15,52	1,2	5 de 90° et 1 de 120°

▪ **Calcul de la pression d'entrée de la conduite 1**

D'après le théorème de Bernoulli on a :

$$Z_A + \frac{V_A^2}{2g} + \frac{P_A}{\rho g} = Z_B + \frac{V_B^2}{2g} + \frac{P_B}{\rho g} + \Delta H_{AB}$$

$$P_A = \rho g \Delta H_{AB} + \rho g (Z_B - Z_A) + P_B \quad (5.1)$$

Les Pertes de charges : $\Delta H_{AB} = \Delta H_{\text{Linéaire}} + \Delta H_{\text{Singulière}} \text{ (m)}$

$$\Delta H_L = \lambda \frac{V^2 L}{2gD} \text{ (m)} \quad (5.2)$$

$$\Delta H_S = K_s \frac{V^2}{2g} \text{ (m)} \quad (5.3)$$

- **Vitesse d'écoulement :**

$$V = \frac{Q_1}{S} = \frac{4Q_1}{\pi d^2} \quad \text{A.N}$$

$$V = \frac{4 \times 1,55 \times 10^{-3}}{\pi \times (25,4 \times 10^{-3})^2} = 3,06 \text{ m/s}$$

- **Nombre de Reynolds :**

$$R_e = \frac{V \cdot D}{\nu} \quad \text{A.N}$$

$$R_e = 3106,92$$

$2000 < R_e < 10^5 \rightarrow$ Régime turbulent $\rightarrow$ Formule de Blasius

$$\lambda = 0,316 \cdot R_e^{-0,25} = 0,0423 \quad (5.4)$$

- **Perte de charge linéaire :**

$$(5.2) \rightarrow \quad \text{A.N}$$

$$\Delta H_L = 0,0423 \frac{3,06^2}{2 \cdot 9,81} \frac{10,9}{0,0254} = 8,651 \text{ m}$$

- **Perte de charge Singulière :**

$$(5.3) \quad \Delta H_S = K_s \frac{V^2}{2g} = \frac{V^2}{2g} (K_{Vanne} + K_{Débitmètre} + 2K_{coude})$$

A.N

$$\Delta H_S = \frac{3,06^2}{2 \cdot 9,81} (0,2 + 0,2 + 0,6) = 0,477 \text{ m}$$

Donc :

$$\Delta H_{AB} = 9,13 \text{ m}$$

- **Pression d'entrée :**

A.N de l'équation (2)

$$(5.1) \rightarrow \quad P_A = 900 \times 9,81 \cdot 9,128 + 0,8 \cdot 10^5 = 1,87 \text{ bar}$$

Pareil pour les conduites 2,3 et 4, le calcul est identique au précédent, car elles ont orientés vers les galets porteurs toute en modifiant la longueur de la conduite, la hauteur géométrique et le nombre de coudes. Par contre le calcul de la pression pour les conduites 5 et 6 sera détaillé dans l'**Annexe IV**.

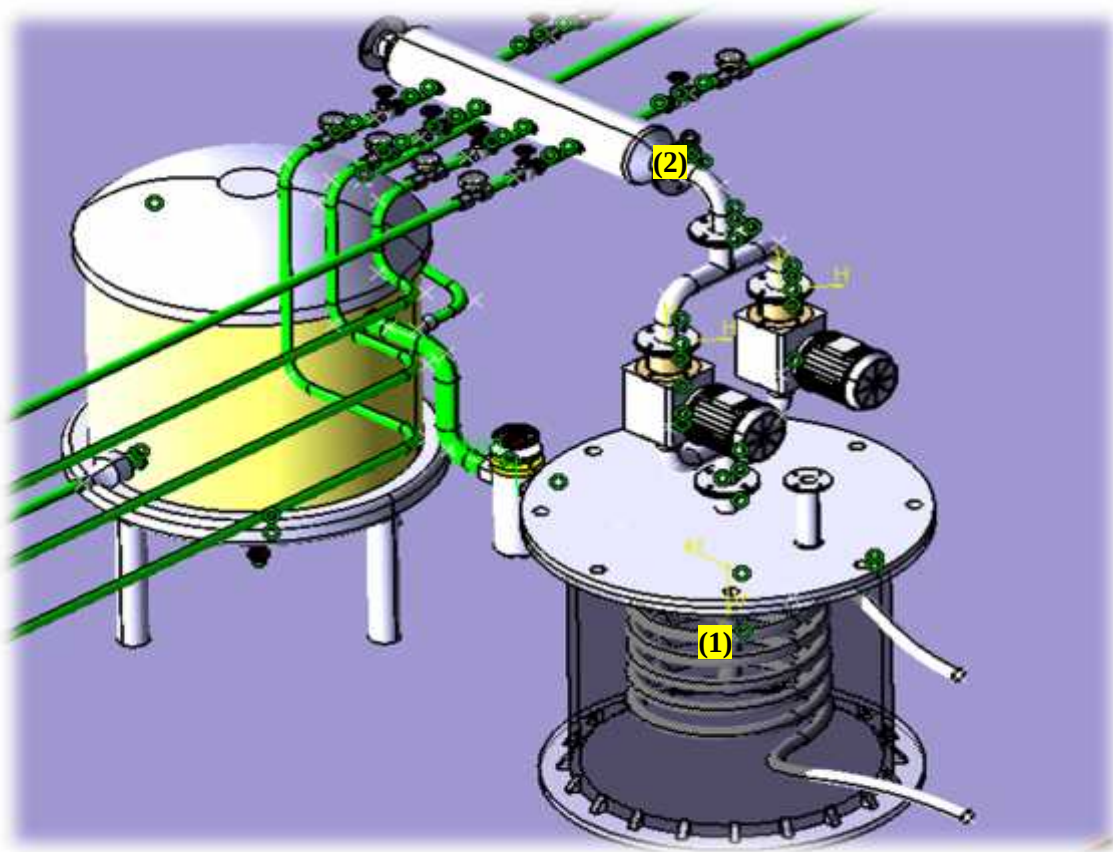
Tableau V.6 : Récapitulatif des Pressions d'entrée des autres conduites

Conduites	Perte de charge ΔH_{AB} (m)	Pression P_A (bar)
1	9,13	1,87
2	19,73	2,81
3	10,57	2,048
4	13,61	2,31
5	1,77	1,24
6	1,70	1,26

- Pression total dans le collecteur :

$$P_r = \text{Sup}(P_A) = 2,81 \text{ bar}$$

V.6.2.3. Calcul de puissance nette de la pompe

**Figure V.11 : Station hydraulique de lubrification**

▪ **Données du problème**

- Longueur de la conduite $L = 4,5\text{m}$ – Hauteur géométrique $H_g = (Z_2 - Z_1) = 3,5\text{m}$

En appliquant Bernoulli entre les points (1) et (2) (Cf. figure V.11)

$$\frac{1}{2} v_2^2 - v_1^2 + \frac{1}{\rho} P_2 - P_1 + g Z_2 - Z_1 = J_{12} + \frac{P_n}{\rho Q_v} \quad (5.5)$$

▪ **Calcul de la vitesse d'écoulement :**

$$v_1 = v_2 = v = \frac{Q_T}{S} = \frac{4Q_T}{\pi d^2} \quad \text{A.N}$$

$$v = \frac{4 \times 6,78 \times 10^{-3}}{\pi \times (50,8 \times 10^{-3})^2} = 3,345 \text{ m/s}$$

$$Re = \frac{v \cdot D}{\nu} \quad \text{A.N}$$

$$Re = 6797,04$$

$2000 < Re < 10^5 \rightarrow$ Régime turbulent $\rightarrow$

$$\lambda = 0,316 \cdot Re^{-0,25} = 0,034$$

▪ **Perte de charge linéaire :**

$$J_L = \lambda \frac{v^2 L}{2 D} \quad (\text{J/kg}) \quad \text{A.N}$$

$$J_L = 16,84 \text{ J/kg}$$

▪ **Perte de charge Singulière :**

$$J_S = K_s \frac{v^2}{2} = \frac{v^2}{2} (K_{clapet} + 5K_{coude})$$

A.N

$$J_S = 15,86 \text{ J/kg}$$

$$J_{12} = 32,7 \text{ J/kg}$$

▪ **Hauteur manométrique H_m :**

$$H_m = H_g + \Delta H_{12} + \Delta H_{AB}(2)$$

A.N

$$H_m = 3,5 + \frac{32,7}{9,81} + 19,73$$

A.N

$$H_m = 26,56 \text{ m}$$

▪ **Puissance nette de la pompe P_n :**

$$(5.5) \rightarrow P_n = Q_T P_2 - P_1 + \rho g Z_2 - Z_1 - \rho J_{12} \quad \text{avec} \quad P_2 = P_r$$

