



Université Sidi Mohamed Ben Abdellah
Faculté des Sciences et Techniques de Fès



Département de Génie Industriel



Mémoire de Projet de Fin d'Etude

Préparé par

HALLIOUI Anouar

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat

Spécialité : **Ingénierie en Mécatronique**

Intitulé

Etude de projet de modification concernant le système d'entraînement de la pompe d'eau de secours des chaudières HP (Haute Pression).

Lieu : OCP - Complexe Industriel de Safi – Maroc Phosphore 1 – Ligne sulfurique H

Réf : 14 /IMT17



Soutenu le 21 Juin 2017 devant le jury :

- Pr. Hassan KABBAJ
- Mr. Hassan ET-TAFS
- Pr. L'Habib HAMED
- Pr. Driss TAHRI

Année Universitaire : 2016/ 2017

Résumé :

Dans le cadre des améliorations planifiées au niveau du procédé de production de l'acide sulfurique à la ligne H de Maroc Phosphore I, et de garantir la protection et la sécurité des tubes à gaz SO₂ des chaudières de production de la vapeur HP dans toutes les situations de l'usine, ce travail vise à l'étude complète d'un projet de modification concernant le système d'entraînement d'une pompe d'eau de secours P-01-01C des tubes des chaudières HP en cas d'indisponibilité des deux électropompes HP de P-01-01A et P-01-01B de la ligne H, par changement du système thermique (turbine à vapeur HP) par un système électrique (moteur électrique). En effet, avoir un nouveau groupe électropompe (à l'état final) de secours P-01-01C des chaudières HP de la ligne H, au lieu d'avoir un groupe turbopompe (à l'état initial) de même repère géographique P-01-01C, en gardant la même pompe. Ce projet de fin d'étude s'est organisé autour de quatre activités suivantes :

- Maîtriser le milieu de projet, car la connaissance du procédé (chantier) de production de la ligne H et l'adaptation avec ses circuits et surtout le circuit énergétique (dont la pompe concernée par l'étude fait partie) est une condition initiale et un prérequis essentiels pour travailler sur ce projet au sein de l'usine ;
- Etablir la méthodologie adoptée pour le traitement du projet, et un état du lieu de la turbopompe P-01-01C (la pompe à l'état initial) à la ligne H, dans la mesure d'identifier et de caractériser le problème majeur, ainsi qu'analyser ses problèmes principales liés à l'entraînement de la pompe de secours des chaudières grâce à la turbine à vapeur HP ;
- Résoudre le problème, par étude et développement des différentes parties du nouveau système d'entraînement de la pompe de secours, puis l'intégration du nouveau groupe électropompe dans le réseau électrique secouru par les groupes électrogènes de l'usine ;
- Etablir un plan-schéma général de réalisation de la solution dans l'usine pour chiffrer le projet, et chiffrage du gain faisant l'avantage essentiel de la solution pour MP1, après la protection et la sécurité des chaudières HP de la ligne H.

Mots clés :

Ligne H, chaudières HP, vapeur HP, turbine à vapeur HP, tubes à gaz SO₂ (ou tubes des chaudières HP), groupe turbopompe, état initial, état final, nouveau groupe électropompe, moteur électrique, groupes électrogènes.

Abstract :

As part of planned improvements in the sulfuric acid production process at the H-line of Morocco Phosphore I, and to ensure the protection and safety of SO₂ gas tubes from HP steam boilers in all The purpose of this work is to study a complete modification of the drive system for a P-01-01C emergency water pump for HP boiler tubes in the event of unavailability Of the two HP electropumps of P-01-01A and P-01-01B of line H, by changing the thermal system (HP steam turbine) by an electrical system (electric motor), in fact, having a new electropump unit (In the final state) P-01-01C of the HP H-line boilers, instead of having a turbopump unit (in the initial state) with the same geographical reference P-01-01C, keeping the same pump. This final project was organized around four activities:

- Mastering the project environment, as knowledge of the H line production process and its adaptation with its circuits and especially the energy circuit (including the pump concerned by the study) is an initial condition and An essential prerequisite for working on this project within the factory;
- Establish the methodology adopted for the treatment of the project and a state of the turbopump P-01-01C (the pump in the initial state) at line H, in order to identify and characterize the major problem , As well as to analyze its main problems related to the drive of the boiler emergency pump using the HP steam turbine;
- To solve the problem by studying and developing the different parts of the new emergency pump system and integrating the new pump unit into the power system backed up by the generators of the plant;
- Establish a master plan for the realization of the solution in the plant to encrypt the project, and gain cipher making the main advantage of the MP1 solution after the protection and safety of the HP line H-boilers.

Keywords :

HP line, HP boilers, HP steam, HP steam turbine, SO₂ gas tubes (or HP boiler tubes), turbopump unit, initial state, Final state, new electric pump, electric motor, generators.

Dédicace :

Je dédie ce travail :

A mon cher père décédé, qui a fait tout ce qu'il a pu dans cette vie, afin que je sois à ce niveau.

A ma chère mère qui a tant donné.

Pour son immense soutien, son grand amour, ses sacrifices et ses prières.

Qu'elle accepte ici l'hommage de ma gratitude, qui, si grande qu'elle puisse être, ne sera jamais à la hauteur de sa tendresse et son dévouement.

A mon cher frère.

A ma chère sœur.

Vous aviez toujours crue en moi, et c'est dans votre présence que j'ai puisé la volonté de continuer.

A toute ma famille.

A tous mes chers amis et à toutes mes chères amies.

A tous mes chers enseignants et à toutes mes chères enseignantes.

A tous ceux que j'aime.

A tous ceux qui m'aiment.

A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin.

Remerciements :

Au terme de mon Projet de Fin d'Etudes, j'exprime ma profonde gratitude à Monsieur le Doyen de la Faculté des Sciences et Techniques de Fès et tout le cadre administratif et professoral pour leurs efforts considérables dans le sens de la formation d'Ingénieur, spécialement le département de Génie Industriel et la filière d'Ingénieur « Ingénierie en Mécatronique ».

Je présente également mes sincères remerciements au Professeur **Mr. Hassan KABBAJ** mon encadrant à la Faculté des Sciences et Techniques de Fès, pour ces efforts précieux, son orientation pédagogique professionnelle, et son suivi précis de toutes les étapes de ce projet, ainsi que pour la richesse et la grande valeur de ses propositions et de ses directives, afin d'accomplir ce travail dans les meilleures conditions.

Au niveau de la société de stage, j'adresse mes sincères considérations à la direction de Maroc Phosphore I, au responsable de procédé sulfurique **Mr. Hassan ET-TAFS** et le responsable d'atelier de la ligne sulfurique H **Mr. Saïd ED-DERFOULI**, pour leur accompagnement et surtout la confiance qu'ils m'ont témoigné en me donnant l'occasion de mener cet important projet au sein de la ligne sulfurique H de Maroc Phosphore I.

Mes profondes gratitudes à **Mr. EDAHBI** et **Mr. CHAHLAOUI** représentants du service maintenance mécanique pour leur encouragement et leurs aides sur terrain et en documentation nécessaire pour la partie opérative du projet, et à **Mr. MOUHALA** et **Mr. ELMAÄROFI** les représentants du service électrique, ainsi que les techniciens et les opérateurs de production de la centrale électrique de l'usine. A **Mr. Y.BZIKHA** pour son encouragement et ses remarques considérables dans le cadre de mon projet.

Je tiens à remercier, tout particulièrement, mes collaborateurs Chefs d'équipes et Opérateurs de production dans la salle de contrôle de la ligne H pour leur intérêt, ainsi que le contre maître de la ligne H **Mr. LAHMADI**, le secrétaire administratif **Mr. BOUNOUH** et le secrétaire technique **Mr. MAZMIZI** pour leur mobilité, leurs conseils et leur accompagnement dans l'usine. Que tout le personnel de Maroc Phosphore I trouve ici l'expression de mon respect et reconnaissance, chacun par son nom et qu'ils me pardonnent.

Je remercie, également les membres de jury d'avoir accepté d'évaluer mon travail.

Vers la fin, il m'est très agréable d'exprimer toute ma reconnaissance pour ceux qui m'ont entouré de près ou de loin pendant mes années études pour leur soutien, leur aide et, surtout, pour leur sympathie. Qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde reconnaissance et mon profond respect.

HALLIOUI Anouar

Liste des figures :

Figure 1 : Les étapes de production de l'acide sulfurique & l'emplacement des pompes d'eau d'alimentation des chaudières HP dans la ligne H.....	5
Figure 2 : Circuit de gaz du procédé de la ligne sulfurique H.	7
Figure 3 : Circuit de l'acide sulfurique à 98,5% de concentration.....	8
Figure 4 : Le circuit d'acide HRS de la ligne sulfurique H.	9
Figure 5 : Schéma de circuit énergétique de la ligne sulfurique H.	11
Figure 6 : Liste des étapes de la démarche de traitement du projet.	12
Figure 7 : Diagramme GANTT du projet, réalisé avec OPEN WORKBENCH PROJECT MANAGEMENT.....	14
Figure 8 : Emplacement de la pompe P-01-01C avec sa turbine à vapeur HP (turbopompe) sur le circuit énergétique.	15
Figure 9 : Diagramme SADT du Groupe électropompe P-01-01C sur le circuit énergétique de la ligne H.....	16
Figure 11 : Les deux groupes électropompes d'eau alimentaire HP P-01-01A et P-01-01B de la ligne H.....	17
Figure 10 : Dos du groupe turbopompe P-01-01C de la ligne H.	17
Figure 12 : Les composants principaux du groupe turbopompe P-01-01C de la ligne H.....	18
Figure 13 : Schéma cinématique de fonctionnement du groupe turbopompe (la pompe P-01-01C à l'état initial).	20
Figure 14 : Valeurs des grandeurs nécessaires au calcul de la puissance consommée par la turbine en cas de préparation avec la vapeur BP.....	21
Figure 15 : Valeurs des grandeurs nécessaires au calcul de la puissance consommée par la turbine en cas d'un essai de marche de la turbopompe.	21
Figure 16 : La partie opérative du nouveau groupe électropompe P-01-01C de la ligne H.	24
Figure 17 : Modèle du nouveau groupe électropompe P-01-01C et son boîtier de commande locale de M/A, réalisé avec le logiciel CATIA V5.	28
Figure 18 : Schéma électrique simplifié des départs-transformateurs et des départs-moteurs pouvant être secourus par les groupes électrogènes de la centrale de MP1.....	29
Figure 19 : Le groupe électrogène défaillant GE2 de la centrale de MP1.	35
Figure 20 : Le groupe électrogène GE1 de la centrale de MP1.	35
Figure 21 : Schémas des différents types des départ-moteurs.	37
Figure 22 : Schéma de puissance triphasé unifilaire du moteur de la pompe P-01-01C.	38
Figure 23 : Chemin de câble de puissance du moteur & Distance approximative entre le moteur de la pompe P-01-01C et son disjoncteur à la centrale de MP1.....	39
Figure 24 : Post du système DELTAV de la ligne H.....	43
Figure 25 : Programme de commande de moteur de la pompe P-01-01C de la ligne H, extrait de l'environnement du logiciel du système DELTA V.....	46
Figure 26 : Schéma du principe de commande de Marche/Arrêt locale et à distance du moteur de la pompe P-01-01C.....	48
Figure 27 : Eléments essentiels du système de commande DELTA V.....	49
Figure 28 : Cas de production à cadence réduite et empêchement d'arrêt de la ligne H grâce à l'électropompe de secours P-01-01C lorsque les deux autres pompes sont à la réparation.....	53

Liste des tableaux :

Tableau 1 : Informations sur le groupe OCP.	3
Tableau 2 : Tâches du projet avec les dates de début et de fin de la réalisation.	14
Tableau 3 : Causes principales du problème majeur, liées à l'entraînement de la pompe P-01-01C par turbine à vapeur.	19
Tableau 4 : Bilan de chiffrage de l'énergie annuelle exigée par la turbine à vapeur HP sans utilité de la pompe à la ligne H.	22
Tableau 5 : Tableau récapitulatif de dimensionnement du moteur électrique compatible avec la pompe P-01-01C.	26
Tableau 6 : Bilan de consommation de courant par les charges névralgiques en cas déclenchement électrique de l'usine.	34
Tableau 7 : Caractéristique du départ-moteur du nouveau groupe électropompe P-01-01C.	38
Tableau 8 : Tableau des Entrées et des Sorties du module-moteur de la pompe P-01-01C dans le système DELTA V.	45
Tableau 9 : Budget nécessaire à la réalisation du projet (de la solution) à l'usine.	52
Tableau 10 : Niveaux de cadence de la ligne sulfurique H, valeurs données par le constructeur du procédé de la ligne H.	54

Liste des abréviations :

- **MP1 :** Maroc Phosphore I ;
- **CIS :** Complexe Industriel de Safi ;
- **HP :** Haute Pression ;
- **BP :** Basse Pression ;
- **HRS :** Heat Recovery System (système de récupération de chaleur) ;
- **CIS :** Complexe Industriel de Safi ;
- **MT :** Moyenne Tension ;
- **BT :** Basse Tension ;
- **CAO :** Conception Assistée par Ordinateur ;
- **ACP :** Acide Phosphorique ;
- **M/A :** Marche/Arrêt ;
- **E/S :** Entrées/Sorties ;
- **GE :** Groupe Electrogène ;
- **TA :** Turboalternateur ;
- **TF :** Transformateur ;
- **TED :** Traitement de l'Eau Douce ;
- **DO :** Discret Out (Sortie logique) ;
- **DI :** Discret In (Entrée analogique) ;
- **MDH :** Millions de Dirhams ;
- **MAD/ ARD :** Marche A Distance/ Arrêt A Distance.

