Université Mohammed V de Rabat
Ecole Mohammadia d'Ingénieurs
Département : Génie Mécanique

Rapport de stage PFA

Élaboré par :

LARAISSE Hiba

YAZIDI Hamza

Spécialité : Génie Mécanique

« Analyse et optimisation des performances hydrauliques de la pompe centrifuge LC50-350 N1 au sein du complexe OCP Jorf Lasfar (JFC2) »

Parrain de stage: MONSIEUR BENNIS Hamza

Année universitaire 2024/2025

Remerciements

Au terme de ce projet de fin d'année, nous souhaitons exprimer nos plus sincères remerciements à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

Nous adressons tout particulièrement notre gratitude à **Monsieur El Mansori** pour nous avoir accueillis au sein du complexe **OCP Jorf Lasfar** et offert l'opportunité d'effectuer ce stage dans un cadre professionnel riche et formateur. Nos remerciements vont également à **Monsieur Bennis Hamza**, notre parrain de stage, pour son encadrement, ses orientations précieuses et son soutien constant tout au long de cette expérience.

Nous restons reconnaissants envers l'ensemble du personnel du complexe **OCP Jorf Lasfar**, et plus spécialement celui de **JFC2**, pour leur disponibilité, leur coopération et leur appui.

Enfin, nous tenons à exprimer notre profonde reconnaissance à toutes les personnes qui, par leurs conseils, leurs encouragements et leur soutien, ont contribué à la réussite de ce travail.

Résumé

Ce projet de fin d'année a été réalisé au sein du complexe industriel **OCP Jorf Lasfar**, plus précisément dans l'unité **Jorf Fertilizer Company II (JFC2)**. Il s'inscrit dans le cadre de l'étude et de l'optimisation des équipements de pompage utilisés dans les procédés de production d'acide phosphorique et d'engrais.

L'objet de ce travail est l'**analyse des performances hydrauliques de la pompe centrifuge LC50-350 N1**. Cette pompe, intégrée dans le circuit de transfert de fluide, a présenté certains dysfonctionnements nécessitant une investigation détaillée.

L'étude a porté sur :

- la vérification des grandeurs de fonctionnement (puissance, couple, rendement hydraulique) ;
- l'évaluation du risque de cavitation à partir des valeurs de $NPSHa$ et $NPSHr$;
- la comparaison du point de fonctionnement réel avec le point de meilleure efficacité (BEP) ;
- l'estimation du diamètre de l'impeller et la cohérence avec les spécifications constructeur.

Les résultats ont montré que la pompe fonctionne à gauche du BEP, avec un rendement limité (environ 50%), et présente un **risque de cavitation** lié à l'insuffisance de la pression nette d'aspiration disponible. Des pistes d'**optimisation** ont été proposées, telles que l'amélioration des conditions d'aspiration, l'ajustement de la vitesse de rotation et le rapprochement du point de fonctionnement du BEP.

Ce travail illustre l'importance de la maîtrise des phénomènes hydrauliques dans les systèmes de pompage et contribue à l'optimisation des procédés industriels au sein du Groupe OCP.

Nomenclature

Symboles

A Aire de section [m^2]

B Paramètre de viscosité [-]

C Couple [N.m]

C_H Facteur de correction de hauteur [-]

C_Q Facteur de correction de débit [-]

C_η Facteur de correction de rendement [-]

C_{NPSH} Facteur de correction NPSH [-]

D Diamètre [m]

f_D Coefficient de perte de charge de Darcy [-]

g Accélération gravitationnelle [m/s^2]

H Hauteur manométrique [m]

H_f Pertes de charge totales [m]

H_L Pertes de charge linéaires [m]

H_S Pertes de charge singulières [m]

K_i Coefficient de perte de charge singulière [-]

L Longueur [m]

l Longueur verticale ajoutée [m]

N Vitesse de rotation [tr/min]

N_s Vitesse spécifique [-]

P Puissance [W]

P_{abs} Puissance absorbée [W]

P_h Puissance hydraulique [W]

P_{atm} Pression atmosphérique [Pa]

P_v Pression de vapeur [Pa]

Q Débit volumique [m^3/s]

Re Nombre de Reynolds [-]

T Température [°C]

U Vitesse périphérique [m/s]

V Vitesse d'écoulement [m/s]

Z_s Hauteur géométrique d'aspiration [m]

Lettres grecques

η Rendement [-]

ζ Coefficient de perte de charge singulière [-]

μ Viscosité dynamique [Pa.s]

ν Viscosité cinématique [cSt]

ρ Masse volumique [kg/m^3]

Acronymes

BEP Point de meilleure efficacité (Best Efficiency Point)