A.N

$$P_n = 209,3 \text{ w}$$

V.6.2.4. Critères de choix de pompes

Le choix de pompes à utiliser est basé sur les critères suivants :

- Débit nominal : **6,78 l/s**
- Pression de service : **2,81 bar $\approx$ 3 bars**
- Hauteur manométrique : **26,56 m**
- Puissance nette : **209,3 w**

V.6.3. Dimensionnement du décanteur

$$V_{\text{Décanteur}} = V_{\text{circulé dans l'installation}}$$

$$V_{\text{Circulé}} = V_{\text{conduites}} + V_{\text{collecteur}} + V_{\text{C.Refoulement}}$$

$$V_{\text{Conduites}} = \pi R^2 \sum_{i=1}^{i=6} L_i + L_7 + L_8 \quad (\text{Cf. Tableau V.5})$$

L_7 et L_8 ce sont les longueurs des conduites 7 et 8 (Cf. Figure V.9)

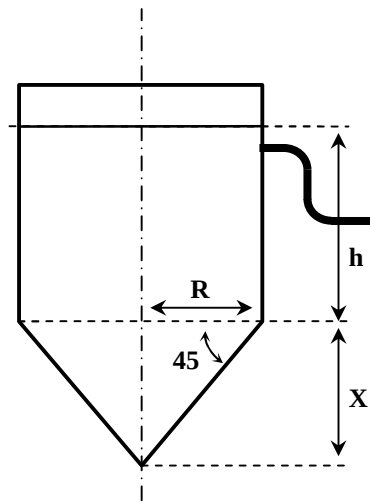
$$V_{\text{Conduites}} = \pi \times \frac{0,0254^2}{4} (10,9 + 23,36 + 12,55 + 16,2 + 16,6 + 15,52 + 8 + 2,25)$$

$$V_{\text{Conduites}} = 53,39 \text{ l}$$

$$V_{\text{Collecteur}} = \pi \times 50,8^2 \times 0,5 = 4,053 \text{ l}$$

$$V_{\text{C.Refoulement}} = \pi \times 25,4^2 \times 4,5 = 9,12 \text{ l}$$

$$V_{\text{Décanteur}} = 66,56 \text{ l}$$



$$X = R \operatorname{tg}(45^\circ) = R = 20 \text{ cm}$$

$$V_{\text{Décanteur}} = V_{\text{cylindre}} + V_{\text{cône}} = 66,56 \text{ l}$$

$$V_{\text{Décanteur}} = \pi R^2 h + \frac{\pi R^3}{3} = 66,56 \text{ l}$$

$$h = 46,3 \text{ cm}$$

V.6.4. Choix du filtre

Le choix du filtre est basé sur les filtres disponibles au magasin, il s'agit d'un filtre dépoussiéreur de dimensions suivant :

- Taux de filtration = 0,1
- Débit = 0,5 l/s
- $h = 20 \text{ cm}$
- $D = 12 \text{ cm}$

V.6.5. Dimensionnement de l'échangeur

On veut déterminer les paramètres dimensionnelles d'un serpentin contre-courant est conçu pour abaisser, la température d'un écoulement d'huile de débit égale **6,78 l/s** correspond a un débit massique de **6,102 kg/s**, de **40°C** à **28°C** par un écoulement d'eau provenant d'une source froide obtenu par les conduites des eaux brutes à **18°C** et de débit massique de **18 kg/s**. Le tube intérieur est une paroi très mince de **2 pouces** de diamètre, avec **K** le coefficient de transfert thermique.

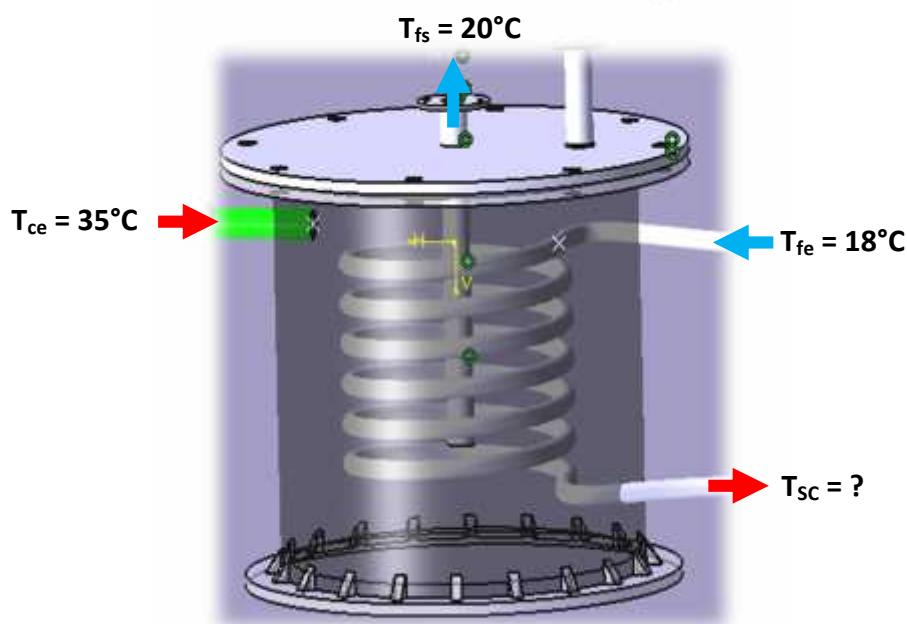


Figure V.12 : Serpentin de refroidissement

On a pour notre cas, les données suivantes :

- Température de l'huile à l'entrée du réservoir est égale à **35°C**.
- Température de l'huile à la sortie du réservoir est égale à **20°C**.
- Température de l'eau brute à l'entrée du serpentin est égale à **18°C**.
- Température de l'eau brute à la sortie du serpentin est égale à **T_{SC}**.
- **α_1** Coefficient de convection fluide chaud - paroi = **500**.
- **α_2** Coefficient de convection fluide froid - paroi = **500**.
- Coefficient de conduction linéaire de cuivre **$\lambda_{\text{cuivre}} = 389 \text{ w/(m.K)}$**
- L'épaisseur de la paroi prise **$e = 3,91 \text{ mm} = 0,00391 \text{ m}$** (C.f Annexe V)
- **C_{pc}** : Chaleur massique du fluide chaud (huile industriel : **C_{pc} = 2,01 KJ/Kg.K**).
- **C_{pf}** : Chaleur massique du fluide froid (Eau : **C_{pf} = 4,18 KJ/Kg.K**).

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{e}{\lambda} \quad \Rightarrow \quad K = 249,37 \text{ w/(m}^2 \cdot \text{k)}$$

V.6.5.1. Calcul du flux thermique transféré

$$\phi = \dot{m}_c C_{pc} (T_{ce} - T_{cs}) = \dot{m}_f C_{pf} (T_{fs} - T_{fe}) \quad (5.6)$$

On a

$$\phi = 18 \cdot 4,18 (293 - 291) = 150,48 \text{ kw}$$

Et donc

$$T_{cs} = T_{ce} - \frac{\phi}{\dot{m}_c C_{pc}} = 308 - \frac{150,48}{6,102 \cdot 2,01} = 22,73 \text{ °c}$$

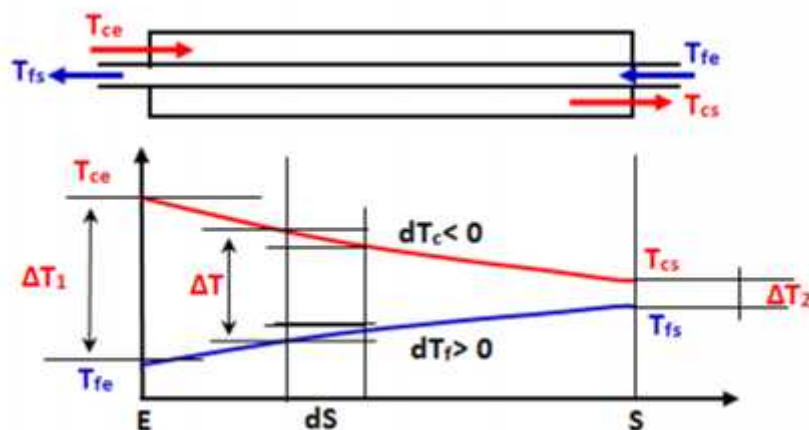


Figure V.13 : Écoulement contre courant (anti- méthodique)