Liste des annexes :

- **Annexe I** : Circuit HRS de la ligne H ;
- **Annexe II** : Bac d'eau traitée ;
- **Annexe III** : Circuit de gaz 1/2 – séchage – combustion ;
- **Annexe IV** : Bâche alimentaire de la ligne H ;
- **Annexe V** : Fiche du dernier essai de démarrage de la turbopompe P-01-01C ;
- **Annexe VI** : Diagramme de MOLLIER de vapeur de l'eau ;
- **Annexe VII** : pages 1/2 et 2/2, fiches des caractéristiques de la pompe P-01-01C avec sa turbine ;
- **Annexe VIII** : Scénario 1 de consommation de courant sur le réseau secouru de MP1 après la modification (avec le nouveau groupe électropompe P-01-01C) ;
- **Annexe IX** : Scénario 2 de consommation de courant sur le réseau secouru de MP1 après la modification (avec le nouveau groupe électropompe P-01-01C) ;
- **Annexe X** : Scénario 3 de consommation de courant sur le réseau secouru de MP1 après la modification (avec le nouveau groupe électropompe P-01-01C) ;
- **Annexe XI** : Tableau BA de la norme NF C13-205 ;
- **Annexe XII** : Tableau 52B de la norme NF C13-205 ;
- **Annexe XIII** : Tableau 52C11 de la norme NF C13-205 ;
- **Annexe XIV** : Plan-schéma unifilaire modifié du réseau secouru de MP1 (Plan avec le nouveau groupe électropompe P-01-01C de la ligne H) ;
- **Annexe XV** : Schéma du disjoncteur (départ-moteur) SIEMENS du moteur de la pompe P-01-01C ;
- **Annexe XVI** : Plan-schéma de réalisation du projet du nouveau système d'entraînement de la pompe P-01-01C de la ligne H.

Table des matières

Introduction générale.....	1
Chapitre I : Présentation sur l'environnement de stage :	
Introduction.....	3
I)- Présentation sur l'organisme de stage.....	3
I-1)- Présentation du groupe OCP	3
I-2)- Présentation du Complexe Industriel de Safi (CIS)	4
I-3)- Présentation de Maroc Phosphore I	4
I-4)- Ligne sulfurique H	4
II)- Description du procédé de production de la ligne H.....	5
Chapitre II : Méthodologie adoptée & Etat du lieu de la turbopompe P-01-01C :	
Introduction	12
I)- Méthodologie adoptée	12
I-1)- Approche de traitement de projet	12
I-2)- Ordonnancement des tâches du projet	13
II)- Etat du lieu de la turbopompe P-01-01C	15
II-1)- Description de l'état initial (état de fonctionnement turbopompe P-01-01C).....	15
II-2)- Analyse des causes du problème majeur	18
II-2-1)- Causes principales liées à l'entraînement de la pompe par turbine à vapeur	18
II-2-2)- Chiffrage de l'énergie annuelle exigée par la turbine à vapeur HP	19
Chapitre III : Solution et développement :	
Introduction.....	23
I)- Partie opérative du nouveau groupe électropompe P-01-01C	23
I-1)- Dimensionnement du moteur électrique compatible avec la pompe P-01-01C	23
I-2)- Dimensionnement de l'accouplement du moteur avec la pompe P-01-01C	27
I-3)- CAO du modèle de nouveau groupe électropompe P-01-01C avec emplacement de son boîtier de commande locale de M/A	27
II)- Partie d'alimentation électrique et installation de puissance du moteur	28
II-1)- Maîtrise du réseau électrique secouru par les GE en cas de déclenchement électrique de l'usine	28

II-1-1)-Schéma électrique simplifié des départs-transformateurs et des départs-moteurs secourus dans l'usine	28
II-1-2)- Bilan de consommation de courant par les charges névralgiques en cas de déclenchement électrique de l'usine.....	30
II-1-3)- Création des scénarios sur le réseau secouru et dimensionnement du groupe électrogène nécessaire pour remplacer le GE2 défaillant.....	34
II-2)- Dimensionnement de l'installation électrique de puissance pour pour le moteur de la pompe P-01-01C	37
II-2-1)- Départ-moteur du nouveau groupe électropompe P-01-01C.....	37
II-2-2)- Dimensionnement du câble de puissance du moteur de la pompe P-01-01C selon la norme NF C13-205.....	38
II-3)- Modification du plan-schéma électrique du réseau secouru de MP1.....	41
III)- Partie commande et asservissement du moteur de la pompe P-01-01C	42
III-1)- Description de la commande de Marche/Arrêt du moteur.....	42
III-2)- Description de l'asservissement du moteur avec le procédé de la ligne H.....	42
III-3)- Le système d'automatisation numérique DELTA V de la ligne H.....	42
III-4)- Organigramme de l'algorithme de commande du moteur de la pompe P-01-01C	44
III-5)- Les entrées et les sorties du module de moteur de la pompe P-01-01C dans le système DELTA V	45
III-6)- Programme (ou module) de commande du moteur de la pompe P-01-01C dans le système DELTAV	46
III-7)- Schéma électrique du principe de commande de M/A locale et à distance du moteur de la pompe P-01-01C.....	47

Chapitre IV : Plan-schéma de réalisation et chiffrage de projet & Chiffrage du gain pour MP1 :

Introduction	50
I)- Plan-schéma de réalisation du projet à l'usine	50
II)- Chiffrage de projet	50
III)- Chiffrage du gain pour l'usine en cas d'empêchement d'arrêt de production à la ligne H grâce à ce projet.....	52

Conclusion générale 56

Introduction générale :

La production de l'acide sulfurique et de la vapeur HP (Haute Pression) et BP (Basse Pression) au niveau de Maroc Phosphore I est renforcée par la construction de la ligne sulfurique H en 2009. Cette ligne sulfurique est à la fois, un fournisseur et client de la vapeur HP qu'elle crée, d'une part, elle fournit la vapeur HP principalement aux groupes turbo-alternateurs de la centrale électrique pour générer l'électricité nécessaire à l'alimentation de toute l'usine, et d'une autre part, elle consomme la vapeur HP car elle comporte des équipements entraînés par des turbines à vapeur HP tels que la **turbopompe P-01-01C** de secours des chaudières HP, et une turbosoufflante qui aspire l'air ambiant nécessaire au procédé de la ligne H. La création de vapeur HP au niveau du circuit énergétique de la ligne sulfurique H, se fait grâce à deux chaudières HP de repères géographiques H-01-01A et H-01-01B par échange de chaleur entre : **le gaz SO₂ sortant à une température de 1135°C** du four de combustion de soufre liquide et **l'eau alimentaire** fournie lors de la marche normale de production dans l'usine par l'une des deux électropompes HP de repères géographiques P-01-01A et P-01-01B.

Actuellement, en cas d'indisponibilité des deux électropompes HP P-01-01A et P-01-01B (cas de problème au niveau des deux pompes ou cas de déclenchement électrique général et arrêt de l'usine), la turbopompe P-01-01C a pour rôle de secourir (empêcher la chute de niveau de l'eau dans le ballon) les tubes des chaudières HP dont il passe le gaz SO₂ à haute température (1135°C). **Mais**, en cas d'indisponibilité de ces deux électropompes, la vapeur ne se produit plus, par conséquent, une détente de vapeur aura lieu dans la ligne H (la pression de vapeur chute brutalement dans un temps très court) et la turbine à vapeur HP de la pompe P-01-01C sera inapte de démarrer pour entraîner cette pompe de secours et d'assurer la protection des chaudières HP, c'est ce qui touche la sécurité des tubes des chaudières HP, entraîne l'arrêt de la ligne sulfurique H pouvant provoquer l'arrêt de toute l'usine et des pertes énormes pour la division Maroc Phosphore I du Complexe Industriel de Safi particulièrement, et pour le Groupe OCP en général. C'est ce qui renseigne sur la nécessité d'une étude complète d'un projet de modification concernant le système d'entraînement de la pompe P-01-01C de secours des chaudières HP de la ligne H, par changement du système thermique (turbine à vapeur HP) d'entraînement de la pompe d'eau P-01-01C par un système électrique et créer un nouveau groupe électropompe P-01-01C dans la ligne H, dont l'objectif est de protéger les chaudières HP dans tous les cas d'indisponibilité des électropompes P-01-01A et P-01-01B, même empêcher l'arrêt de la ligne H et assurer une production à cadence réduite, d'où la nécessité de ce projet pour Maroc Phosphore I.

Dans ce mémoire, nous avons traité le projet selon les chapitres résumés suivants :

- **Le chapitre I** : c'est une présentation sur le lieu de stage, et une description du procédé de production sulfurique à la ligne H de Maroc Phosphore I ;
- **Le chapitre II** : présente la méthodologie adoptée pour le traitement du projet, et dont les problèmes, leurs causes principales et le chiffrage des pertes d'énergie liées à l'entraînement de la pompe P-01-01C avec une turbine à vapeur HP sont bien décrits.

- **Le chapitre III** : c'est le chapitre de développement de la solution complète et des différentes parties du nouveau système d'entraînement de la pompe P-01-01C ;
- **Le chapitre IV** : présente le plan-schéma de réalisation du projet dans l'usine, le chiffrage de projet et du gain pour l'usine en cas d'empêchement d'arrêt de production à la ligne H grâce à ce projet.

Chapitre I :
Présentation sur l'environnement de stage

Introduction :

Ce chapitre a pour objectif de présenter l'environnement de stage, sa première partie est une présentation de l'organisme d'accueil, et sa deuxième partie est une description des différents circuits du procédé de production de l'acide sulfurique (y compris le circuit énergétique ou de production de la vapeur dont la turbopompe P-01-01C est installée) dans la ligne H de la division Maroc Phosphore I où le projet est déroulé.

I)- Présentation de l'organisme d'accueil :

I-1)- Présentation du groupe OCP :

Le Maroc est certes le pays qui dispose des plus grandes réserves de phosphates avec environ $\frac{3}{4}$ des réserves mondiales, mais cela ne suffit guère pour assurer son développement industriel.

De ce fait le Maroc s'est lancé dans la valorisation locale d'une grande partie de ses phosphates. Aujourd'hui, Le Groupe OCP est un leader mondial sur le marché du phosphate et des produits dérivés, et première entreprise du royaume, il opère sur les cinq continents.

Son ouverture traditionnelle sur l'international l'a poussé à développer en permanence, des capacités d'adaptation, de flexibilité et d'anticipation pour pouvoir répondre aux exigences, de plus en plus fortes, des clients dans un marché fortement concurrentiel. Le tableau ci-dessous présente brièvement le Groupe OCP :

Raison sociale : Office Chérifien des Phosphates (OCP)	
Statut (ou forme) juridique	Société Anonyme (SA) (depuis 2008)
Siège social	à Casablanca
Date de création	7 août 1920
Date de création du groupe	1975
Effectif	18 000 dont 6% sont des ingénieurs et équivalents
Activités	Extraction, traitement, valorisation et commercialisation du phosphate et ses dérivées
Réserves des phosphates	$\frac{3}{4}$ des réserves mondiales
Sites d'exploitation minière	Khouribga-Youssoufia-Benguerir-Boucraâ-Laâyoune
Sites de valorisation chimique (Complexes Industriels)	Safi et Jorf Lasfar
Ports d'embarquement	Safi-Jorf Lasfar-Casablanca-Laâyoune

Tableau 1 : Informations sur le groupe OCP.

I-2)- Présentation du Complexe Industriel de Safi (CIS) :

Le CIS est un complexe industriel chimique appartenant au Groupe OCP, situé sur la côte atlantique à 8 Km au sud de la ville de Safi, il valorise :

- Une partie des phosphates extraits de Youssoufia ;
- Les phosphates provenant de Benguerir.

Il est destiné à la production de l'acide phosphorique H_3PO_4 , ainsi qu'à la fabrication des engrais. Il possède trois entités (3 divisions) industrielles chimiques sous la direction de production, chacune a son rôle dans ce pôle du groupe OCP. Ces trois divisions industrielles du Complexe Industriel de Safi sont :

- Division Maroc Chimie ;
- **Division Maroc Phosphore I (la division de stage) ;**
- Division Maroc Phosphore II ;

Ceci, en plus d'une Division Port et Infrastructures qui se charge de l'acheminement et de l'exploitation des produits phosphatés.

I-3)- Présentation de Maroc Phosphore I :

L'usine (ou la division) MP1 est créée en 1975 sur la base de l'utilisation du phosphate de Youssoufia et du soufre importé, pour la production de l'acide phosphorique (à partir de l'acide sulfurique et le phosphate) et des engrais. Cette division réunit les unités suivantes :

- Deux ateliers de production de l'acide sulfurique :
 - ✓ **Ligne sulfurique H (lieu de stage) ;**
 - ✓ Ligne (ancienne ligne) sulfurique B ;
- Ateliers de production de l'acide phosphorique ;
- Atelier centrale électrique (thermique) & Unité de Traitement de l'Eau Douce (TED).

I-4)- Ligne sulfurique H :

Le démarrage de cette ligne sulfurique était en 22 octobre 2009, son objectif est la couverture du déficit énergétique (de vapeur HP et BP) et de production de l'acide sulfurique (de concentration 98,5%) dans le Complexe Industriel de Safi, c'est la ligne la plus moderne et dotée des technologies les plus récentes au niveau de la division Maroc Phosphore I. C'est une ligne à double absorption avec un système avancé de récupération de la chaleur (Voir l'Annex I). Parmi ses avantages :

- La réduction des émissions de gaz SO_2 ;
- La réduction des émissions de gaz à effet de serre (CO_2) ;
- Le bon rendement de conversion de SO_2 en acide sulfurique (taux de conversion de 99,7%).

Les capacités de la ligne sulfurique H sont (à la base 100%) de :

- 3410T/jour de production de l'acide sulfurique ;
- 175,60T/h de production de la vapeur HP (à la sortie des chaudières HP) ;
- 90,93T/h de production de la vapeur BP ;
- 5000T/jour de stockage du soufre liquide ;
- 12000T/jour de stockage de l'acide sulfurique.

II)- Description du procédé de production de la ligne H :

La production de l'acide sulfurique H_2SO_4 à partir du soufre au sein de l'OCP met en évidence 3 étapes principales :

- **Combustion** : les réactions de combustion sont très exothermiques, ce qui fait que cette énergie est récupérée afin de produire la vapeur HP. La réaction de combustion s'établit comme suit : $Soufre_{liquide} + O_2 \rightarrow Gaz\ SO_2 + Quantité\ de\ chaleur$;
- **Conversion** : la réaction de conversion, est une transformation du gaz SO_2 en gaz SO_3 , elle fait appelle d'un catalyseur à base de pentoxyde de vanadium V_2O_5 . Le paramètre "température" est d'une importance capitale lors du déroulement de cette réaction, à l'échelle industrielle, la transformation relative de la totalité de SO_2 en SO_3 impose des réacteurs multi étages (à 4 couches). La réaction de conversion s'établit comme suit : $Gaz\ SO_2 + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow Gaz\ SO_3 + Quantité\ de\ chaleur$;
- **Absorption** : la réaction d'absorption consiste à hydrater le gaz SO_3 , pour cela le procédé utilise l'acide sulfurique à 98,5% qui dans ces conditions joue le rôle d'un catalyseur, la réaction de l'absorption s'écrit sous la forme suivante : $Gaz\ SO_3 + H_2O \rightarrow H_2SO_4$.