BMP Bunge Maroc Phosphore

CAP Concentration d'Acide Phosphorique

CIJ Complexe Industriel Jorf Lasfar

DAP Diammonium Phosphate

EMAPHOS Euro Maroc Phosphore

EPI Équipements de Protection Individuelle

FSA Acide Fluosilicique

HC Hors Cadres

IMACID Indo Maroc Phosphore

JFC Jorf Fertilizer Company

JPH Jorf Phosphore Hub

MAP Monoammonium Phosphate

NPSH Net Positive Suction Head

NPSHa NPSH disponible

NPSHr NPSH requis

OCP Office Chérifien des Phosphates

OE Ouvriers et Employés

PAP Acide Phosphorique Purifié

PFA Projet de Fin d'Année

PMP Pakistan Maroc Phosphore

SAP Acide Sulfurique Purifié

SG Specific Gravity (Densité relative)

SSP Single Superphosphate

TAMCA Techniciens, Agents de Maîtrise et Cadres Administratifs

TED Traitement d'Eau Douce

TMH/j Tonnes Métriques par Heure par Jour

TSP Triple Superphosphate

UM6P Université Mohammed VI Polytechnique

WPA Wet Process Acid (Acide par procédé humide)

Table des matières

Remerciements i

Résumé ii

Nomenclature iii

Chapitre I : Introduction générale 1

Chapitre II : Présentation de l'organisme d'accueil 2

I. Présentation de l'Office chérifien des phosphates (OCP) . . . 2
I.1. Généralités . . . 2
I.2. Historique . . . 3
I.3. Ressources minérales du groupe OCP . . . 4
I.4. Statut juridique du groupe OCP . . . 5
I.5. Activités du groupe OCP . . . 6
I.6. Organigramme du groupe OCP . . . 7
I.7. Personnel du groupe OCP . . . 8
I.8. Conditions du travail au groupe OCP . . . 9
I.9. Filiales du groupe OCP . . . 10
II. Présentation d'OCP Jorf Lasfar . . . 11
II.1. Présentation du pôle chimique Jorf Lasfar : . . . 11
II.2. Aperçu technique sur l'acide phosphorique et les engrais . . . 13
III. Unité d'accueil JORF FERTILIZER COMPANY II (JFC2) . . . 17
III.1. Présentation de l'organisme d'accueil : Jorf Fertilizers Company II (JFD) . . . 17
II.2. Atelier de traitement d'eau douce (TED) . . . 19
II.3. Atelier d'acide Sulfurique . . . 20
II.4. Atelier d'acide phosphorique . . . 21
II.5. Centrale thermoélectrique . . . 23
II.6. Ateliers des engrais . . . 24
III. Description du procédé de fabrication des engrais . . . 25
III.1. Survol du procédé général . . . 25
III.2. L'atelier phosphorique . . . 27
III.3. Description de procédé . . . 28
III.4. L'épaississement . . . 30
III.5. Réaction . . . 31
III.6. Filtration . . . 33

III.7. Stockage de l'acide 28 % . . . 35
III.8. Concentration de l'acide 54 % . . . 37
III.9. Production FSA . . . 39
III.10. Stockage acide 54 % . . . 40
III.11. Épurateur de fumées (scrubber) . . . 40
III.12. Tour de refroidissement . . . 41
IV. Conclusion . . . 43

Chapitre III : Les pompes centrifuges **44**
I. Introduction . . . 44
II. Principe de fonctionnement . . . 45
III. Composants principaux . . . 46
III.1. Arbre . . . 46
III.2. Turbine (ou rotor) . . . 46
III.3. Corps (ou carter) . . . 47
III.4. Couvercle . . . 47
III.5. Garniture d'étanchéité d'arbre . . . 47
III.6. Roulements et support . . . 48
III.7. Matériaux . . . 48
IV. Paramètres caractéristiques . . . 48
IV.1. Débit volumique Q [m^3/s ou L/min] . . . 48
IV.2. Hauteur manométrique H [m] . . . 48
IV.3. Vitesse de rotation N [tr/min] . . . 49
IV.4. Rendement η . . . 49
IV.5. Puissance absorbée P_{abs} [W ou kW] . . . 49
IV.6. Vitesse spécifique N_s . . . 49
IV.7. Point de fonctionnement . . . 49
V. Courbes caractéristiques . . . 50
V.1. Courbe H(Q) – Hauteur manométrique . . . 50
V.2. Courbe $\eta(Q)$ – Rendement . . . 50
V.3. Courbe $P(Q)$ – Puissance absorbée . . . 51
V.4. Intérêt de ces courbes . . . 51
VI. Types de pompes centrifuges . . . 52
VI.1. Pompe centrifuge à turbine fermée . . . 52
VI.2. Pompe centrifuge à turbine à canal . . . 53
VI.3. Pompe centrifuge à turbine vortex . . . 54
VII. Avantages et problèmes courants . . . 54
VII.1. Avantages des pompes centrifuges . . . 54

VII.2. Problèmes courants rencontrés 55
VIII. Conclusion 55

Chapitre IV : Analyse des Problèmes de la Pompe LC50-350 N1 57
I. Introduction 57
II. Données de Fonctionnement de la Pompe 57
III. Analyse de Cavitation 58
III.1. Calcul de $NPSH_r$ 58
III.2. Calcul de $NPSH_a$ 64
III.3. Vérification des Performances et Position par rapport au BEP 68
III.4. Analyse Globale des Performances 69
IV. Conclusion 70