V.6.5.2. Calcul de la surface d'échange

On a d'après la **figure V.7**

$$dT_c - dT_f = - d\phi \frac{1}{\dot{m}_c C_{pc}} + \frac{1}{\dot{m}_f C_{pf}}$$

$$dT_c - dT_f = -K \cdot \Delta T \cdot ds \cdot \frac{1}{\dot{m}_c C_{pc}} + \frac{1}{\dot{m}_f C_{pf}}$$

$$dT_c - dT_f = d(T_c - T_f) = -K \cdot (T_c - T_f) \cdot dS \cdot \frac{1}{\dot{m}_c C_{pc}} + \frac{1}{\dot{m}_f C_{pf}}$$

$$\text{Log} \frac{T_{cs} - T_{fs}}{T_{ce} - T_{fe}} = - \frac{T_{ce} - T_{cs}}{\phi} + \frac{T_{fs} - T_{fe}}{\phi} \cdot K \cdot S$$

$$\text{Log} \frac{T_{cs} - T_{fs}}{T_{ce} - T_{fe}} = (T_{cs} - T_{fs}) - (T_{ce} - T_{fe}) \cdot \frac{K \cdot S}{\phi}$$

Donc :

$$S = \frac{\phi}{K \cdot \Delta T_{LM}}$$

Avec :

$$\Delta T_{LM} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\text{Log} \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}}$$

Et

$$\Delta T_2 = T_{cs} - T_{fs} \quad \text{et} \quad \Delta T_1 = T_{ce} - T_{fe}$$

A.N :

$$\Delta T_{LM} = 290,96 \text{ K}$$

Donc :

$$S = \frac{150,48 \times 10^3}{249,37 \times 290,96} = 2,07 \text{ m}^2$$

V.6.5.3. Calcul de la longueur du tube d'échange

On a la surface latérale d'échange d'un cylindre : $S = 2\pi r_i L$

- r_i : Le rayon intérieur (**1 pouce**)
- L : La longueur du cylindre

$$L = 12,97 \text{ m}$$

▪ **Résultat :**

Les paramètres du serpentin à installer est comme suite :

- Surface d'échange : **2,07 m²**
- Longueur du tube intérieur de l'échangeur : **12,97 m**
- Le flux thermique transféré : **150,48 Kw**
- Épaisseur métallique du tube intérieur de l'échangeur : **3,91 mm**

V.6.6. Dimensionnement du réservoir d'appoint

- **Calcul du volume maximum du réservoir :**

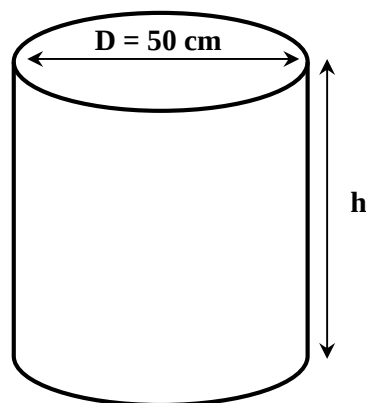
$$V_{\text{réservoir}} = V_{\text{décanteur}} + V_{\text{filtre}} + V_{\text{Craccordement}} + V_{\text{serpentin}}$$

Tableau V.7 : Calcul du volume total du réservoir

	Longueur (m)	Diamètre (mm)	Volume (l)
Conduite de raccordement	2	50,8	4,05
Filtre	0,2	120	2,26
Serpentin	12,97	50,8	26,29

$$V_{\text{max}} = 99,16 = 100 \text{ l}$$

- **Calcul de la hauteur h :**



$$V_{\text{max}} = \pi \cdot R^2 \cdot h$$

$$h = 50 \text{ cm}$$

V.6.7. Synthèse de la boucle de régulation

Le but de cette partie est de présenter le modèle mathématique de chaque élément. Ces modèles servent à comprendre le comportement des systèmes pour faire la synthèse du régulateur à l'aide de la théorie de **Ziegler-Nichols**.

V.6.7.1. Modélisation

Le système que nous proposons de modéliser comprendra :

- La vanne régulatrice
- Le serpentin

Tous ces systèmes modélisés seront représentés directement par des schémas bloc contenant les fonctions de transfert établies, pour pouvoir traduire les modèles sur Matlab/Simulink. Cette modélisation se fera par étape de l'obtention du schéma cinématique du système étudié, en calculant les différents paramètres et à la vérification, en passant par la simplification du modèle et l'affectation de la causalité.

V.6.7.2. Obtention du schéma fonctionnel

Considérons le schéma global de régulation de température (**Figure V.14**). Sur ce schéma on peut distinguer les éléments principaux et ayant retenu notre attention à savoir La vanne régulatrice et le serpentin.

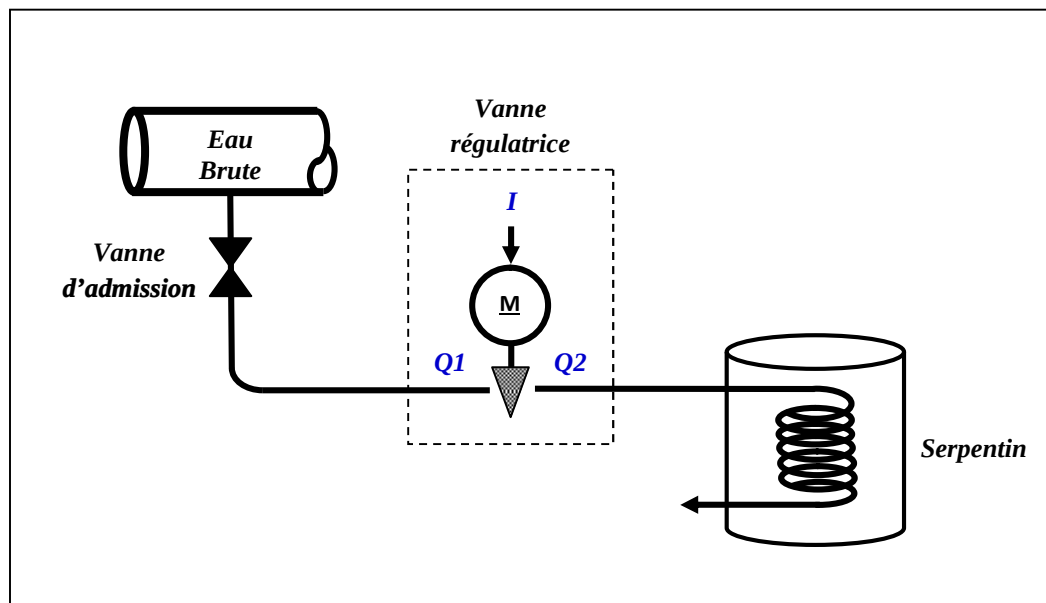


Figure V.14 : Schéma bloc du système de refroidissement

V.6.7.3. Modélisation de la vanne régulatrice

Le modèle de la vanne que nous avons retenu est celui du constructeur **HYDRAUSTAR**, portant la désignation CETOP 5/NG 10. C'est une vanne de régulation spécialement conçue pour les applications d'hydraulique proportionnelle qui nécessite une grande sécurité et une grande stabilité de contrôle entre autre. Elle s'ouvre proportionnelle au courant réglé.

Le courant d'entrée peut varier entre **6 mA** et **20 mA** tandis que le débit de sortie peut varier entre **0,5 kg/s** et **23 kg/s** dans notre cas notons que **0,5 kg/s** et le débit initial du circuit. Les spécifications techniques de la vanne seront données en **Annexe VII**.

Le modèle mathématique, à savoir la fonction de transfert de la vanne est fournie par le constructeur **HYDRAUSTAR** et se présente sous la forme canonique du système du second ordre ci-dessous :

- **Diagramme fonctionnel :**



- **Fonction de transfert :**

$$\frac{Q(p)}{I(p)} = \frac{k}{1 + \frac{2\xi}{\omega_n} p + \frac{p^2}{\omega_n^2}}$$

- **K** : gain statique de la vanne en (bar/mA)
- **ω_n** : pulsation naturelle apparente (rad/s)
- **ξ** : coefficient d'amortissement

- **Calcul des paramètres K , ω_n et ξ :**

On d'après les données de la vanne le courant d'entrée peut varier entre **6mA** et **20mA** et débit de sortie peut varier entre **0,5 kg/s** et **23 kg/s** :

$$\text{Donc : } K = \frac{\Delta Q}{\Delta I} \quad \text{A.N : } K = \frac{23-0,5}{20-6}$$

$$K = 1,607 \text{ kg/s.mA}$$

La fréquence naturelle apparente est donnée par le fabricant : $f_n = 200 \text{ Hz}$

$$\text{On a : } \omega_n = 2\pi f_n$$

Donc :

$$\omega_n = 1256.64 \text{ rad/s}$$

Coefficient d'amortissement que nous avons choisi est dans la table caractéristique d'un système du second ordre (**Annexe VI** une valeur donnant le temps de réponse le plus court est de **3 s**), c'est-à-dire :

$$\xi = 0,7$$

Donc par la suite la fonction de transfert de la vanne est :

$$\frac{Q(p)}{I(p)} = \frac{1,607}{1 + 1,11 E^{-3} P + \left(\frac{P}{1256,64}\right)^2}$$

V.6.7.4. Modélisation du serpentin

Il consistera à la détermination d'une fonction de transfert liant le flux thermique transféré au débit d'eau. Nous conserverons les valeurs minimale et maximale du débit, Pour établir la fonction de transfert liant le flux thermique transféré au débit d'eau nous utiliserons le diagramme de la **figure V.15** que nous reprenons ci-dessous.