Particulièrement à la ligne H de MP1, les étapes de fabrication de l'acide sulfurique sont les suivantes :

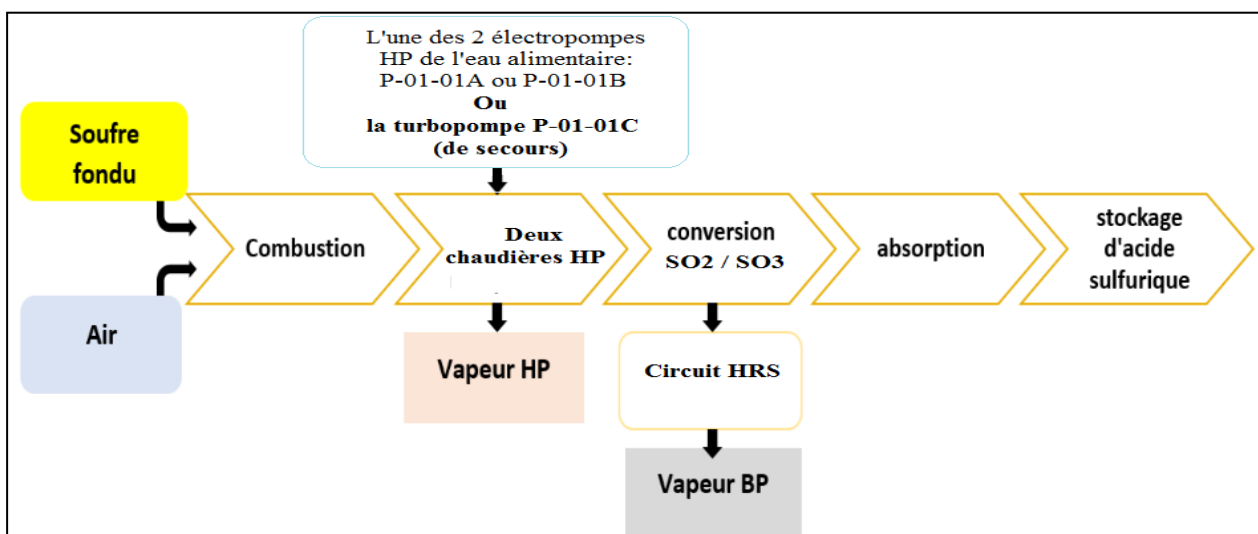


Figure 1 : Les étapes de production de l'acide sulfurique & l'emplacement des pompes d'eau d'alimentation des chaudières HP dans la ligne H.

Le procédé de la ligne sulfurique H peut se résumer dans les circuits fluidiques suivants :

- **Circuit de soufre :**

Le soufre liquide provenant de l'atelier de fusion et de filtration du soufre est réceptionné dans 2 bacs de capacité de 2500T chacun, et s'écoule par gravité vers la fosse où sont logées les pompes qui assurent son acheminement vers le four. Le soufre s'écoule dans des conduites à doubles parois afin de le maintenir à l'état liquide et à une température de 132°C, et envoyé aux brûleurs au niveau du four par une pompe, la pression à l'alimentation des brûleurs est 10,5 bars.

- **Circuit de gaz :**

La première étape de production de l'acide sulfurique se fait au niveau du four à soufre. Les matières premières entrant en jeu pour cette étape sont l'air et le soufre.

L'air s'aspire par la turbosoufflante en passant par un filtre à air pour éliminer ses impuretés, puis par la tour de séchage afin d'éliminer l'humidité pouvant dégrader et endommager les équipements situés en aval, par la suite, l'air passe par la turbosoufflante qui le refoule vers le four à soufre. La réaction de combustion est très exothermique, le gaz SO_2 sortant du four passe à travers 2 chaudières à tubes de fumée afin de récupérer l'énergie et la transmettre au circuit énergétique pour la production de la vapeur HP. Le gaz SO_2 quittant les chaudières HP peut contenir des imbrulés ou des cendres pouvant causer des problèmes dans le convertisseur, ce gaz passe par un filtre à gaz chaud afin d'éliminer ses impuretés.

Après le filtre à gaz chaud vient la 2ème étape de la production de l'acide sulfurique, c'est la conversion qui se fait dans un convertisseur à 4 étages. Les températures des gaz dans les couches doivent varier entre 423°C et 630°C selon les spécifications du catalyseur. Le gaz provenant du filtre à gaz chaud entre dans la 1ère masse avec une température de 423°C et y sort un mélange de SO_3 et SO_2 avec une température de 621°C, il est nécessaire de les faire refroidir avant qu'ils entrent dans la 2ème masse, donc ils passent à travers le surchauffeur 1B qui constitue la dernière étape de production de la vapeur HP, l'échange de chaleur entre les gaz et la vapeur diminue la température des gaz à 440°C (température d'entrée à la deuxième masse du convertisseur), après le surchauffeur 1B, les gaz s'acheminent vers la deuxième masse du convertisseur, à la sortie de cette masse, la température est d'environ 522°C, les gaz sortant échangent leur chaleur cette fois-ci dans un échangeur gaz/gaz chaud (côté tube) avec les gaz (au côté calandre) revenant de la tour HRS, à la sortie de l'échangeur gaz/gaz chaud, les gaz entrent à la troisième masse à une température de 440°C, et sortent à 464°C pour la diminuer à 276°C par échange de chaleur dans un échangeur gaz/gaz froid avec les gaz sortant de la tour HRS, après cet échange de chaleur, les gaz s'écoulent vers l'économiseur 3B à fin d'abaisser la température à 166°C en faisant l'échange avec l'eau alimentaire sortant de l'économiseur 4A.

Après l'économiseur 3B, vient la 3ème étape de production de l'acide sulfurique, c'est l'absorption, mais dans ce cas, c'est une absorption intermédiaire qui se fait dans la tour HRS.

Les gaz ascendant rencontrent l'acide descendant, ce dernier s'écoule du 1er étage de la tour HRS, il a pour rôle d'absorber le SO_3 présent dans les gaz. A la sortie de la tour HRS, la température des gaz est de 71°C , donc ils passent dans les côtés calandres des échangeurs gaz/gaz chaud est froid afin d'augmenter leur température à 425°C , c'est la température d'entrée à la 4ème masse où se fait la dernière conversion du SO_2 en SO_3 , pour élever le taux (ou le rendement) de conversion de SO_2 en acide sulfurique à 99,7% dans la ligne H (réduire les émissions du gaz SO_2 à 0,3% dans l'environnement). Après cette dernière couche dans le convertisseur, les gaz se dirigent vers la tour finale, après avoir passé à travers un block surchauffeur 4A/économiseurs4C/4A afin d'abaisser la température à 135°C qui est la température exigée à l'entrée de la tour d'absorption finale. Dans cette tour, le reste du SO_3 présent dans les gaz s'absorbe et les gaz sortant se dirigent vers la cheminée puis à l'atmosphère.

La figure suivante illustre le curcuit de gaz du procédé de la ligne H :

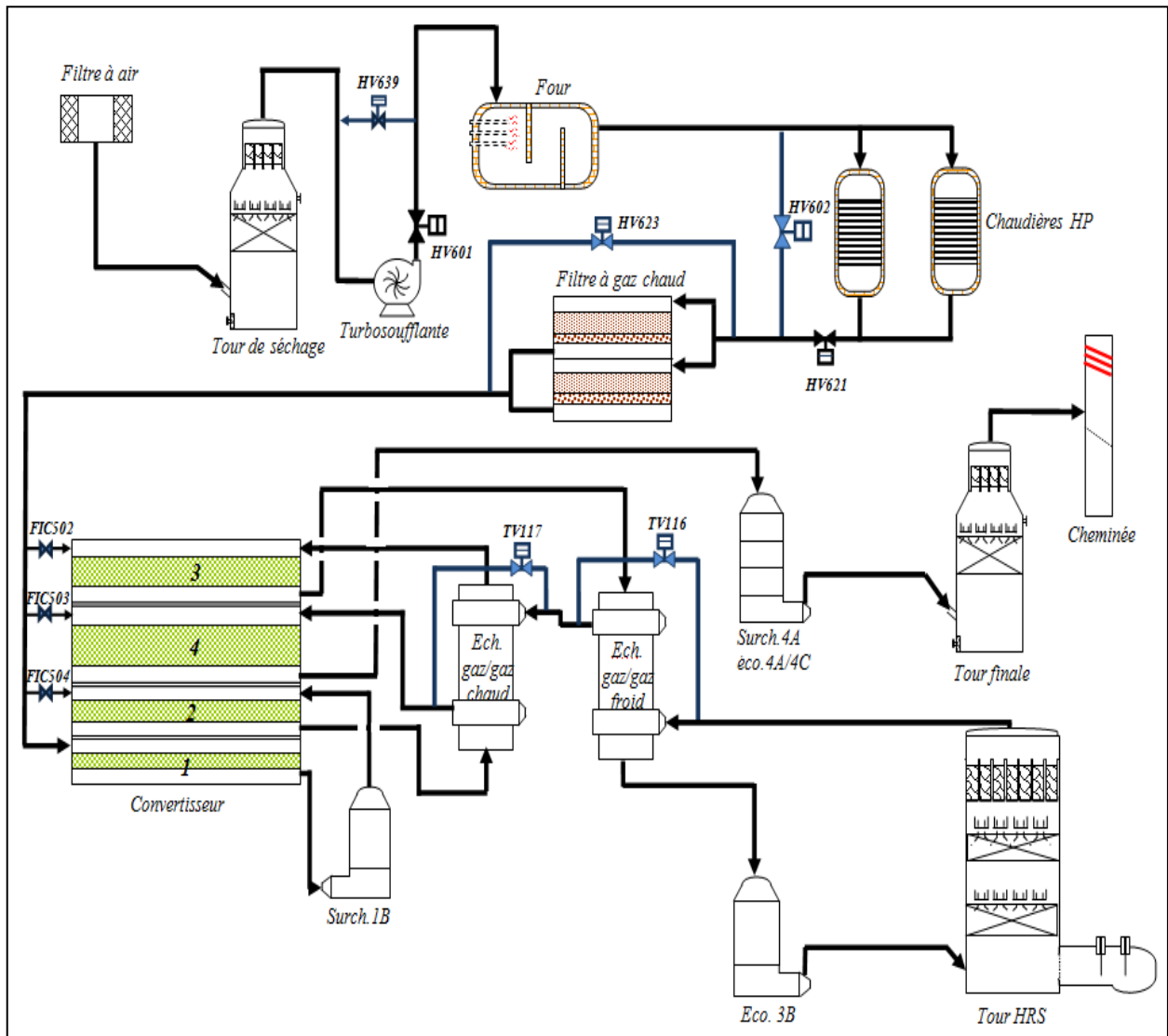


Figure 2 : Circuit de gaz du procédé de la ligne sulfurique H.

- **Circuit de l'acide à 98,5% de concentration :**

C'est le circuit d'acide sulfurique produit dans la ligne H. L'élément caractéristique de ce circuit est un bac de pompage commun qui constitue une capacité suffisante pour tout l'acide circulant dans l'usine, que ce soit vers la tour de séchage, la tour finale ou même la production HRS. Le bac de pompage commun est divisé en deux chambres, la 1ère loge les pompes de la tour de séchage et la deuxième loge la pompe de la tour finale. Les pompes de la tour de séchage refoulent l'acide à une température de 91°C, cette température est supérieure à la température d'arrosage de l'air dans la tour de séchage, donc il est nécessaire de faire passer l'acide par un refroidisseur, mais avant une partie est envoyée vers les dilueurs HRS en cas de forte humidité, une autre partie règle la température d'arrosage du 2^{ème} étage de la tour HRS, et une 3ème partie règle la température d'arrosage de la tour de séchage,

Dans le refroidisseur (échangeur co-courant) de la tour de séchage, l'acide se refroidit en faisant l'échange thermique avec l'eau de mer, à la sortie du refroidisseur une partie de cet acide est envoyée vers le refroidisseur de production afin d'abaisser sa température de 60°C à 40°C, puis vers le bac de stockage d'acide. La figure ci-dessous présente le circuit de l'acide de concentration 98,5% :