Chapitre V : Amélioration des performances hydrauliques de la Pompe LC50-350 N1 71
I. Introduction 71
II. Interpolation de coefficient de perte de charge singulier 71
III. Changement de longueur et diametre de tuyau 74
IV. Solution par élévation verticale du circuit d'aspiration 77
V. Choix d'une autre Pompe 81
V.1.Calcul de la Vitesse dans les Tuyaux 81
V.2.Dimensionnement du Diamètre d'Aspiration 81
V.3.Dimensionnement du Diamètre de Refoulement 82
V.4.Calcul du Nombre de Reynolds 82
V.5. Choix de la Pompe 83
VI. Conclusion 86

Chapitre VI : Conclusion générale 88

Bibliographie 89

Annexes 92

Liste des figures

1 Frise chronologique du Groupe OCP (1921–1980) . . . 3
2 Frise chronologique du Groupe OCP (1981–2007) . . . 3
3 Frise chronologique du Groupe OCP (2008–2011) . . . 3
4 Histoire d'OCP . . . 4
5 Zone d'activités du groupe OCP . . . 5
6 Activités du groupe OCP . . . 7
7 Organigramme du groupe OCP . . . 8
8 Organigramme de Jorf JFC2 . . . 12
9 Schéma de procédé de superphosphate simple (SSP) . . . 14
10 Vue d'ensemble de l'industrie . . . 17
11 L'entité JFC II (JFD) . . . 19
12 Structure d'atelier de traitement d'eau douce . . . 20
13 Circuit de l'acide sulfurique . . . 21
14 Structure de l'atelier de l'acide sulfurique . . . 21
15 Structure de l'atelier de l'acide phosphorique . . . 22
16 Structure de la centrale thermoélectrique . . . 23
17 Structure de l'atelier des engrais . . . 24
18 Processus de l'usine Jorf Lasfar . . . 27
19 Schéma globale du procédé . . . 28
20 Schéma global du procédé PAP . . . 30
21 Principales composantes de l'épaississeur . . . 31
22 Circuit de la réaction . . . 33
23 Circuit de la filtration . . . 33
24 Bilan global de l'unité attaque-filtration . . . 35
25 Schéma de stockage de l'acide 28 % . . . 36
26 Schéma du CAP . . . 39
27 Principales composantes du laveur de fumée . . . 41
28 Schéma principal de circulation de l'eau . . . 43
29 Pompe centrifuge . . . 44
30 Principe de fonctionnement . . . 45
31 Les composantes d'une pompe centrifuge . . . 46
32 Courbe caractéristique H(Q) d'une pompe centrifuge . . . 50
33 Courbe de rendement $\eta(Q)$ d'une pompe . . . 51
34 Courbe de puissance absorbée $P(Q)$ d'une pompe . . . 52
35 Pompe centrifuge à turbine fermée . . . 53
36 Pompe centrifuge à turbine à canal . . . 54

37 Pompe centrifuge à turbine vortex 54
38 Organigramme permettant de déterminer les performances d'une pompe sur un liquide visqueux lorsque les performances sur l'eau sont connues . . 61
39 Courbe des Performance Hydraulique 62
40 Coefficients de Perte de Charge Singulier 66
41 Pression de Vapeur en fonction de concentration 67
42 Fonction et Points d'interpolation 73
43 NPSHa et NPSHr en fonction du diamètre et longueur (cas A) 76
44 NPSHa et NPSHr en fonction du diamètre et longueur (cas B) 76
45 NPSHa en fonction du diamètre et longueur (cas A) 76
46 NPSHa en fonction du diamètre et longueur (cas B) 76
47 Perte de Charge en fonction du diamètre et longueur (cas A) 76
48 Perte de Charge en fonction du diamètre et longueur (cas B) 76
49 NPSHa en fonction de longueur verticale ajouté (cas A) 78
50 NPSHa en fonction de longueur verticale ajouté (cas B) 78
51 Perte de charge en fonction de longueur verticale ajouté (cas A) 78
52 Perte de charge en fonction de longueur verticale ajouté (cas B) 78
53 Courbe de performance de la pompe Lowara 22SV 85

Liste des tableaux

1 matières premières d'engrais . . . 15
2 Roches phosphatées extraites et réserves restantes . . . 16
3 Résumé des données de fonctionnement de la pompe LC50-350 N1 . . . 58
4 Paramètres de la Pompe . . . 60
5 Résultats des calculs de correction de viscosité . . . 63
6 Paramètres et résultats des calculs hydrauliques . . . 65
7 Calcul des pertes de charge singulières . . . 66
8 Pression de vapeur pour différents cas . . . 67
9 Calcul du NPSH disponible et déficit . . . 68
10 Points d'interpolation du coefficient de perte de charge ζ en fonction de la vitesse V et du diamètre D . . . 74
11 Résultats des différentes configurations . . . 79
12 Verification de HMT . . . 80
13 Calcul de NPSHr pour la pompe Lowara 22SV . . . 84
14 Calculs de Déficit de la pompe Lowara 22SV . . . 84
15 Comparaison des solutions techniques pour résoudre le problème de cavitation 86