Comme spécifié plus haut, nous conservons les extrêmes des valeurs du débit. (**0.5 kg/s et 23 kg/s**). Nous allons donc approcher la courbe principalement afin d'assurer la linéarité de flux entre les deux points.

▪ **Diagramme fonctionnel :**



▪ **Diagramme de réglage :**

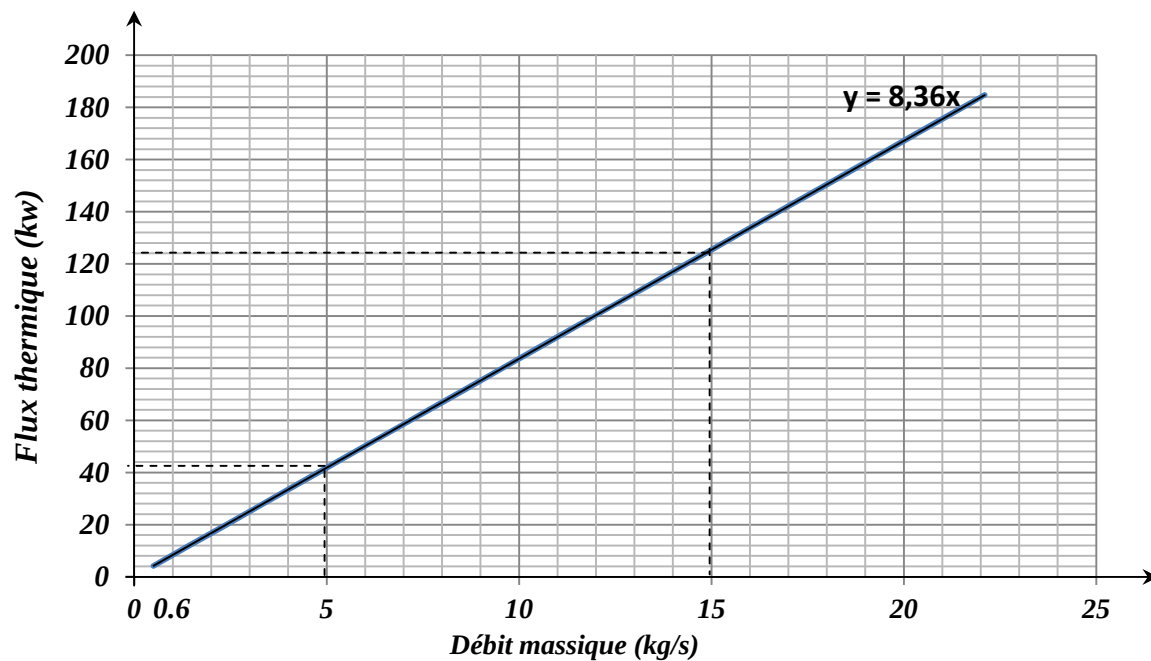


Figure V.15 : Courbe représente le flux en fonction du débit dans le serpentin

On remarque que la fonction est linéaire : $y = ax$

▪ **Fonction de transfert :**

D'après le diagramme ci-dessus :

$$\phi = 8,36 \, m$$

V.6.7.5. Boucle de régulation

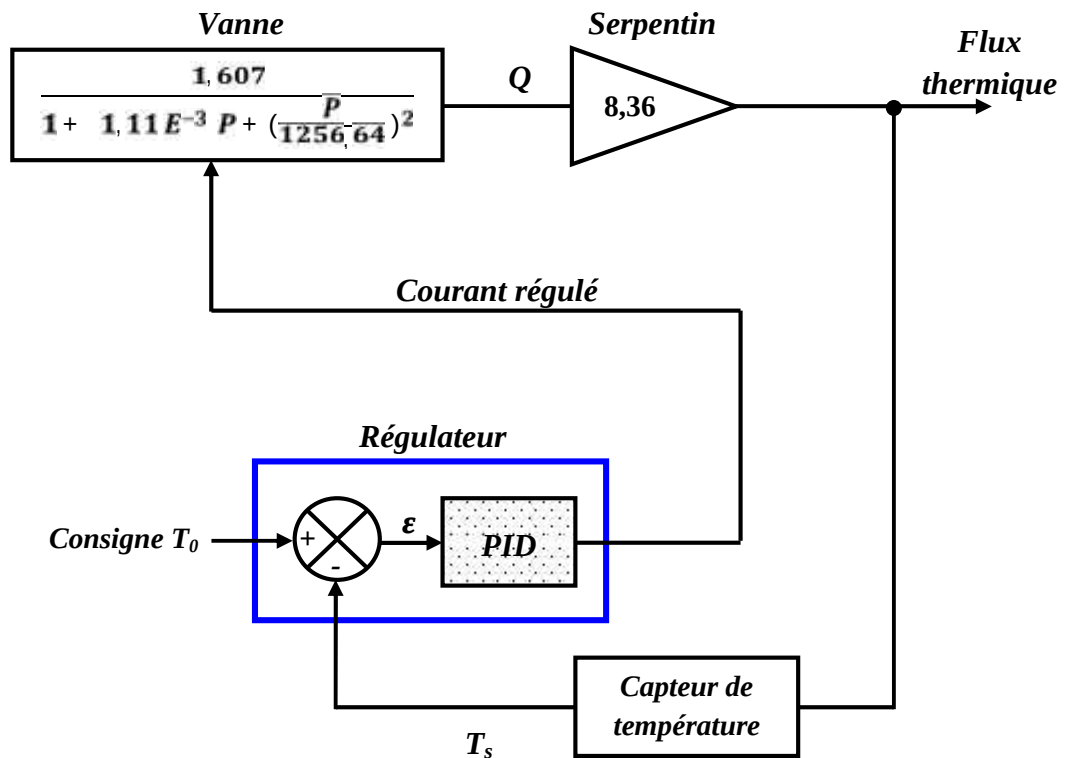


Figure V.16 : Boucle de régulation de la température

Conclusion

Pendant ce chapitre nous avons vu la solution à implantée ainsi que leur dimensionnements. Cette conception permet de réduire les problèmes et les dysfonctionnements rencontrés à savoir le cisaillement de l'arbre d'entrée du réducteur et la détérioration de l'état de surface du groupe galets – bandages.

Cette solution est réalisable et facile à entretenir et ne nécessite pas des modifications qui peuvent affecter le génie civil de la ligne de production.

Dans le chapitre suivant on va accomplir la démarche budgétaire pour estimer notre projet du côté financier et évaluer le gain à gagner lors de la mise en place de cette installation.

Introduction

La rénovation est l'action de rendre un processus conforme à certaine norme de référence, elle est de nature beaucoup plus relationnelle, elle touche à la réussite de l'introduction de l'invention dans la pratique sociale, cette réussite n'est pas seulement technique, mais également économique, industrielle et commerciale.

Dans le présent chapitre nous allons calculer les différents coûts nécessaires pour installer le circuit de lubrification centralisé et le gain à gagner lors de la mise en place de cette solution.

VI.1. Définition du projet

▪ Description du projet

Installation d'une station hydraulique de lubrification du tube sécheur pour assurer une disponibilité maximale des lignes de production.

▪ Objectifs du projet

- Réduire les arrêts fortuits résultant de défaillance au niveau de la lubrification.
- Renforcer le taux de disponibilité des lignes de production.
- Améliorer la cadence de production.

▪ Motivation

- Réduction du taux de consommation d'huile de lubrification.
- Présence des vannes permet la variabilité de débit du lubrifiant, cela donne l'autorise de varier la cadence de production.
- Les équipements à installer seront achetés du magasin général de l'OCP.
- Les travaux de cintrage, de confection et de chaudronnerie seront réalisés au sien des ateliers centraux.
- Amélioration des performances des Ateliers centraux.
- Motivation du personnel de l'OCP d'avoir contribuer à la conception et fabrication en interne.