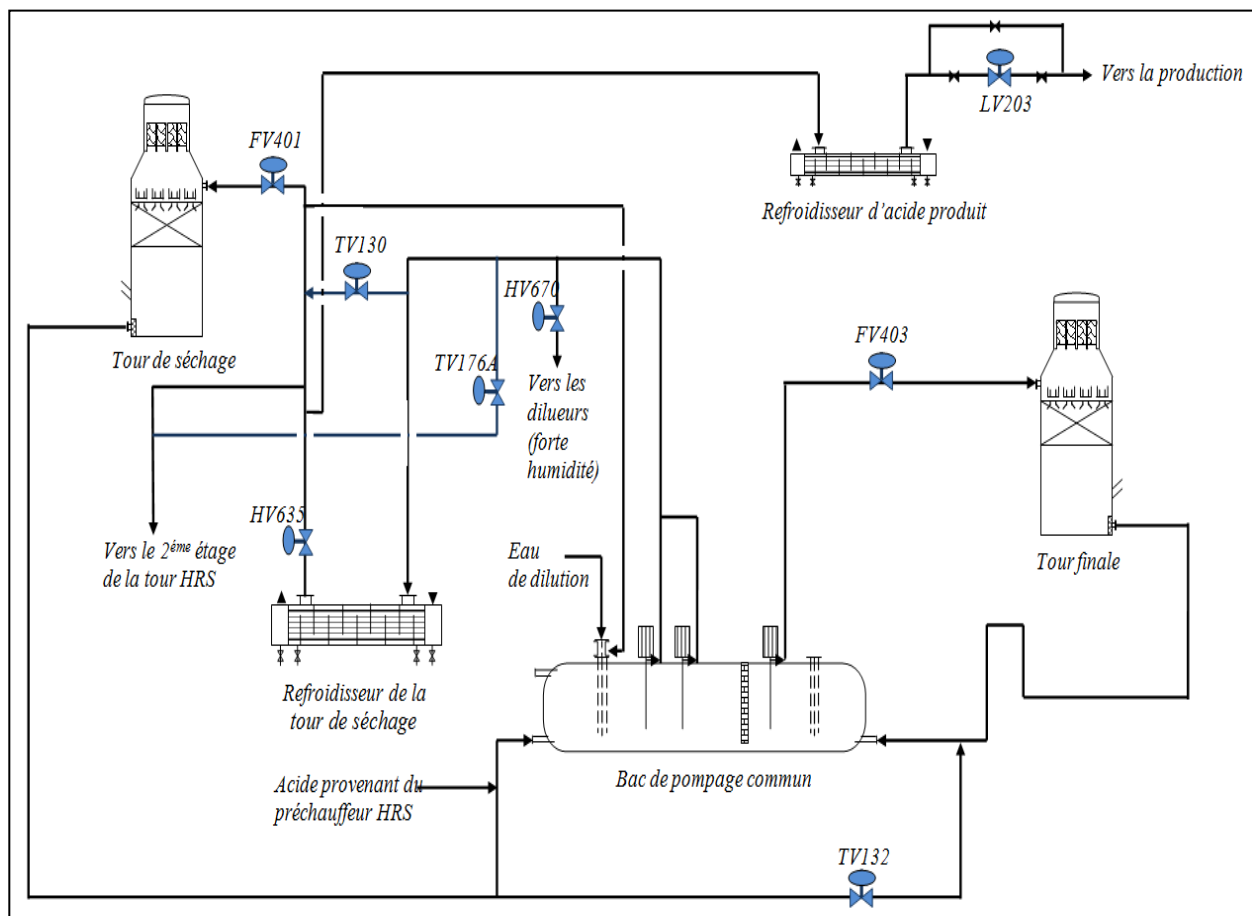


Figure 3 : Circuit de l'acide sulfurique à 98,5% de concentration

• **Circuit d'acide HRS (acide sulfurique à 99,7% de concentration) :**

C'est le circuit caractéristique de la ligne H, en effet, est un système de récupération de la chaleur, en produisant la vapeur BP (à pression de 5 bars) par échange de chaleur entre l'eau traitée à 110°C et l'acide sulfurique HRS à 204°C provenant du bac adjacent de la tour HRS et passant dans les tubes de la chaudière HRS (ou de production de la vapeur BP). Après cette échange de chaleur dans la chaudière HRS, l'acide sort de cette chaudière à une température de 185°C et s'achemine vers deux dilueurs afin de le diluer de 99,6% à 99%, mais avant les dilueurs, une partie de l'acide qui constitue la production du circuit HRS est envoyée le préchauffeur HRS puis vers le bac de pompage commun. L'acide dilué s'envoie vers la première étage de la tour HRS. La figure suivante présente le circuit d'acide HRS dans la ligne H :

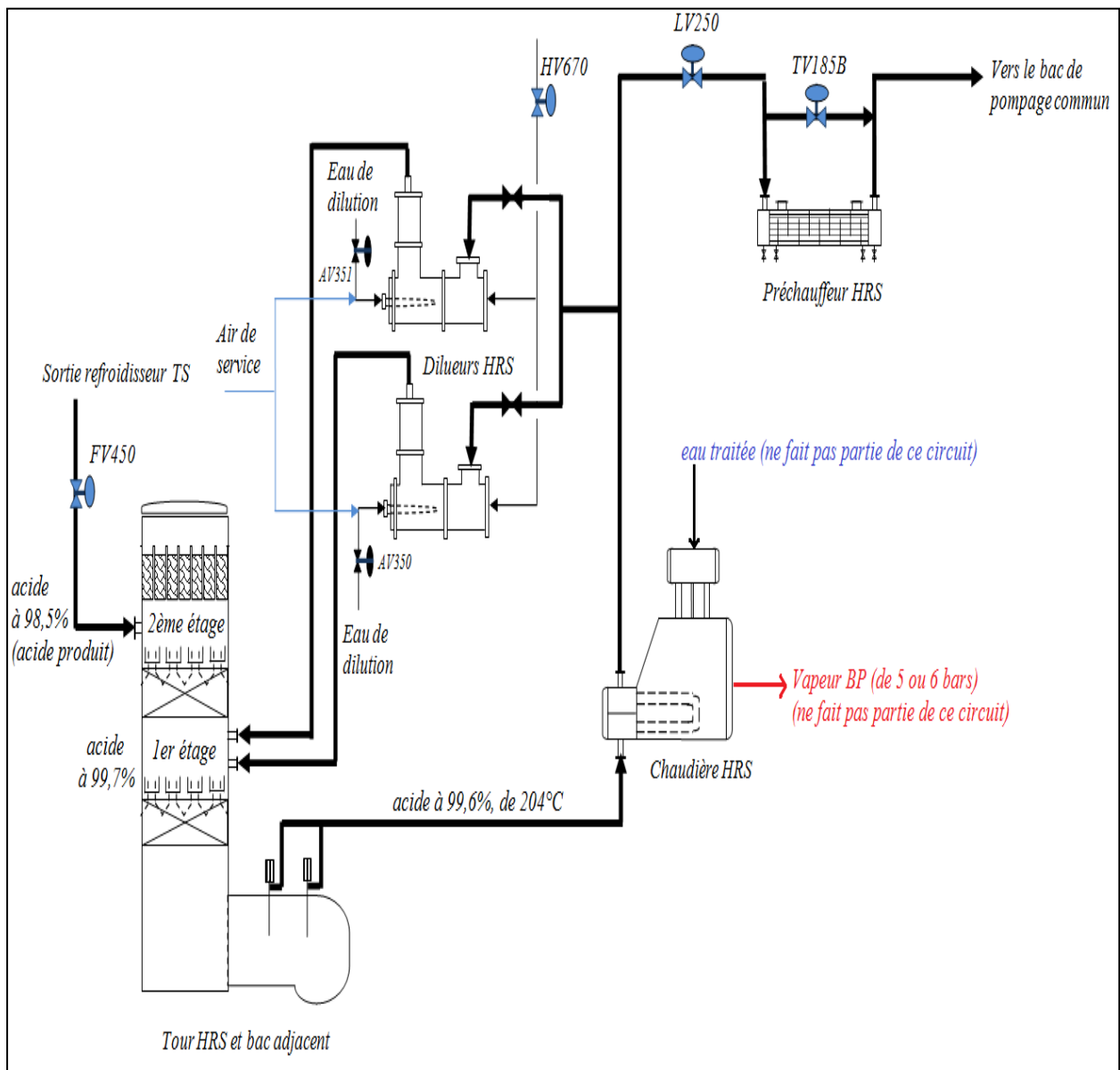


Figure 4 : Le circuit d'acide HRS de la ligne sulfurique H.

- **Circuit énergétique :**

Le fluide de base dans ce circuit est l'eau décillcée fournie par l'unité de Traitement de l'Eau Douce (unité de TED) provenant du barrage de SIDI ABDERRAHMANE situé à 20Km de Maroc Phosphore I. Cette eau s'envoie au bac d'eau traitée de la ligne H, et forme le stock d'eau pour le circuit énergétique de cette ligne (voir l'Annex II), le rôle de ce circuit est la production de la vapeur HP et BP.

- **Circuit de production de la vapeur HP :**

Avant que l'eau alimente les deux chaudières HP de repères géographique H-01-01A et H-01-01B de la ligne H (voir l'Annex III), l'eau subit un dégazage thermique avec de la vapeur BP au dégazeur afin d'éliminer le CO₂ et un dégazage chimique avec l'hydrazine dans la bache alimentaire afin d'éliminer le O₂ (voir l'Annex IV : Bache alimentaire et traitement de l'eau).

Pour l'alimentation des chaudières HP avec l'eau traitée (eau alimentaire) pour produire la vapeur HP, il y a deux pompes multicellulaires entraînées par des moteurs électriques, ce sont deux électropompes de repères géographiques P-01-01A et P-01-01B, l'une est en fonction et l'autre en réserve avec **une 3ème pompe multicellulaire de secours fonctionnant avec la vapeur HP (la turbopompe P-01-01C)** (voir l'Annex IV). Au refoulement des pompes HP, un autre traitement surgit, c'est le traitement avec le phosphate trisodique qui a pour rôle l'augmentation du pH afin de lutter contre l'entartrage dans les conduites. Dans un premier temps, l'eau passe par l'économiseur 4A qui assure l'élévation de la température à 146°C en assurant l'échange avec les gaz se dirigeant vers la tour finale, puis par l'économiseur 3B qui élève la température à 201°C en assurant l'échange avec les gaz se dirigeant vers la tour HRS, et par l'économiseur 4C assurant l'échange avec les gaz se dirigeant vers la tour finale, la température de l'eau alimentaire augmente à 241°C. Après le économiseurs, l'eau se dirige vers un ballon qui admet l'eau et la fait descendre au calendres des deux chaudières HP, pour faire l'échange avec le gaz chaud SO₂ sortant du four de combustion et passant dans les tubes des chaudières, c'est la première étape de production de la vapeur HP (vapeur saturée). A la sortie du ballon la vapeur saturée se dirige vers les surchauffeurs, une quantité de cette vapeur alimente le surchauffeur 4A qui assure l'échange thermique des gaz sortant de la 4^{ème} masse avec la vapeur saturée ce qui élève la température de la vapeur à 335°C donc elle devient surchauffée, puis elle passe au surchauffeur 1B qui forme la dernière étape de production de la vapeur HP, en augmentant la température de la vapeur saturée à 480°C pour avoir une vapeur HP de 56bars. Une partie de cette vapeur est utile pour **la turbopompe P-01-01C** et la turbosoufflante de la ligne H, et le reste s'exporte à la centrale thermique de l'usine.

- **La vapeur BP :** la vapeur BP (de 5 bars) se produit dans la ligne H principalement au niveau :

- ✓ Du système HRS : grâce à la chaudière HRS ;

- ✓ De l'échappement des turbines à vapeur HP, telles que **la turbine (système d'entraînement) de la pompe de secours P-01-01C** des chaudières HP et la turbine de la soufflante de l'air ambiant ;
- ✓ De la détente de vapeur HP non conforme.

La figure ci-dessous résume tout le circuit énergétique de la ligne sulfurique H :

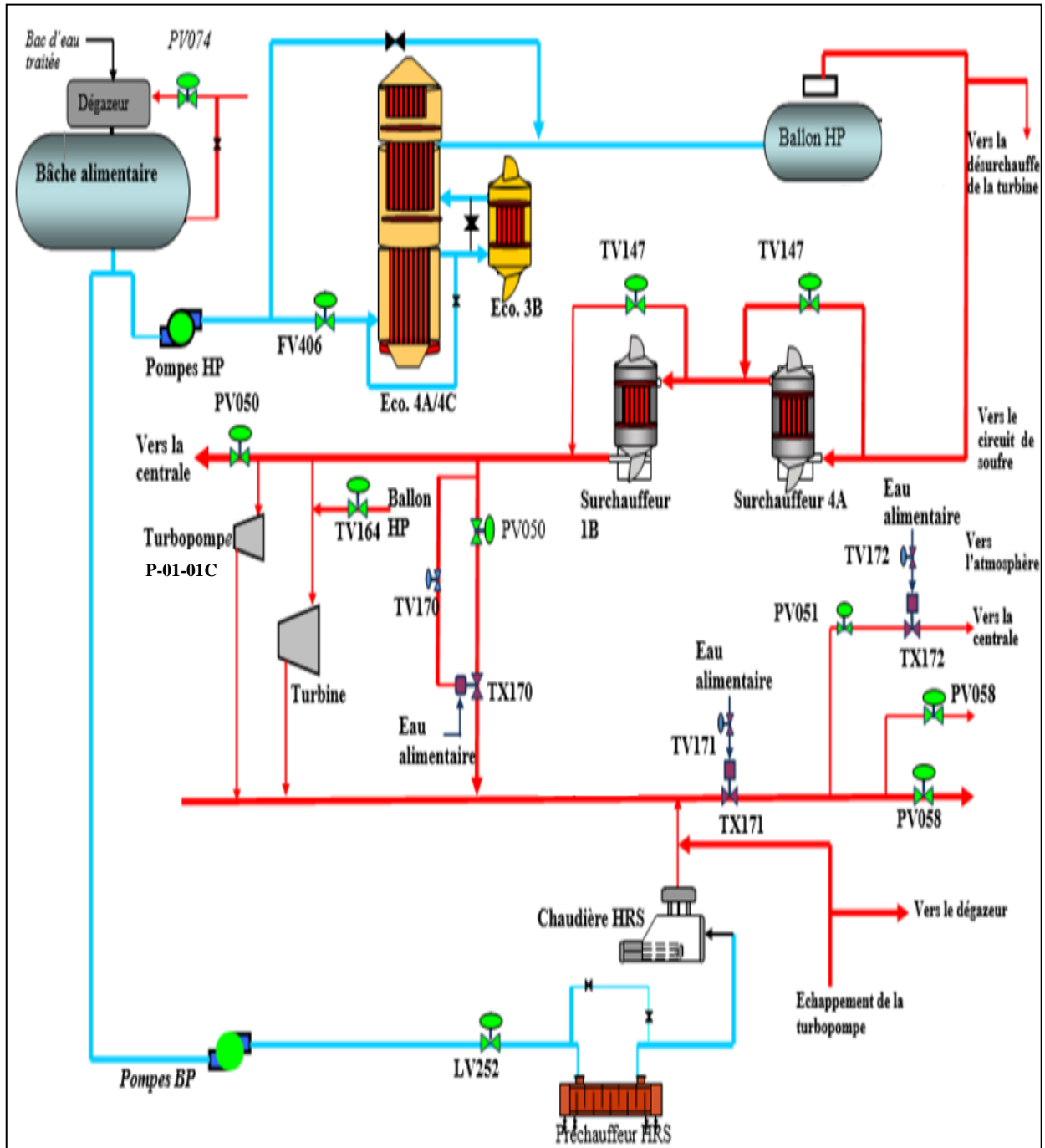


Figure 5 : Schéma de circuit énergétique de la ligne sulfurique H.

Chapitre II :
Méthodologie adoptée & Etat du lieu de la
turbopompe P-01-01C

Introduction :

Après avoir présenté l'environnement de stage et la maîtrise du milieu de projet. Cette partie du mémoire, vise à expliquer la démarche adoptée pour le traitement du projet et à décrire la problématique. Ceci en établissant un état du lieu de la turbopompe P-01-01C, pour identifier les problèmes et analyser leurs causes principales liées au système actuel d'entraînement de la pompe sur le circuit énergétique de la ligne sulfurique H, pour être en mesure de clarifier la problématique et chiffrer par la suite, l'énergie annuelle normalement consommée par ce système sans utilité de la pompe dans la ligne H.