▪ Insertion dans l'existant

- Prévoir l'interaction de l'investissement avec la société porteuse du projet (*JACOBS*)

▪ Solutions apportées

- Réduction de la consommation des pièces de rechanges relatives aux arrêts fortuits.
- Réduction des prix de rectification de l'état de surface du groupe galet-bandage.
- Réduction de la consommation d'huile.

- Amélioration de la disponibilité des lignes de production.

VI.2. Investissement initial

VI.2.1. Coûts d'achat des équipements

Le tableau ci-dessous représente les coûts d'achat des équipements à installer dans le nouveau système de lubrification.

Tableau VI.1 : Coût d'achat des équipements à installer pour une ligne de production

Équipement	Code Magasin	Coût / Équipement (DH)	Nombre	Coût en (DH)
Pompe	01.104	3000	2	6000
Filtre	09. 395	800	1	800
Clapet anti-retour	03. 566	500	2	1000
Vanne Régulatrice	05. 158	2000	1	2000
Débitmètre	07. 981	2000	6	12000
Capteur de température	04. 456	500	1	500
Régulateur	02. 777	3000	1	3000
Coudes	06. 534	15	30	450
Vanne à opercule	05. 667	300	7	2100
Coût total				27850

Les ateliers centraux sont chargés de réaliser les travaux de cintrage, de confection et de chaudronnerie de la présente solution. À cet effet il est nécessaire de calculer les coûts relatifs à cette réalisation, à savoir le coût de la matière première et le coût de la main d'œuvre.

VI.2.2. Coût de confection dans les ACX

Le calcul du coût de confection se fait à l'aide des relations suivantes :

$$\text{Coût de la M.P} = \text{Prix unitaire} \times \text{Section de la M.P} \quad (6.1)$$

$$\text{Coût de la M.O} = \text{Unité d'œuvre} \times \text{Durée} \times \text{N}^{\text{br}} \text{ des agents} \quad (6.2)$$

$$\text{Coût de confection} = \text{Coût de la M.O} + \text{Coût M.P} \quad (6.3)$$

– Données générales :

- 1 poste = 8 heures,
- U.O = 180 dh/h,
- Matière : Tôle en Acier d'épaisseur 3 mm
- Prix unitaire de la Matière : 158,4 dh/m²

Tableau VI.2 : Coût de confection des équipements à installer dans le nouveau système

Équipement	Section de la M.P (m2)	Coût de la matière première (dh)	Durée de fabrication (poste)	Nombre des agents	Coût de la Main d'œuvre (dh)	Coût de confection (dh)
Réservoir	1,6	253,44	2	1	2880	3133,44
Décanteur	0,705	111,672	2	1	2880	2991,672
Ramasse-huile	15,5	2455,2	1	1	1440	3895,2
Coût total de confection						10020,312

N.B : Calcul de la Section de la matière première « *Annexe 8* »

VI.2.3. Coût de cintrage dans les ACX**Tableau VI.3 :** Coût de cintrage des conduites à installer dans le nouveau système

Équipement	Matériau	Ø	longueur (m)	Prix unitaire (dh/m)	Coût de la M.P (dh)	Durée de fabrication (poste)	Nbr des agents	Coût de la M.O (dh)	Coût de cintrage (dh)
Collecteur	Acier	4''	0,7	200	140	1	1	1440	1580
Conduites de distribution	Acier	1''	110	50	5500	1	2	2880	8380
Conduites de raccordement	Acier	2''	12	100	1200	2	1	2880	4080
Serpentin	Cuivre	2''	14	200	2800	1	1	1440	4240
Coût total de cintrage									18280

VI.2.4. Coût d'installation dans le chantier production

L'installation du nouveau circuit de lubrification dans les ateliers des engrais nécessite la présence de deux chaudronniers, un électricien et un mécanicien. Le tableau ci-dessous présente le coût de la main d'œuvre en fonction de la durée d'implantation.

Tableau VI.4 : Coût d'installation dans le chantier production

Opérateur	Nombre	Durée d'implantation (poste)	Coût de la Main d'œuvre (dh)
Chaudronnier	2	2	5760
Électricien	1	1	1440
Mécanicien	1	1	1440
<i>Coût total d'installation</i>			8640

VI.2.5. Coût total du projet

Le tableau ci-dessous récapitule le coût total nécessaire pour installer le nouveau circuit de lubrification pour une ligne de production.

Tableau VI.5 : Récapitulatif des coûts relatifs à la mise en place de la solution proposée

Ensemble de Coûts / ligne	Montant (KDH)
Coût Total de confection	10,020312
Coût Total de cintrage	18,280
Coût d'installation	8,640
Coût d'achat des huiles	6,000
Coût d'achat des équipements	27,850
Autres charges	20,000
<i>Coût d'investissement d'une ligne</i>	90,790312

N.B : Nous avons ajouté autres charges correspondants aux frais de transport, frais de gestion, paperasse,...etc.

$$\text{Coût total d'investissement} = \text{Nbr de lignes} \times \text{Coût d'investissement d'une ligne} \quad (6.4)$$

$$\text{Coût Total d'investissement} = \mathbf{363,161248 \text{ KDH}}$$

VI.3. Charges d'exploitation

Les charges d'exploitation sont égales au coût de l'énergie consommée par les pompes de circulation de l'huile et le volume d'eau de refroidissement. Les heures de marches annuelles sont estimées à **8000** heures.

VI.3.1. Coût d'énergie à consommer par les pompes

La puissance électrique à consommer par une pompe de circulation pour un rendement de **90%** est :

$$P_e = \frac{P_n}{\eta} = 232,55 \text{ w}$$

Donc, l'énergie à consommer par une pompe pendant une année :

$$E = 0,23255 \text{ Kw} \times 8000 \text{ h/an} = 1860 \text{ kWh/an}$$

Le coût du kilowattheure à consommer par les quatres pompes pendant une année est :

$$\text{Coût du kilowattheure} = E \times \text{Prix Unitaire} \times \text{Nbr de Lignes}$$

$$\text{Coût du kilowattheure} = 1860 \text{ kWh/an} \times 0,85 \text{ dh/kWh} \times 4$$

$$\text{Coût du kilowattheure} = \mathbf{6,324 \text{ KDH/an}}$$

VI.3.2. Coût des eaux brutes de refroidissement

Le volume d'eau à consommer par un refroidisseur pendant une année :

$$V_e = Q_v \times 8000 \times 3600 = 518400 \text{ m}^3/\text{an}$$

$$\text{Coût des eaux brutes} = \text{Prix Unitaire} \times V_e \times \text{Nbr de lignes}$$

$$\text{Coût des eaux brutes} = 4,87 \text{ DH/m}^3 \times 518400 \times 4 = \mathbf{10098,432 \text{ KDH/an}}$$

VI.3.3. Charges annuelles d'exploitation

$$\text{Charges d'exploitation} = \text{Coût du kilowattheure} + \text{Coût des eaux brutes}$$

$$\text{Charges d'exploitation} = \mathbf{10104,756 \text{ KDH/an}}$$

N.B : il faut préciser cependant que les interventions de maintenance et l’entretien de l’installation à implanter seront pris en charge par les opérateurs de production OCP.

VI.4. Le gain à gagner

$$\text{GAG} = \text{MAG} - \text{Charges d'exploitation}$$

$$\text{GAG} = 59676,47 - 10104,756 = 49571,72 \text{ KDH/an}$$

On remarque que le gain à gagner représente un coût annuel très important, l’amélioration de ce dernier se fait par la réduction du débit d’eau consommé par le serpentin de refroidissement. À cet effet l’introduction du régulateur de température dans le circuit proposé joue un rôle primordial pendant l’exploitation. L’existence du régulateur permet d’asservir le débit d’eau pour assurer la constante de température du lubrifiant, afin de garder palliative sa viscosité dans la plage d’exploitation.

Conclusion

Durant ce chapitre nous avons convertie notre solution en termes de coût, à savoir les coûts d’achat, les coûts de confection et de cintrage, ainsi que le coût d’installation des équipements. Finalement l’implantation de notre solution sous les conditions citées dans le présent rapport permettra le gain annuel calculé précédemment.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Le stage est une phase unique et constructive pour tout étudiant. En fait c'est une durée restreinte de la vie professionnelle où il applique ce qu'il a acquis durant ses études universitaires, afin d'améliorer ses compétences et son savoir faire.