I)- Méthodologie adoptée :

I-1)- Approche de traitement de projet :

Pour mener à bien ce projet, nous avons établi une approche de résolution du problème lié à l'entraînement de la pompe P-01-01C de ligne sulfurique H par une turbine à vapeur HP. La liste des chevrons verticaux suivante, présente l'ensemble des étapes de cette démarche :

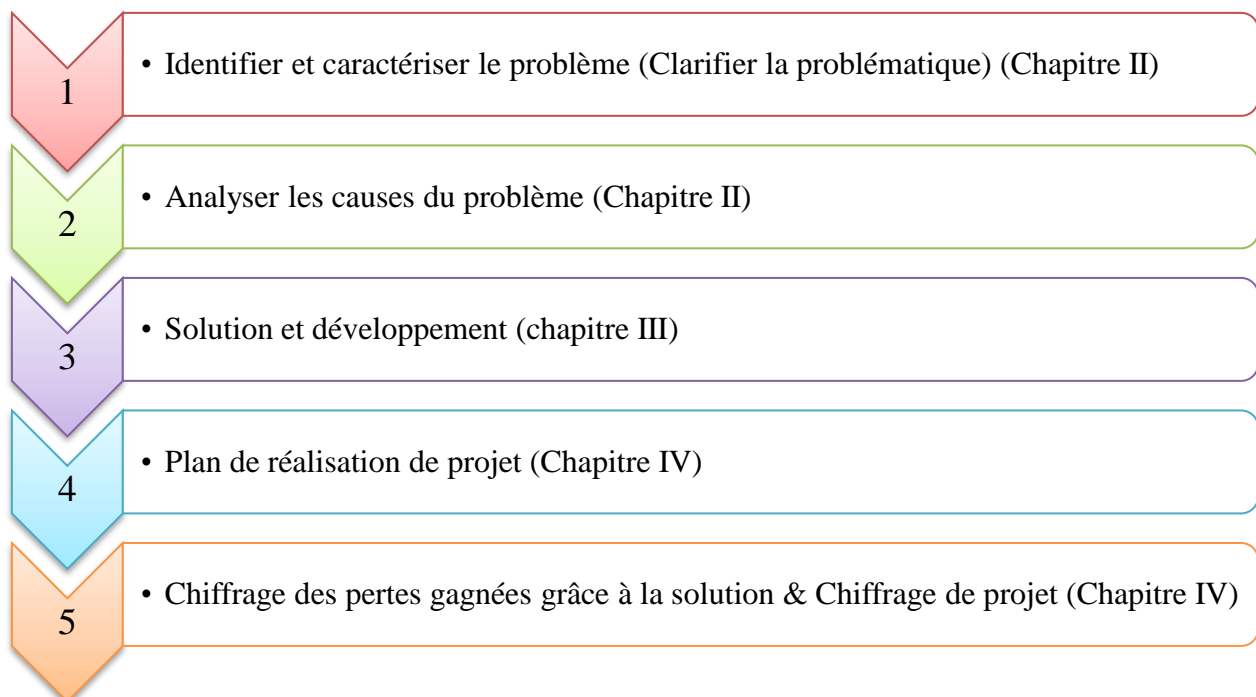


Figure 6 : Liste des étapes de la démarche de traitement du projet.

Sur la liste des étapes ci-dessus, nous n'avons pas mis l'étape de maîtrise du milieu de projet, car la connaissance du procédé (chantier) de production de la ligne H et l'adaptation avec ses circuits et surtout le circuit énergétique (dont la pompe concernée par l'étude fait partie) est une condition initiale et un prérequis essentiel pour travailler sur ce projet au sein de l'usine.

I-2)- Ordonnancement des tâches du projet :

En fonction de la période de stage et des conditions du travail notamment la disponibilité des agents et des équipes spécialisées dans l'usine, que ce soit électrique, d'entretien mécanique, de régulation et instrumentation ou de contrôle/commande de la production au sein de Maroc Phosphore I, nous avons pu implanter, organiser et gérer les tâches du projet selon un diagramme GANTT.

Le tableau suivant présente l'ensemble des tâches de projet et leurs dates de réalisation :

Tâche	Désignation	Date de début	Date de fin
A	Connaître le procédé et le chantier de la ligne H	01/02/2017	23/02/2017
B	Connaître l'état initial de la pompe (le fonctionnement turbopompe) P-01-01C	20/02/2017	23/02/2017
C	Dimensionnement du moteur électrique compatible avec la pompe P-01-01C	23/02/2017	27/02/2017
D	Maîtrise du réseau électrique secouru par les groupes électrogènes GE1 et GE2 de la centrale électrique de MP1	27/02/2017	17/03/2017
E	Chiffrage de l'énergie annuelle exigée par la turbine à vapeur HP sans utilité de la pompe P-01-01C à la ligne H	20/03/2017	23/03/2017
F	Dimensionnement de l'accouplement du moteur électrique dimensionné pour la pompe P-01-01C	24/03/2017	27/03/2017
G	CAO (dans CATIA V5) d'un modèle de nouveau groupe électropompe P-01-01C avec son boîtier de commande M/A locale	27/03/2017	31/03/2017
H	Création d'un tableau de bord du réseau électrique secouru (après la modification) par les groupes électrogènes & Création des scénarios de consommation du courant électrique par les ateliers secourus (y compris le nouveau groupe électropompe P-01-01C), en cas de déclenchement électrique général de l'usine	03/04/2017	05/04/2017
I	Dimensionnement du groupe électrogène nécessaire pour remplacer GE2 défaillant et secourir les charges névralgiques dans l'usine (y compris le nouveau groupe électropompe P-01-01C) en cas d'arrêt de l'usine	05/04/2017	10/04/2017
J	Dimensionnement de l'installation et du câble de puissance du moteur de la pompe P-01-01C	10/04/2017	14/04/2017
K	Insertion du moteur de la pompe P-01-01C et modification du Plan-schéma électrique de réseau secouru de l'usine	17/04/2017	28/04/2017

L	Commande de M/A & Asservissement du nouveau groupe électropompe P-01-01C avec le précédé de la ligne H	01/05/2017	08/05/2017
M	Plan-Schéma de réalisation du projet dans l'usine	08/05/2017	10/05/2017
N	Chiffrage du gain résultant de l'empêchement d'arrêt de production dans la ligne H grâce au nouveau groupe électropompe P-01-01C (en cas d'indisponibilité des pompe HP 01A et 01B)	15/05/2017	22/05/2017
O	Chiffrage du projet	25/05/2017	26/05/2017

Tableau 2 : Tâches du projet avec les dates de début et de fin de la réalisation.

La figure suivante, est un diagramme GANTT réalisé dans l'environnement du logiciel OPEN WORKBENCH PROJECT MANAGEMENT, elle illustre l'ordonnancement et la visualisation dans le temps des diverses tâches composants du projet :

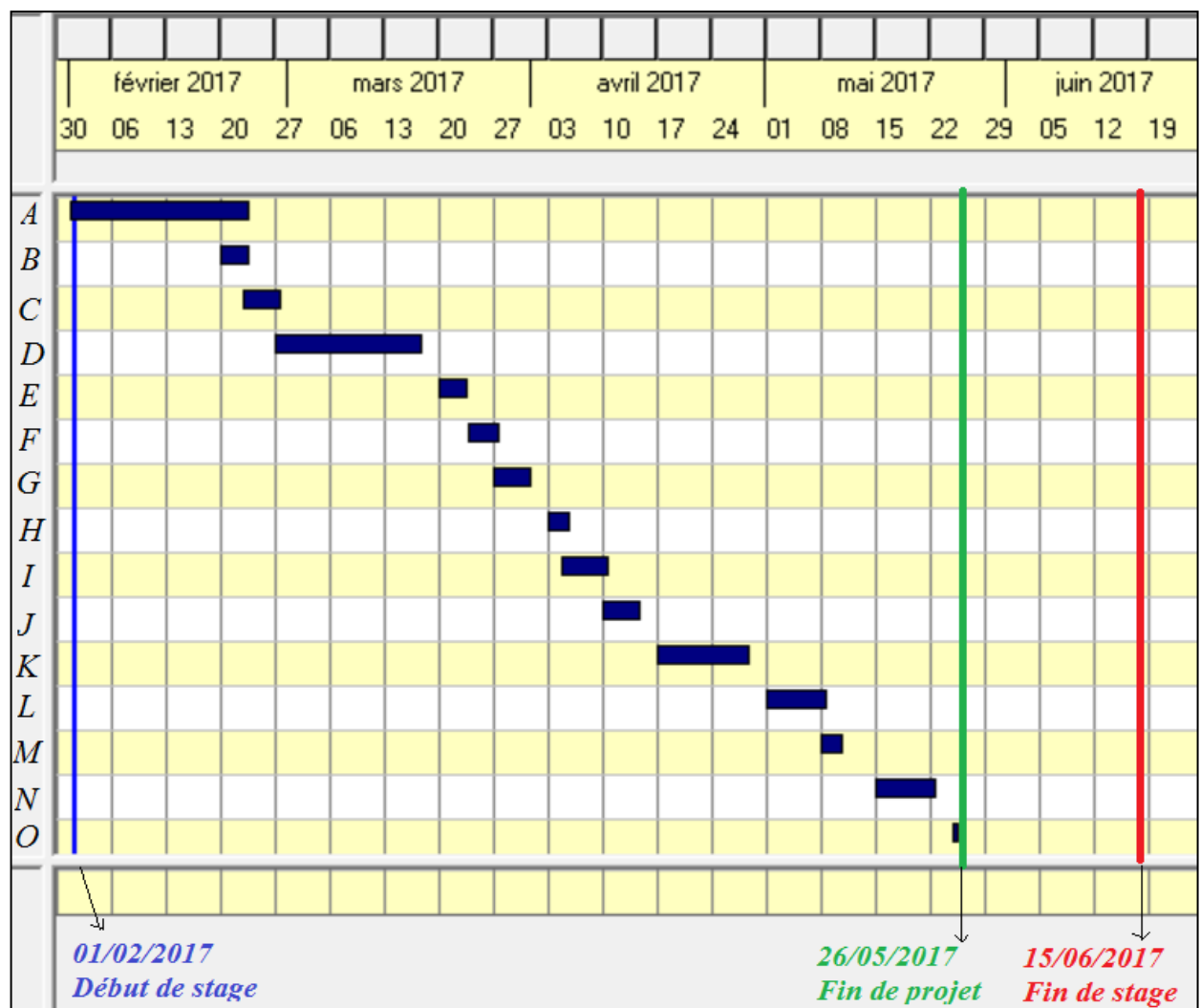


Figure 7 : Diagramme GANTT du projet, réalisé avec OPEN WORKBENCH PROJECT MANAGEMENT.

II)- Etat du lieu de la turbopompe P-01-01C :

II-1)- Description de l'état initial (état de fonctionnement turbopompe P-01-01C) :

Sur le circuit énergétique de la ligne sulfurique H, l'eau traitée provenant de la bache alimentaire par gravité, se refoule en haute pression (d'environ 90bars et plus) normalement par l'une des deux électropompes HP de repères géographiques P-01-01A et P-01-01B, vers l'entrée l'économiseur 4A, puis vers l'économiseur 3B et le surchauffeur 4C, pour la préparer (en augmentant sa température) à l'entrée du ballon d'alimentation des chaudières de production de la vapeur HP (deux chaudières HP de repères géographiques H-01-01A et H-01-01B). Après le ballon, l'eau passe dans les calandres des deux chaudières pour échanger sa chaleur avec le gaz SO_2 sortant à une température de $1135^\circ C$ du four de combustion de soufre liquide et passant par les tubes des deux chaudières HP (voir la figure ci-dessous). D'où la nécessité d'alimenter en permanence les chaudières HP quel que soit l'état de l'usine. Pour notre projet, l'état de l'usine dépend de la disponibilité des électropompes HP P-01-01A et P-01-01B :

- **Cas de disponibilité de l'une des deux électropompes (cas 1) :** c'est le cas de marche normale de la production dans la ligne H ;
- **Cas d'insponibilité des deux électropompes HP (cas 2) :** c'est le cas de problème au niveau des deux à la fois, ou le cas de déclenchement électrique de la ligne H ou de l'usine. Dans ce cas, la turbopompe de secours P-01-01C doit fonctionner pour alimenter le ballon des chaudières HP avec l'eau de la bache alimentaire, pour raison de sécurité des tubes des chaudières dont le gaz SO_2 passe à haute température.

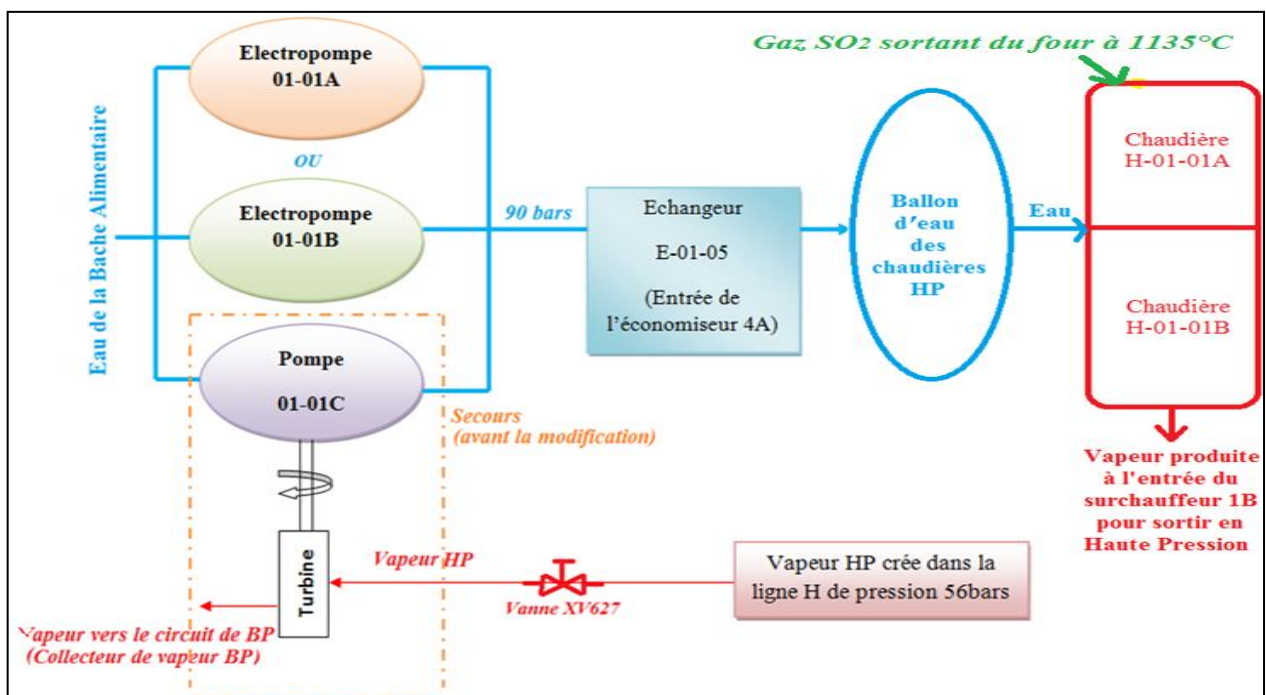


Figure 8 : Emplacement de la pompe P-01-01C avec sa turbine à vapeur HP (turbopompe) sur le circuit énergétique.