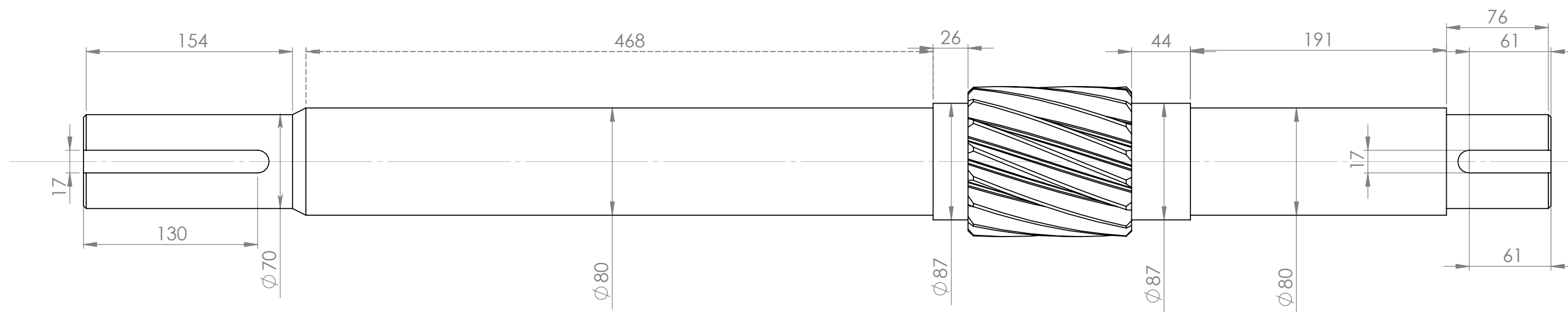
Ce stage étant une étude complète en situation professionnelle qui marque généralement l'année de fin des études, il a été d'un grand bénéfice pour nous, on peut même affirmer qu'il va servir de véritable passerelle entre nos études et notre premier futur en emploi.

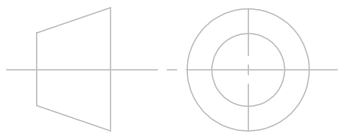
Ce projet que nous avons effectué au sein des ateliers des engrais nous a permis de tester les connaissances acquises au long de notre formation au sein de la faculté des sciences et techniques, que ce soit sur le plan pratique ou théorique. Il était également une occasion pour évaluer et perfectionner nos capacités personnelles.

Notre PFE a été constitué par une étude approfondie apportant une contribution originale au développement des techniques dans les domaines liés au Génie Mécanique. Cette mise en situation réelle nous a permis d'affûter notre formation et surtout d'avoir l'occasion de mettre en application les enseignements reçus à la Faculté des Sciences et Technique de Fès Saïs.

Le projet qui nous a été présenté au sein du service cité auparavant, avait un apport double : il nous a donné l'opportunité d'améliorer une dynamique de groupe et un esprit de travail collectif et d'autre part, il nous a permis de maîtriser parfaitement la démarche de résolution des problèmes.

Moyennant ce projet, nous avons mis l'accent sur l'importance de la rénovation, chose qui dispense le service de maintenance de dépenser des sommes énormes dans la maintenance corrective et favorise la génération de gains considérables en matière de temps et de coûts. Toutefois ceci requière l'étroite collaboration entre le service de la maintenance et celui de la production.



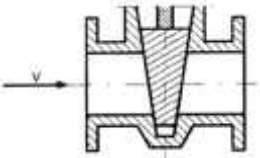
Echelle : 1/3			Office Chérifien de Phosphates Maroc Phosphore III -IV Jorf Lasfar		Nezar TOUMI Ghizlane BOUICHICHAN	
			Arbre d'entrée du réducteur H3SH18-3		Le 25/02/2015	
A3	187CrNi MO7-6	Annexe 1			Page 98	

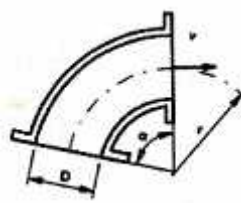
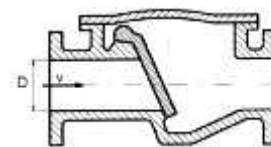
Annexe II : Catalogue des lubrifiants Shell

Sorte	Viscosité cinématique à 40°C mm ² /s	Densité à 15°C kg/m ³	Application /propriétés
Shell EP 460	460	956	Lubrifiant pour boudins de roues d'engins ferroviaires et rails. Le lubrifiant forme un film bien adhérent sur le boudin, au pouvoir lubrifiant élevé ; il n'a pas tendance à s'écouler sur la surface de roulement. Légère teneur en COV.
Shell Spirax S2 A 80W-90	146	904	Huile pour ponts de voitures, véhicules utilitaires, bus et machines de chantier.
Shell Spirax S2 A 85W-140	358	908	Huile pour ponts de voitures, véhicules utilitaires, bus et machines de chantier.
Shell Spirax S2 ALS 90	155	909	Huile pour engrenages hypoïdes avec caractéristique de frottement particulier pour les différentiels à blocage ou les freins immergés.
Shell Spirax MB 90	184	909	Huile pour engrenages hypoïdes en tout genre. Répond aussi à SAE 85W-90.
Shell Gadus S2 OGH 0/00	250	900	Lubrifiant contenant 15 % de graphite pour engrenages ouverts de fours rotatifs de cimenteries par exemple. Huile de base de haute viscosité avec graphite, bonne pompabilité.
Shell Spirax S6 TXME	64	872	«Universal Tractor Transmission Oil» (UTTO) issue de la technologie de synthèse Shell XHVI®, conçue pour les tracteurs et véhicules non routiers.

Shell Spirax S4 TX	85	850	Huile universelle pour tracteurs (STOU) issue de la technologie de synthèse Shell XHVI®, conçue pour les tracteurs et véhicules non routiers.
Shell Spirax S4 CX 10W	36		Huile pour transmissions de machines de chantier. Pour les boîtes de vitesses avec commande sous charge, les réducteurs latéraux et entraînements d'essieux, ainsi que les boîtes avec freins immergés.
Shell Spirax S4 CX 30	94		
Shell Spirax S4 CX 50	217		
Houghton Ensis Engine 30	94	885	Huile de protection contre la corrosion exempte de solvant à base d'huile minérale pour la conservation de moteurs à explosion, de réducteurs et compresseurs, elle forme un film de protection huileux qui ne sèche pas.

Annexe III : Les coefficients de perte de charge singulière

 Flowserve Pompes	Perte de charge dans les accessoires													
Vanne à Opercule		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Ouverture levée d'opercule</th><th>25%</th><th>50%</th><th>75%</th><th>100%</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>K_s</td><td>30</td><td>5,3</td><td>1</td><td>0,2</td></tr> </tbody> </table>			Ouverture levée d'opercule	25%	50%	75%	100%	K_s	30	5,3	1	0,2
Ouverture levée d'opercule	25%	50%	75%	100%										
K_s	30	5,3	1	0,2										
Débitmètre		$K_s = 0,2$												

Coude		$K_s = K_1 \times K_2$ <table><tr><th>D(mm)</th><td><60</td><td>60 à 125</td><td>125 à 200</td><td>200 à 1000</td><td>>1000</td></tr><tr><th rowspan="2">K₁</th><td>Acier</td><td>5</td><td>2</td><td>1,5</td><td>1,5</td><td>1</td></tr><tr><td>Fonte</td><td>5</td><td>2</td><td>2</td><td>1,5</td><td>1</td></tr></table> $K_2 = f\left(\frac{r}{D}, \alpha\right)$ <table><tr><th>$\alpha \backslash r/d$</th><th>0,6</th><th>0,8</th><th>1</th><th>1,5</th><th>2,5</th><th>5</th></tr><tr><td>11° - 15°</td><td>0,142</td><td>0,070</td><td>0,042</td><td>0,037</td><td>0,035</td><td>0,037</td></tr><tr><td>20° - 29°</td><td>0,275</td><td>0,136</td><td>0,083</td><td>0,072</td><td>0,064</td><td>0,072</td></tr><tr><td>30°</td><td>0,351</td><td>0,179</td><td>0,105</td><td>0,093</td><td>0,064</td><td>0,096</td></tr><tr><td>45°</td><td>0,500</td><td>0,248</td><td>0,150</td><td>0,133</td><td>0,122</td><td>0,140</td></tr><tr><td>60°</td><td>0,612</td><td>0,307</td><td>0,185</td><td>0,165</td><td>0,154</td><td>0,202</td></tr><tr><td>90°</td><td>0,790</td><td>0,405</td><td>0,242</td><td>0,217</td><td>0,208</td><td>0,252</td></tr><tr><td>120°</td><td>0,925</td><td>0,464</td><td>0,287</td><td>0,261</td><td>0,256</td><td>0,305</td></tr><tr><td>135°</td><td>0,968</td><td>0,488</td><td>0,302</td><td>0,279</td><td>0,276</td><td>0,353</td></tr><tr><td>150°</td><td>1,012</td><td>0,517</td><td>0,323</td><td>0,297</td><td>0,298</td><td>0,385</td></tr><tr><td>180°</td><td>1,120</td><td>0,570</td><td>0,358</td><td>0,332</td><td>0,340</td><td>0,450</td></tr></table>	D(mm)	<60	60 à 125	125 à 200	200 à 1000	>1000	K ₁	Acier	5	2	1,5	1,5	1	Fonte	5	2	2	1,5	1	$\alpha \backslash r/d$	0,6	0,8	1	1,5	2,5	5	11° - 15°	0,142	0,070	0,042	0,037	0,035	0,037	20° - 29°	0,275	0,136	0,083	0,072	0,064	0,072	30°	0,351	0,179	0,105	0,093	0,064	0,096	45°	0,500	0,248	0,150	0,133	0,122	0,140	60°	0,612	0,307	0,185	0,165	0,154	0,202	90°	0,790	0,405	0,242	0,217	0,208	0,252	120°	0,925	0,464	0,287	0,261	0,256	0,305	135°	0,968	0,488	0,302	0,279	0,276	0,353	150°	1,012	0,517	0,323	0,297	0,298	0,385	180°	1,120	0,570	0,358	0,332	0,340	0,450
D(mm)	<60	60 à 125	125 à 200	200 à 1000	>1000																																																																																													
K ₁	Acier	5	2	1,5	1,5	1																																																																																												
	Fonte	5	2	2	1,5	1																																																																																												
$\alpha \backslash r/d$	0,6	0,8	1	1,5	2,5	5																																																																																												
11° - 15°	0,142	0,070	0,042	0,037	0,035	0,037																																																																																												
20° - 29°	0,275	0,136	0,083	0,072	0,064	0,072																																																																																												
30°	0,351	0,179	0,105	0,093	0,064	0,096																																																																																												
45°	0,500	0,248	0,150	0,133	0,122	0,140																																																																																												
60°	0,612	0,307	0,185	0,165	0,154	0,202																																																																																												
90°	0,790	0,405	0,242	0,217	0,208	0,252																																																																																												
120°	0,925	0,464	0,287	0,261	0,256	0,305																																																																																												
135°	0,968	0,488	0,302	0,279	0,276	0,353																																																																																												
150°	1,012	0,517	0,323	0,297	0,298	0,385																																																																																												
180°	1,120	0,570	0,358	0,332	0,340	0,450																																																																																												
Clapet anti retour		<table><tr><th>D(mm)</th><th>40</th><th>70</th><th>100</th><th>150</th><th>200</th><th>300</th><th>500</th><th>800</th></tr><tr><th>K</th><td>1,3</td><td>1,4</td><td>1,5</td><td>1,7</td><td>1,9</td><td>2,1</td><td>2,5</td><td>3</td></tr></table>	D(mm)	40	70	100	150	200	300	500	800	K	1,3	1,4	1,5	1,7	1,9	2,1	2,5	3																																																																														
D(mm)	40	70	100	150	200	300	500	800																																																																																										
K	1,3	1,4	1,5	1,7	1,9	2,1	2,5	3																																																																																										

Annexe IV : Détail de calcul de la pression de la conduite (5)

▪ Calcul de la pression d'entrée

D'après le théorème de Bernoulli on a :

$$Z_A + \frac{V_A^2}{2g} + \frac{P_A}{\rho g} = Z_B + \frac{V_B^2}{2g} + \frac{P_B}{\rho g} + \Delta H_{AB}$$

$$P_A = \rho g \Delta H_{AB} + \rho g (Z_B - Z_A) + P_B \quad (2)$$

Les Pertes de charges : $\Delta H_{AB} = \Delta H_{Linéaire} + \Delta H_{Singulière} \text{ (m)}$

Avec :

$$\Delta H_L = \lambda \frac{V^2 L}{2gD} \text{ (m)}$$

$$\Delta H_S = K_s \frac{V^2}{2g} \text{ (m)}$$

▪ Vitesse d'écoulement :

$$V = \frac{Q_1}{S} = \frac{4Q_1}{\pi d^2}$$

A.N

$$V = \frac{4 \times 2,82 \times 10^{-4}}{\pi \times (25,4 \times 10^{-3})^2} = 0,56 \text{ m/s}$$

▪ **Nombre de Reynolds :**

$$R_e = \frac{V \cdot D}{\nu} \quad \text{A.N} \quad R_e = 568,96$$

$R_e < 2000 \rightarrow$ Régime laminaire $\rightarrow$ Formule de Poiseuille

$$\lambda = \frac{64}{R_e} = 0,112$$

▪ **Perte de charge linéaire :**

$$\Delta H_L = \lambda \frac{V^2 L}{2gD} \quad (m)$$

A.N

$$\Delta H_L = 0,112 \frac{0,56^2}{2 \cdot 9,81} \frac{16,6}{0,0254} = 1,16 \, m$$

▪ **Perte de charge Singulière :**

$$\Delta H_S = K_s \frac{V^2}{2g} = \frac{V^2}{2g} (K_{Vanne} + K_{Débitmètre} + 7K_{coude})$$

A.N

$$\Delta H_S = \frac{0,56^2}{2 \cdot 9,81} 36 + 0,2 + 7 \times 0,3 = 0,612 \, m$$

$$\Delta H_{AB} = 1,77 \, m$$

▪ **Pression d'entrée :**

A.N de l'équation (2)

$$P_A = 900 \times 9,81 \cdot 1,77 + 1 \cdot 10^5 = 1,24 \, bar$$

De même pour la conduite (6) on trouve :

$$P_A = 1,26 \, bar$$

Annexe V : Épaisseur en fonction du diamètre de la conduite

Diamètre en pouce	Schedule 40	
	Diamètre intérieur (mm)	Épaisseur (mm)
1/8	6,84	1,73
1/4	9,26	2,23
3/8	12,52	2,31
1/2	15,80	2,77
3/4	20,93	2,87
1"	25,4	3,38
1"1/4	35,04	3,56
1"1/2	40,90	3,68
2"	50,8	3,91
2"1/2	62,70	5,16
3"	77,92	5,49
3"1/2	90,12	5,74
4"	101,6	6,02
5"	128,20	6,55
6"	154,05	7,11

Annexe VI: Caractéristiques d'un système second ordre

Caractérisation d'un système du second ordre									
Réponse temporelle						Réponse fréquentielle			
ξ	t_m	t_{pic}	t_r	t_p	$d(\%)$	ω_t/ω_n	ω_c/ω_n	ω_c/ω_r	Mp(db)
0,1	1,68	3,16	30	6,31	73	0,99	1,54	1,56	14
0,15	1,74	3,18	20	6,36	62	0,98	1,53	1,56	10,6
0,2	1,81	3,21	14	6,41	53	0,96	1,51	1,57	8,1
0,25	1,88	3,24	11	6,49	44	0,94	1,48	1,59	6,3
0,3	1,97	3,29	10,1	6,59	37	0,91	1,45	1,61	4,8
0,35	2,06	3,35	7,9	6,71	31	0,87	1,42	1,63	3,7
0,4	2,16	3,43	7,7	6,86	25	0,82	1,37	1,67	2,7
0,45	2,28	3,52	5,4	7,04	21	0,77	1,33	1,72	1,9
0,5	2,42	3,63	5,3	7,26	16	0,71	1,27	1,8	1,2
0,55	2,52	3,76	5,3	7,52	12,6	0,63	1,21	1,93	0,7
0,6	2,77	3,93	5,2	7,85	9,5	0,53	1,15	2,17	0,4
0,65	3	4,13	5	8,27	6,8	0,39	1,08	2,74	0,1
0,7	3,29	4,4	3	8,8	4,6	0,14	1,01	7,14	0
0,75	3,66	4,75	3,1	9,5	2,84	-----	0,94	-----	-----
0,8	4,16	5,24	3,4	10,47	1,52	-----	0,87	-----	-----
0,85	4,91	5,96	3,7	11,93	0,63	-----	0,81	-----	-----
0,9	6,17	7,21	4	14,41	0,15	-----	0,75	-----	-----
0,95	9,04	10,06	4,1	20,12	0,01	-----	0,69	-----	-----

Annexe VII : Les spécifications techniques de la vanne régulatrice

**VANNE REGULATRICE
ELECTROHYDRAULIQUE
(CETOP 5 / NG 10)
Modèle 1652 (Pilotage séparé)**



Recommandation pour l'équipement

Domaine mécanique

- Vis de fixation : M6*45mm haute résistance. Couple de serrage : 10 N.m.
- Joints d'embase : 12*2mm et 8*2mm. La surface de montage de la vanne doit présenter un défaut de concentricité inférieure à 0.01mm et un état de surface Ra inférieur à 0.01 mm.
- Réglage mécanique du zéro hydraulique : une augmentation du débit sortant par C2 est obtenue en tournant la vis de réglage de zéro dans le sens des aiguilles d'une montre.
- Débit de sortie varie entre 0,5 l/s et 23 l/s.
- Masse : 3,1Kg

Domaine électrique

- Connecteur électrique : MS 3102-14SP (4 orientations de capot à 90° possibles),
- Option : Connecteur électrique femelle MS 3106-14S-2S ou équivalent,
- Courant d'entrée varie entre 6mA et 20 mA avec une fréquence de 200 Hz,
- Temps après excitation 3 secondes.