Le diagramme SADT suivant, permet une analyse fonctionnelle du groupe turbopompe qui se compose de la pompe P-01-01C et une turbine à vapeur HP de pression de 56 bars créée dans la ligne H, c'est une description de l'état initial de fonctionnement de la pompe entraînée par la turbine à vapeur HP :

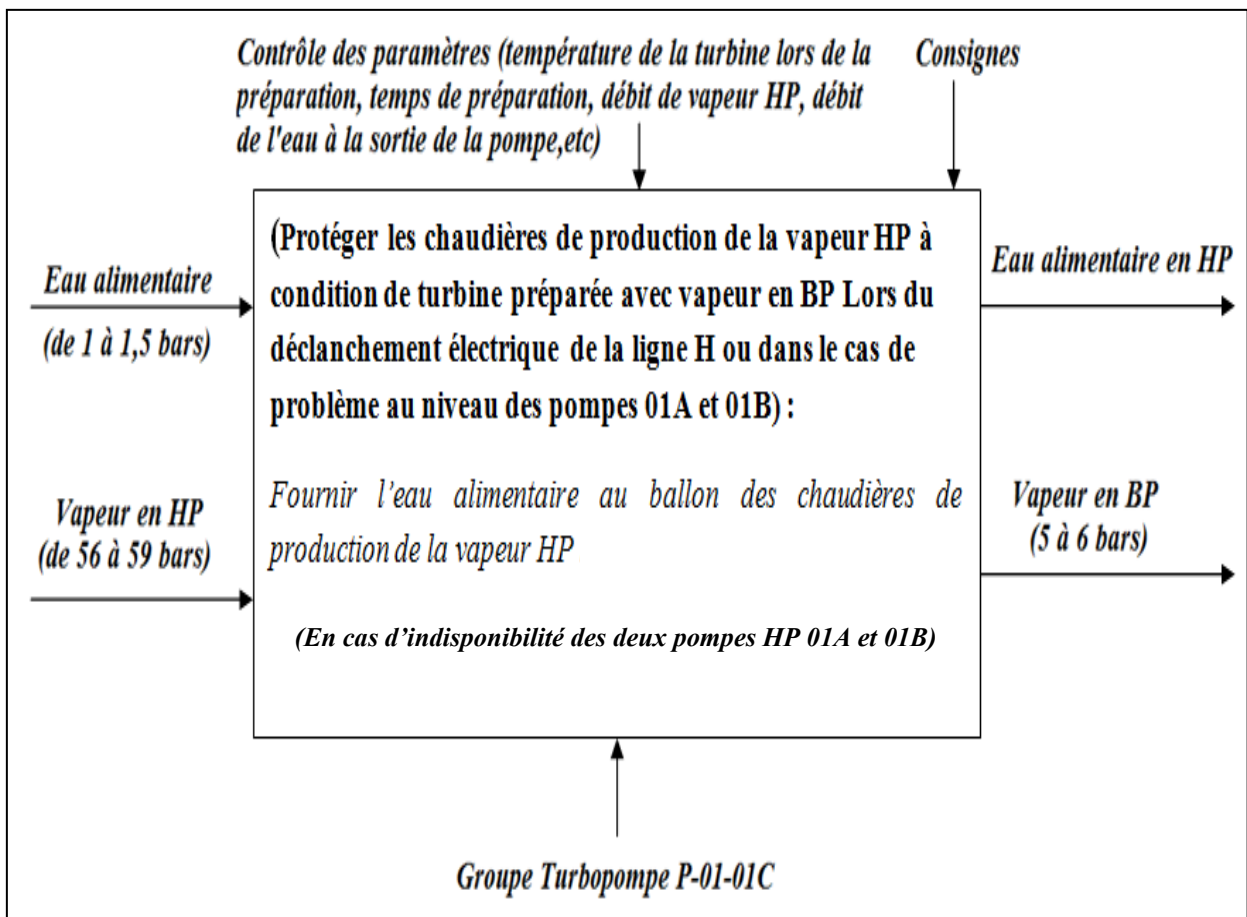


Figure 9 : Diagramme SADT du Groupe électropompe P-01-01C sur le circuit énergétique de la ligne H.

A l'état actuel, c'est-à-dire avant la modification, dans le cas d'indisponibilité des deux électropompes P-01-01A et P-01-01B (dans le Cas 2 de l'usine), il est très urgent de démarrer la turbopompe P-01-01C pour assurer la protection des tubes des chaudières HP de ligne H. D'après le diagramme SADT ci-dessus, pour assurer le démarrage et le fonctionnement normal de la turbopompe P-01-01C :

- ✓ sa turbine doit être préparée au préalable avec la vapeur BP et nécessite une pression de vapeur HP de 56 bars pour entraîner la pompe et fournir l'eau alimentaire au ballon des chaudières HP.

Mais, en cas de déclenchement électrique de l'usine ou d'indisponibilité des pompes 01A et 01B (dans le 2^{ème} cas de l'usine) la vapeur ne se produira plus et sa pression chute brutalement (pression de vapeur <<56bars à cause de de la détente), par conséquent, la turbopompe P-01-01C sera inapte de démarrer vue qu'il y'aura une pression très faible ou une absence de pression de la vapeur HP d'entraînement de sa turbine, et le risque de chute de niveau de ballon et de détérioration des tubes des chaudières HP augmente, sous l'effet de passage du gaz SO₂ à température élevée dans les tubes.

Les figures suivantes, sont des photos que nous avons pris sur le chantier de la ligne sulfurique H de Maroc Phosphore I, dont l'objectif de vous rapprocher de la zone du projet :



Figure 11 : Les deux groupes électropompes d'eau alimentaire HP P-01-01A et P-01-01B de la ligne H.



Figure 10 : Dos du groupe turbopompe P-01-01C de la ligne H.

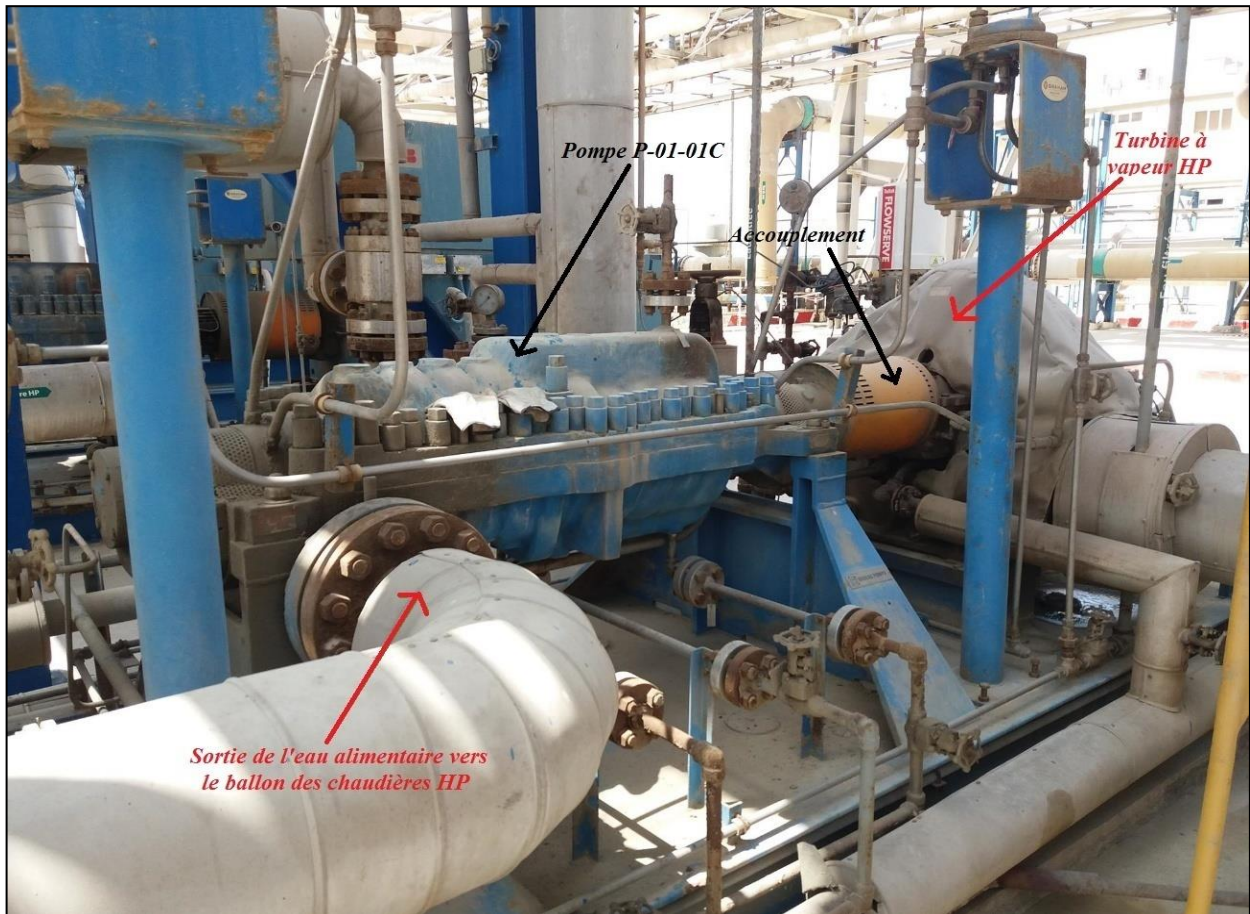


Figure 12 : Les composants principaux du groupe turbopompe P-01-01C de la ligne H.

Le groupe turbopompe P-01-01C de secours des chaudières HP à la ligne H, peut se modéliser d'après la figure ci-dessus, par une turbine à vapeur qui est le système d'entraînement (à l'état initial) accouplée par un accouplement semi-élastique avec une pompe multicellulaire horizontale (la pompe P-01-01C).

II-2)- Analyse des causes du problème majeur :

II-2-1)- Causes principales liées à l'entraînement de la pompe par turbine à vapeur :

Problème majeur (en cas d'indisponibilité des deux électropompes HP)	Causes principales liées au système d'entraînement de la pompe P-01-01C
Risque de détérioration des tubes des chaudières HP (le problème de non démarrage de la turbopompe de secours P- 01-01C).	-Manque de préparation permanente de la turbine avec la vapeur BP : <ul style="list-style-type: none"> ✓ vu que c'est une charge qui consomme de la vapeur BP (de 5 bars) lors de préparation (chauffage) de la turbine (sans utilité de la pompe). (Voir le tableau 4 : Bilan de chiffrage de l'énergie annuelle exigée par la turbine à vapeur HP sans utilité de la pompe à la ligne H).
	-Détente de la vapeur HP d'entraînement de la turbine de la pompe : <ul style="list-style-type: none"> ✓ le temps de préparation de la turbine à vapeur au démarrage est important (car elle ne se prépare pas), la turbopompe demande : le chauffage de cette turbine avec la vapeur en basse pression et le démarrage de la pompe d'huile de lubrification durant une demi-heure au moins (avant le démarrage de la pompe). (Voir l'Annexes V : fiches du dernier essai de démarrage de la turbopompe 01C).
	-Manque des essais périodiques de démarrage et du fonctionnement à vide du groupe turbopompe 01C lors de la marche normale de production à l'usine, à cause de : <ul style="list-style-type: none"> ✓ La consommation de la vapeur en BP (de 5 bars) pour la préparation de la turbine ; ✓ La consommation de la vapeur en HP par la turbine pour assurer le fonctionnement normal de la pompe 01C, en effet, pour entraîner l'arbre de la pompe à la fréquence de rotation de 3600tr/min (Voir le tableau 4 : Bilan de chiffrage de l'énergie annuelle exigée par la turbine à vapeur HP sans utilité de la pompe à la ligne H).

Tableau 3 : Causes principales du problème majeur, liées à l'entraînement de la pompe P-01-01C par turbine à vapeur.

II-2-2)- Chiffrage de l'énergie annuelle exigée par la turbine à vapeur HP :

D'après le tableau ci-dessus, l'absence de préparation de la turbine et des essais périodiques de marche de la turbopompe P-01-01C sont parmi les causes principales du problème majeur traité (voir le tableau ci-dessus). Mais l'entraînement de la pompe P-01-01C par une turbine à vapeur HP exige normalement :

- La préparation permanente (chauffage de la turbine à l'arrêt de la pompe) de la turbine avec la vapeur BP, afin que la turbopompe P-01-01C soit toujours prête au démarrage pour secourir les chaudières HP en tout moment d'indisponibilité des deux électropompes P-01-01A et P-01-01B ;
- Des essais périodiques de 30 minutes de marche de la pompe avec une fréquence de 2fois/mois de l'année (dont la turbine doit s'attaquer par la vapeur HP).

Dans la mesure de chiffrer cette consommation d'énergie, nous avons calculé la puissance calorifique consommée par la turbine à vapeur de la pompe P-01-01C, durant une année des essais périodiques et de préparation permanente de cette turbine à la ligne H.

La figure suivante, présente le schéma cinématique de fonctionnement de la turbopompe P-01-01C (la pompe P-01-01C à l'état initial) :

Sur le schéma cinématique ci-dessous :

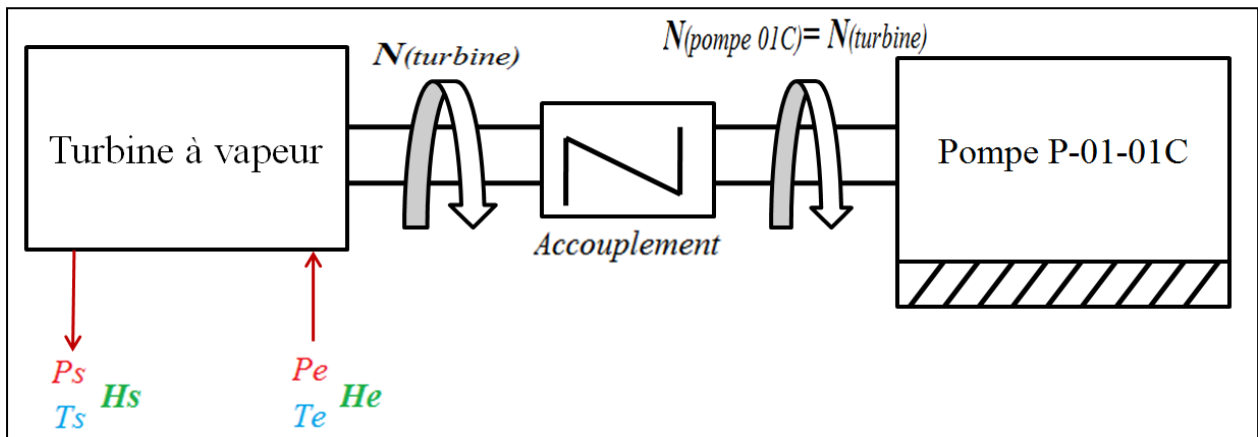


Figure 13 : Schéma cinématique de fonctionnement du groupe turbopompe (la pompe P-01-01C à l'état initial).

- P_e : pression de la vapeur à l'entrée de la turbine ;
- T_e : température de la vapeur à l'entrée de la turbine ;
- P_s : pression de la vapeur à la sortie de la turbine ;
- T_s : température de la vapeur à la sortie de la turbine.

La puissance thermique consommée par la turbine à vapeur du groupe turbopompe P-01-01C s'exprime par : **Puissance thermique** = $(H_e - H_s) \cdot Q_m / 3600$. Avec :

- **La puissance thermique** : est la puissance consommée par la turbine à vapeur d'eau (en MW);
- H_e : est l'enthalpie de vapeur à l'entrée de la turbine (en KJ/Kg);
- H_s : est l'enthalpie de vapeur à la sortie de la turbine (en KJ/Kg);
- Q_m : est le débit massique de la vapeur (en T/h).

Pour déterminer les valeurs des enthalpies de vapeur, nous avons utilisé le diagramme de MOLLIER de vapeur de l'eau (Voir l'Annexe VI). Car l'enthalpie se détermine en fonction des valeurs de pression (en bar) et de température (en °C) sur ce diagramme.

- Cas de préparation permanente de la turbine avec la vapeur en Basse Pression :

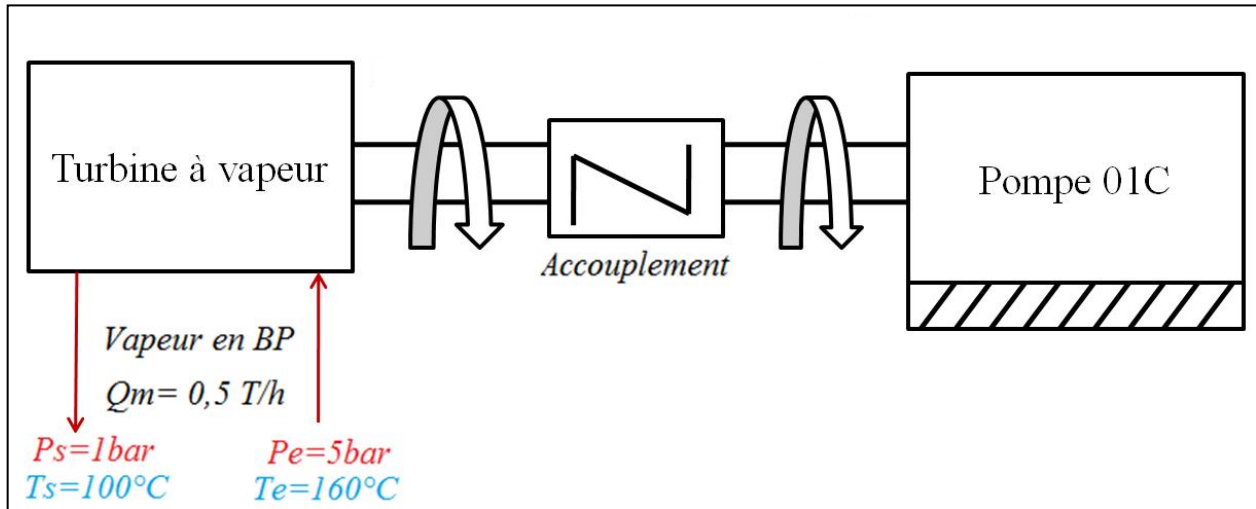


Figure 14 : Valeurs des grandeurs nécessaires au calcul de la puissance consommée par la turbine en cas de préparation avec la vapeur BP.

Pour les valeurs de pression, de température et le débit massique de la vapeur BP sur la figure ci-dessus, d'après le diagramme de MOLLIER (Annexe VI), les enthalpies de la vapeur ont pour valeurs :

- $H_e(p_e, T_e) = 2830 \text{ KJ/Kg}$;
- $H_s(p_s, T_s) = 2680 \text{ KJ/Kg}$.

Donc, la puissance thermique consommée par la turbine à vapeur de la pompe, lors de la préparation avec la vapeur BP est : $P_{BP} = (2830 - 2680) * 0,5 / 3600 = 0,02 \text{ MW} = \mathbf{20 \text{ KW}}$.

- Cas d'un essai de marche de la pompe :

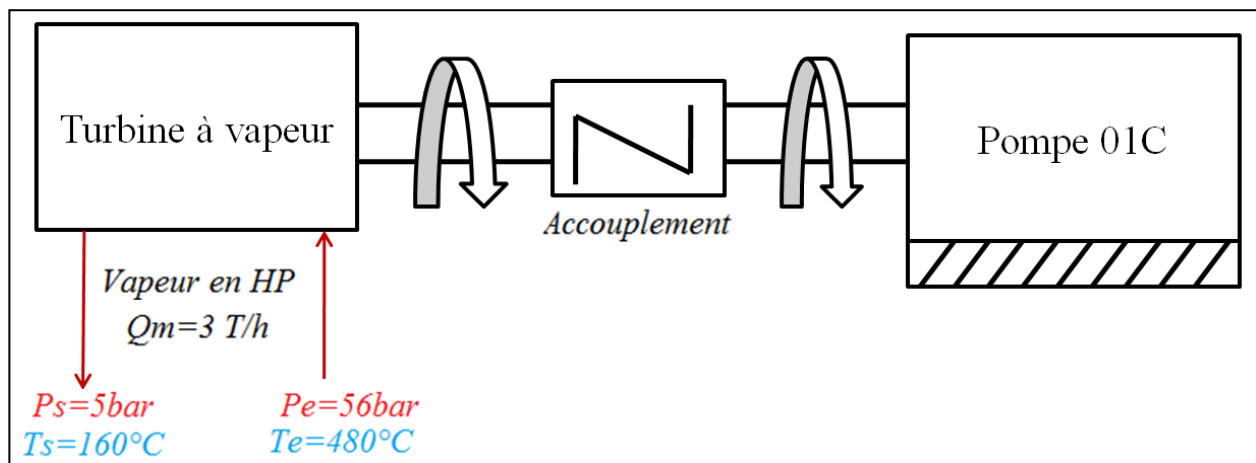


Figure 15 : Valeurs des grandeurs nécessaires au calcul de la puissance consommée par la turbine en cas d'un essai de marche de la turbopompe.

Pour les valeurs de pression, de température et le débit massique de la vapeur BP sur la figure précédente, d'après le diagramme de MOLLIER (Annexe VI), les enthalpies de la vapeur ont pour valeurs :

- $H_e(p_e, T_e) = 3340 \text{KJ/Kg}$;
- $H_s(p_s, T_s) = 2830 \text{KJ/Kg}$.

Donc, la puissance thermique consommée par la turbine à vapeur de la pompe, lors d'un essai de marche de la turbopompe P-01-01C est :

$$P_{HP} = (3340-2830) \cdot 3 / 3600 = 0,51 \text{MW} = \mathbf{510 \text{KW}}$$

1MW \rightarrow 900 DH (donnée du service centrale thermique de Maroc Phosphore I).

Le tableau suivant, est un bilan de chiffrage de l'énergie annuelle exigée par la turbine à vapeur HP sans utilité de la pompe à la ligne H :

Cas	p_e (bar)	p_s (bar)	T_e (°C)	T_s (°C)	H_e (KJ/kg)	H_s (KJ/kg)	Q_m (T/h)	P (KW)	Temps (en h) Par année	E (MW.h)
										Chiffrage (en DH)
Préparation de la turbine avec la vapeur en BP (en permanence)	5	1	160	100	2830	2680	0,5	20	8748	174,960 MW.h
										157 464 DH
Essais périodique de marche du groupe turbopompe	56	5	480	160	3440	2830	3	510	12	6,12 MW.h
										5 508 DH
Total de l'énergie annuelle exigée par la turbine à vapeur HP sans utilité de la pompe P-01-01C à la ligne H										181,08 MW.h
Chiffrage de l'énergie en DH										162972 DH

Tableau 4 : Bilan de chiffrage de l'énergie annuelle exigée par la turbine à vapeur HP sans utilité de la pompe à la ligne H.

Chapitre III : Solution et développement

Introduction :

L'objectif de ce chapitre est la résolution du problème, il rassemble les différentes parties de la solution et de l'étude complète de changement de la turbine à vapeur d'entraînement de la pompe P-01-01C, par un moteur électrique pouvant entraîner cette pompe dans les différentes situations de l'usine, secourir les chaudières HP et même assurer une production à cadence réduite dans la ligne sulfurique H, au lieu de l'arrêt de production en cas d'indisponibilité des électropompes HP P-01-01A et 01B. En effet, ce chapitre vise à la création et l'intégration d'un nouveau groupe électropompe P-01-01C dans l'usine.

I)- Partie opérative du nouveau groupe électropompe P-01-01C :

I-1)- Dimensionnement du moteur électrique compatible avec la pompe P-01-01C :

Pour dimensionner un moteur électrique compatible avec la pompe, il est essentiel de connaître les caractéristiques de cette pompe, vu que, la condition fondamentale du bon fonctionnement et d'assurance de longévité d'un groupe électropompe, c'est que la puissance mécanique du moteur soit supérieure à celle hydraulique maximale de la pompe. Donc, ça demande au préalable, une connaissance sur la pompe à entraîner (voir l'Annexe VII : page 1/2 et 2/2, fiches des caractéristiques de la pompe P-01-01C avec sa turbine).

Les tensions destinées pour les moteurs disponibles sur le réseau électrique triphasé de Maroc Phosphore I sont :

- 6300V pour les moteurs de MT ;
- 500V pour les moteurs de BT.

Le nouveau groupe électropompe P-01-01C doit secourir les chaudières HP en tout moment d'indisponibilité des chaudières HP de la ligne H :

- **par exemple :** en cas de déclenchement électrique de Maroc Phosphore I, il y a des charges névralgiques qui doivent être secourues par les groupes électrogènes de la centrale électrique de l'usine, ces groupes électrogènes sont de 6300V alternative (tension composée du réseau triphasé). Le nouveau groupe électropompe P-01-01C doit alors, faire partie des charges névralgiques secourues par les groupes électrogènes.

Donc, le moteur du nouveau groupe électropompe P-01-01C doit être asynchrone triphasé de 6300V (la partie d'alimentation électrique de puissance du moteur est traitée dans l'axe II de ce chapitre).

La figure suivante, illustre la partie opérative du nouveau groupe électropompe P-01-01C, elle se compose d'un moteur asynchrone triphasé de 6300V accouplé avec la pompe de secours des chaudières HP :

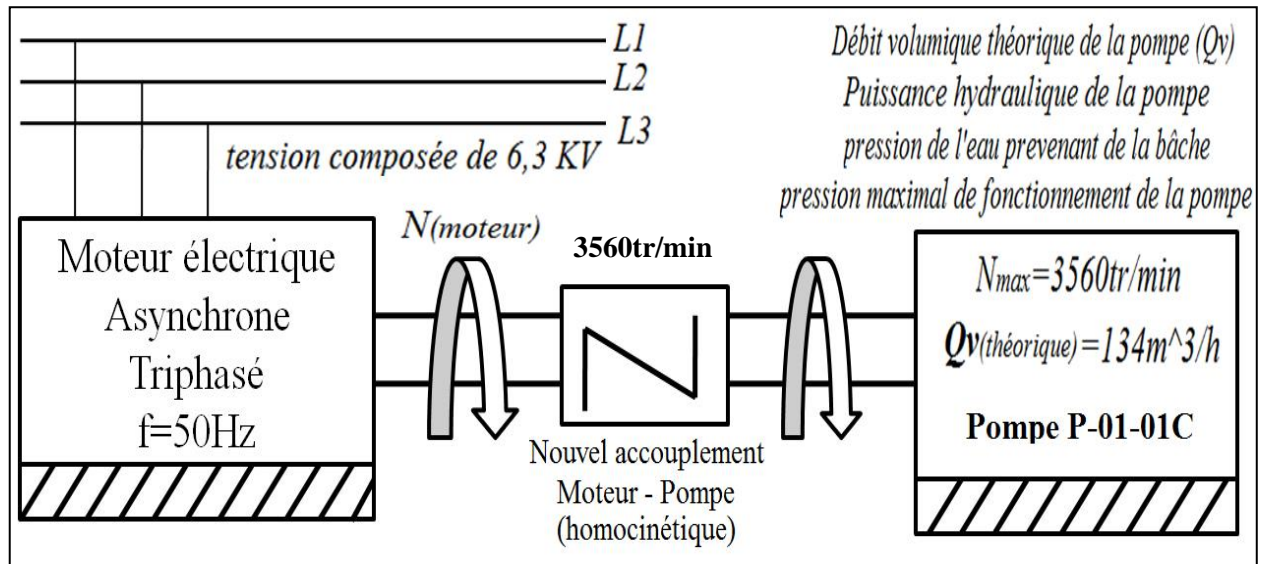


Figure 16 : La partie opérative du nouveau groupe électropompe P-01-01C de la ligne H.