Annexe VIII : Calcul des sections de la matière première

– Section du réservoir d'appoint :

- $S_l = 2\pi Rh = 2 \cdot \pi \cdot 0,25 \cdot 0,5 = 0,78 \text{ m}^2$
- $S_{2b} = 2 \cdot \pi \cdot R^2 = 2 \cdot \pi \cdot (0,25 + 0,1)^2 = 0,76 \text{ m}^2$
- $S_t = 1,54 \text{ m}^2$

– Section du décanteur :

- $S_{lcône} = \pi \cdot R \cdot X = \pi \cdot 0,2 \cdot 0,2 = 0,125 \text{ m}^2$
- $S_{lcylindre} = 2\pi Rh = 2\pi \cdot 0,2 \cdot 0,463 = 0,58 \text{ m}^2$
- $S_t = 0,705 \text{ m}^2$

– Section des ramasse fuite :

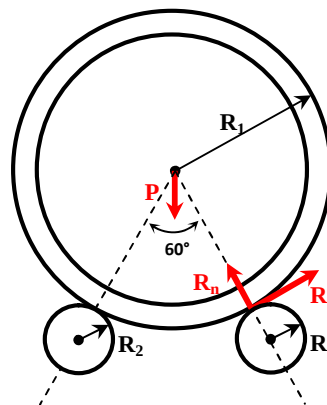
- $a = 550 \text{ mm}$
- $h = 500 \text{ mm}$
- $L = 4650 \text{ mm}$

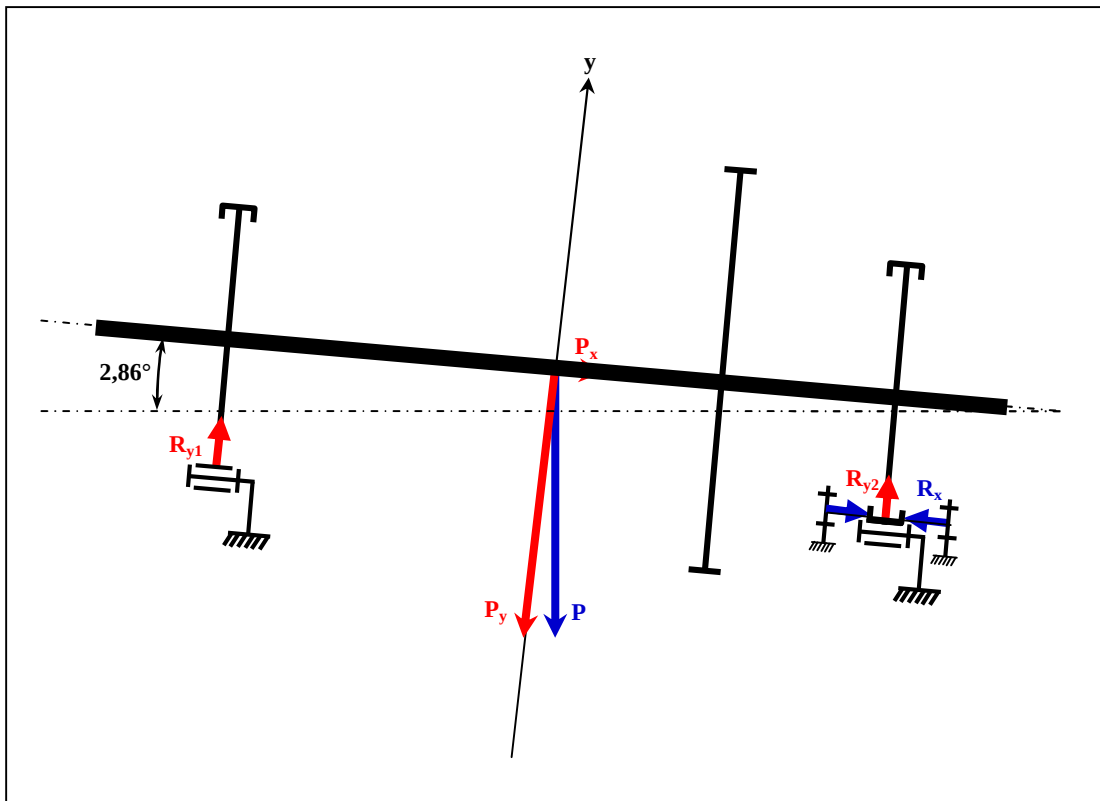


- $S_l = 2S_1 + 2S_2 + S_3$
- $S_l = 7,75 \text{ m}^2$

Annexe IX : Calcul de la contrainte d'Hertz

- $E_1 = E_2 = E = 200 \text{ GPa}$
- $\sigma_{adm} = 600 \text{ à } 700 \text{ MPa}$
- $R_1 = 2325 \text{ mm}$
- $R_2 = 450 \text{ mm}$
- $g = 9,81 \text{ N/kg}$
- $m_{couronne} = 13 \text{ t}$
- $m_{virole} = 72,234 \text{ t}$
- $m_{bandage} = 11,88 \text{ t}$
- $L = 550 \text{ mm}$





- Masse du produit :

$$m_p = \rho_p \times V_{\text{virole}} \times K_{\text{remplissage}}$$

$$m_p = 0,95 \times \pi \times 2^2 \times 30,3 \times 0,155 = 56,06 \text{ t}$$

- Le poids appliqué sur les galets :

$$P = m_t \times g = m_c + m_v + m_b + m_p \times g$$

$$P = 1619,17 \text{ kN}$$

- Calcul des réactions R_1 et R_2 :

$$F_{\text{ext}} = m\gamma = 0$$

$$\bar{P} + \bar{R}_1 + \bar{R}_2 = 0$$

$$R_{1y} + R_{2y} = P \cos(2,86)$$

Projection sur (oy) :

$$M_{ext/1} = 0$$

$$R_1 = R_2 = 808,57 \text{ kN}$$

- La charge par unité de largeur :

$$q = \frac{808,57 \cdot 10^3}{550} = 1470,12 \text{ N/mm}$$

- La contrainte d'Hertz :

$$\sigma_{max} = 0,59 \frac{q E_1 E_2 (R_1 + R_2)}{R_1 R_2 (E_1 + E_2)}$$

$$\sigma_{max} = 11,65 \text{ MPa}$$

- Critère de dimensionnement :

$$\sigma_{max} < \sigma_{adm}$$

Bien vérifié

BIBLIOGRAPHIE

- **[Réf 1]** : Document interne de l’office chérifien des phosphates.
- **[Réf 2]** : Cahier de marche des lignes de production des engrais MARPHOS Jorf Lasfar.
- **[Réf 3]** : Calcul établie par service contrôle gestion.
- **[Réf 4]** : Extrait de système mécanique, Dunod.
- **[Réf 5]** : Les échangeurs de chaleur - Rafic YOUNES.
- **[Réf 6]** : Notions de mécanique des fluides - Riadh BEN HAMOUDA, Octobre 2008.
- Manuel 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 équipements mécaniques. Bureau ACX / Bloc logistiques
- Base des données et fichiers historiques des demandes d’interventions
- Cours de gestion de Maintenance et qualité de la FST Fès de l’Université Sidi Mohamed Ben Abdellah.
- Cours des éléments de machines de la FST Fès de l’Université Sidi Mohamed Ben Abdellah..
- Cours de gestion de production de la FST Fès de l’Université Sidi Mohamed Ben Abdellah.
- Cours de régulation industrielle de la FST – Béni Mellal de l’Université Sultan Moulay Slimane.

WEBOGRAPHIE

- <http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/mecanique-th7/transmission-de-puissance-hydraulique-42187210/>
- http://www.Géniermécaniquepro.com/Php/produits_sv.php?navig=3&choix=sv
- <http://www.ocpgroup.ma>

Chapitre I

Présentation de l'organisme Et du service d'accueil

Chapitre II

Procédé de séchage et son système mécanique d'entraînement actuel

Chapitre III

Problème de la lubrification actuelle et son impact sur la production

Chapitre IV

Concepts utilisés de l'ingénierie mécanique

Chapitre V :

Solutions et recommandations proposées

Chapitre VI :

Étude technico – économique

Annexes