• **Calcul de la puissance hydraulique maximale de la pompe P-01-01C :**

La puissance hydraulique maximale de la pompe s'exprime par :

$$P_{\text{hydraulique max}} = (p_s \text{ max} - p_e) * Q_v \text{ pompe}$$

Avec :

- $p_s \text{ max} = 156,9 \text{ Kg/cm}^2 = 153,87 \text{ bars}$: est la pression maximale de l'eau à la sortie de la pompe (voir l'Annexe VII : fiche des caractéristiques de la pompe P-01-01C) ;
- p_e (en bar) : est la pression de l'eau à l'entrée de la pompe, c'est la pression de l'eau provenant de la bêche alimentaire par gravité (de 1 à 1,5bars) ;
- $Q_v \text{ pompe} = 134 \text{ m}^3/\text{h}$: est le débit volumique théorique de la pompe P-01-01C (voir l'Annexe VII : fiche des caractéristiques de la pompe P-01-01C).
- $P_{\text{hydraulique max}}$ (en W) : est la puissance hydraulique maximale de la pompe P-01-01C.

Dans le Système International (SI) des unités :

- La pression est en pascalle (pa) ;
- Le débit volumique est en m^3/s ;
- La puissance est en Watt (W).

Alors, par application numérique, la puissance hydraulique maximale de la pompe étudiée est :

$$P_{\text{hydraulique max}} = (153,87 * 10^5 - 0) * 134 / 3600 = 572738,33 \text{ W} = 572,74 \text{ KW.}$$

Il faut calculer la puissance mécanique minimale permettant l'entraînement de cette pompe, puis déduire la puissance nécessaire au bon fonctionnement du moteur avec la pompe.

Le tableau récapitulatif suivant, présente la démarche de dimensionnement et de choix du moteur électrique, en se basant sur les caractéristiques de la pompe P-01-01C (voir l'Annexe VII : pages 1/2 et 2/2) et son milieu :

Démarche de choix du moteur asynchrone triphasé	Eléments à prendre en compte :
<p>Machine entraînée (Pompe) : GOULD PUMP, Modèle : 3600, Size :3X6-9, Repère géographique :P-01-01C :</p> <p>Valeurs nécessaires extraites de la fiche des caractéristiques de la pompe :</p> <ul style="list-style-type: none"> • $Q_v \text{ pompe} = 134 \text{ m}^3/\text{h}$; • $HMT_{\text{pompe}} = 877 \text{ mCE}$ (Hauteur Manométrique de la pompe) ; • $\mu_{\text{pompe}} \cong 0,6$ (rendement normalisé pour les pompes centrifuges) ; • $g = 9,81 \text{ m/s}^2$; • $N = 3560 \text{ tr/min}$ • Pression Maximal : $p_{\text{max}} = 156,9 \text{ kg/cm}^2$ $p_{\text{max}} = 153,87 \text{ bar}$ • $P_{\text{hydraulique pompage}} = 572,74 \text{ KW}$ (déjà calculée avec débit théorique et pression maximale à la sortie de la pompe) 	<p>Puissance minimale d'entraînement de la pompe (la puissance utile ou mécanique minimale du moteur) :</p> <ul style="list-style-type: none"> • $Q_v \text{ pompe}$ (en l/s) ; • HMT_{pompe} (en mCE) ; • $g = 9,81 \text{ m/s}^2$; • $\mu = 0,6$; • P_u (en KW). $P_u = g * \frac{Q * HMT}{1000 * \mu}$ $P_u = 9,81 * \frac{134 * 10^3 * 877}{1000 * 0,60 * 3600} = 533,73 \text{ KW}$ <p>En tenant compte de l'entartrage et du vieillissement des conduites provoquant la surcharge du moteur, on ajoute à cette puissance 10% de ça valeur. La puissance utile (nominale) du moteur vaut :</p> <p>$P_u \text{ moteur} = 597,78 \cong 600 \text{ KW} > P_{\text{hydraulique max}} = 572,74$.</p> <p>Fréquence de rotation nominale du moteur : Pour $f = 50 \text{ Hz}$, on choisit un moteur de fréquence de rotation nominale $N = 3000 \text{ tr/min}$ (la plus proche à 3560 écrite sur la plaque signalétique de la pompe P-01-01C).</p> <p>Forme de fixation (voir la figure 12) :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Axe horizontal (B) ; - Mode de fixation à pattes B3 (horizontale).
<p>Environnement et Protection:</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Chantier de la ligne H - air libre (Quantité d'aire suffisante pour le refroidissement) - Condition principale d'utilisation (Indice de Protection) : IP55 (Protégé contre les poussières et les jets d'eau de toute direction.

Caractéristique électriques :	<ul style="list-style-type: none"> - I_n : courant nominal du moteur (67A), c'est le courant nominale d'un moteur de même caractéristiques (de 6,3KV et 600KW) mis en marche à l'usine (article de l'usine) ; - Tension d'alimentation : $U=6,3KV$; - Fréquence : $f=50Hz$; - A deux pôles.
--------------------------------------	--

Tableau 5 : Tableau récapitulatif de dimensionnement du moteur électrique compatible avec la pompe P-01-01C.

On a : $\eta_g = P_h/P_m = 60 \cdot (p_{s \max} - p_e) \cdot Q_v / (C_m \cdot 2 \cdot \Pi \cdot N)$

Alors : $Q_v = \eta_g \cdot (C_m \cdot 2 \cdot \Pi \cdot N_m) / (60 \cdot (p_{s \max} - p_e))$ et $C_m = 60 \cdot P_m / (2 \cdot \Pi \cdot N_m)$

Avec :

- P_h : est la puissance hydraulique maximale de la pompe P-01-01C (déjà calculée);
- P_m : est la puissance mécanique (ou la puissance utile) du moteur ;
- Q_v : est le débit volumique de la pompe (en m^3/s), à vérifier ;
- η_g : est le nouveau rendement global de la pompe ;
- C_m : est le couple mécanique du moteur (en N.m) ;
- N_m : est la fréquence de rotation du moteur (en tr/min) ;
- $p_{s \max}$: est la pression maximale de l'eau à la sortie de la pompe (en pa) ;
- p_e : est la pression d'entrée de l'eau à la pompe, c'est la pression atmosphérique d'1bar (négligeable devant $p_{s \max}$).

Par application numérique nous avons obtenu les valeurs suivantes :

→ $\eta_g = 572,74/600 = \mathbf{95,45\%}$ (très bon rondement de la pompe) ;

→ $C_m = 60 \cdot 600 / (2 \cdot \Pi \cdot 3000) = \mathbf{1909,89 \text{ N.m}}$;

→ $Q_v = 95,45 \cdot 10^{-2} \cdot (1909,89 \cdot 2 \cdot \Pi \cdot N) / (60 \cdot 153,87 \cdot 10^5) = 3,72 \cdot 10^{-2} m^3/s = \mathbf{133,99 m^3/h} \approx \mathbf{134 m^3/h}$ (c'est la même valeur de débit volumique théorique donnée par le constructeur de la pompe) ;

→ La valeur de pression de refoulement de l'eau alimentaire par ce nouveau groupe électropompe : est la même donnée par la pompe P-01-01C avec l'ancien système d'entraînement qui est la turbine à vapeur de puissance théorique ($P_{\text{turbine à vapeur}} = 600 \text{ KW}$) égale à la puissance du moteur électrique dimensionné pour cette pompe (car la pression à la sortie de la pompe est proportionnelle à la puissance mécanique de son système d'entraînement).

→ La valeur expérimentale de la pression de refoulement de l'eau par la pompe P-01-01C est d'environ **90bars** (voir l'Annexe V : fiche du dernier essai de marche de la turbopompe).

I-2)- Dimensionnement de l'accouplement du moteur avec la pompe P-01-01C :

Le type le plus courant des accouplements utilisés pour les groupes électropompes dans l'usine est le type « accouplement élastique », pour transmettre le couple d'arbre menant (moteur) à l'arbre mené qui est l'arbre de la pompe, en assurant les fonctions suivantes :

- Absorber et amortir les irrégularités et les à coups de couple (torsion) surtout au démarrage, car il s'agit d'un moteur de Moyenne Tension (6300V) et de forte puissance (600KW) ;
- Accepter tout types des alignements (axial, radial, angulaire, etc.) et les décalages entre les arbres ;
- Supprimer les contraintes parasites éventuelles d'un accouplement rigide utilisé dans les mêmes conditions.

La détermination d'un accouplement élastique, implique donc la connaissance des paramètres fondamentaux suivants :

- **La puissance nominale à transmettre** : est la puissance utile (mécanique) du moteur, elle est de 600 KW ;
- **La fréquence de rotation du moteur** : il s'agit d'un moteur asynchrone à deux pôles (3000tr/min) ;
- **Le couple nominale à transmettre (C_{moteur})** : généralement, c'est le principal facteur de dimensionnement des accouplements à fonctionnement permanents (à liaison directe permanente entre menant et mené), il est de 1909,89 N.m (déjà calculé) ;
- **Diamètre d'arbre du moteur (donnée)** : est le diamètre d'un moteur (article de repère géographique K01-02) mis en marche à l'usine et de même caractéristiques du moteur dimensionné pour la pompe P-01-01C, $d_{\text{moteur}}=125\text{mm}$;
- **Diamètre de la pompe P-01-01C** : nous l'avons mesuré par un pied à coulisse sur le chantier de la ligne H, $d_{\text{pompe P-01-01C}}= 57\text{mm}$.
- **Hauteur d'axe de l'arbre de la pompe P-01-01C.**

I-3)- CAO du modèle de nouveau groupe électropompe P-01-01C avec emplacement de son boîtier de commande locale de M/A :

Dans cette phase d'avant projet, il est important de modéliser le nouveau groupe électropompe P-01-01C, avec l'emplacement de son boîtier de commande locale de Marche/Arrêt, sur le chantier de la ligne sulfurique H, pour donner une idée et une image d'avance sur la modification à apporter sur le chantier. La figure suivante, illustre une conception assistée par ordinateur d'un modèle de groupe électropompe P-01-01C et son boîtier de commande locale (modèle réalisé et assemblé avec CATIA V5) :

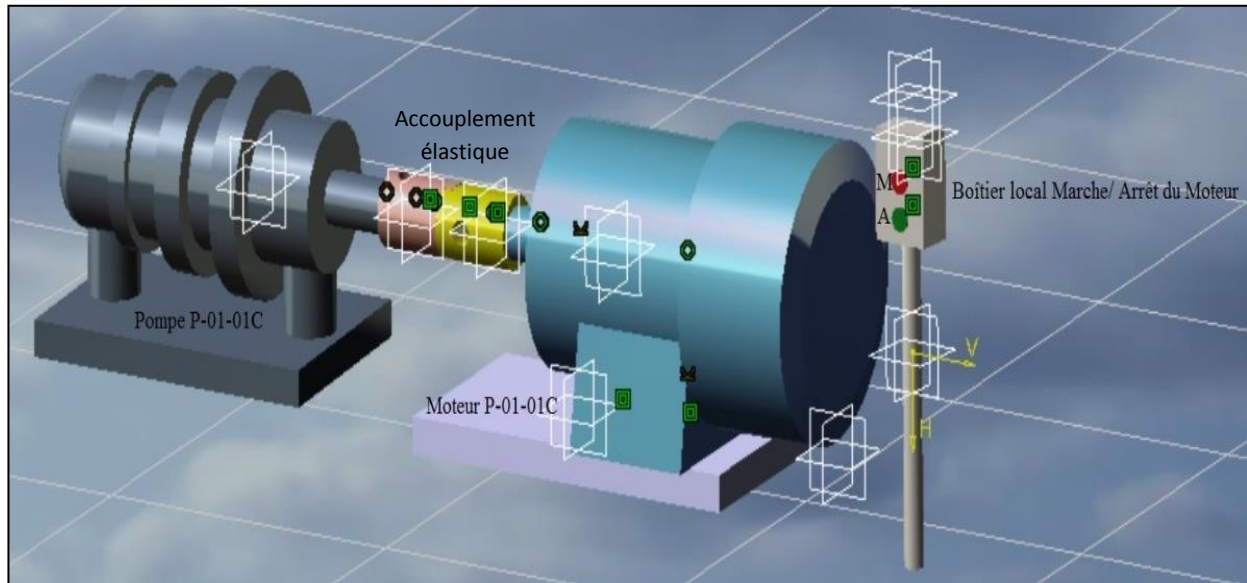


Figure 17 : Modèle du nouveau groupe électropompe P-01-01C et son boîtier de commande locale de M/A, réalisé avec le logiciel CATIA V5.

II)- Partie d'alimentation électrique et installation de puissance du moteur :

II-1)- Maîtrise du réseau électrique secouru par les GE en cas de déclenchement électrique de l'usine :

II-1-1)- Schéma électrique simplifié des départs-transformateurs et des départs-moteurs secourus dans l'usine :

A Maroc Phosphore I, il y a des charges névralgiques qui doivent être en marche quel que soit l'état de l'usine, même en cas de déclenchement électrique général dans l'usine, il doivent s'alimenter en électricité, et c'est pour la sécurité des biens (des procédés) et la conformité des produits (acide sulfurique, acide phosphorique, soufre liquide, etc.) dans les bacs de stockage. Pour cette raison, la centrale électrique de MP1, comporte deux groupes électrogènes de 6300V et 2,5MVA chacun, permettant l'alimentation des équipements névralgiques des différents régimes d'alimentation électrique (BT et MT), et dans les différents ateliers de l'usine, grâce :

- **A deux jeux de barres (deux tranches triphasées) secourus de 6300V (alternative) :** pour alimenter les primaires des transformateurs MT/BT et les équipements névralgiques de Moyenne Tension, c'est deux tranches secourus sont :
 - ✓ **la tranche secourue 23 EF 24 :** alimente les transformateurs MT/BT des anciennes lignes, et alimente directement les départs-moteurs de 6300V à l'usine ;
 - ✓ **la tranche secourue 23 EF 28 :** alimente les transformateurs MT/BT des nouvelles lignes, et alimente directement les départs-moteurs de 6300V à l'usine.

- Aux secondaires des transformateurs MT/BT (6300V/500V ou 380V) : pour l'alimentation des ateliers qui contiennent des équipements de 500V, et l'alimentation d'éclairage de l'usine avec 380V (alternative).

Le 27/02/2017 (date de marche normale de l'usine), nous avons pu établir un schéma électrique triphasé unifilaire des départs-moteurs et des départs-transformateurs pouvant être secourus par les groupes électrogènes en cas de déclenchement électrique à Maroc Phosphore I, avec les courants consommés en temps réel par les ateliers comportant certaines charges névralgiques :

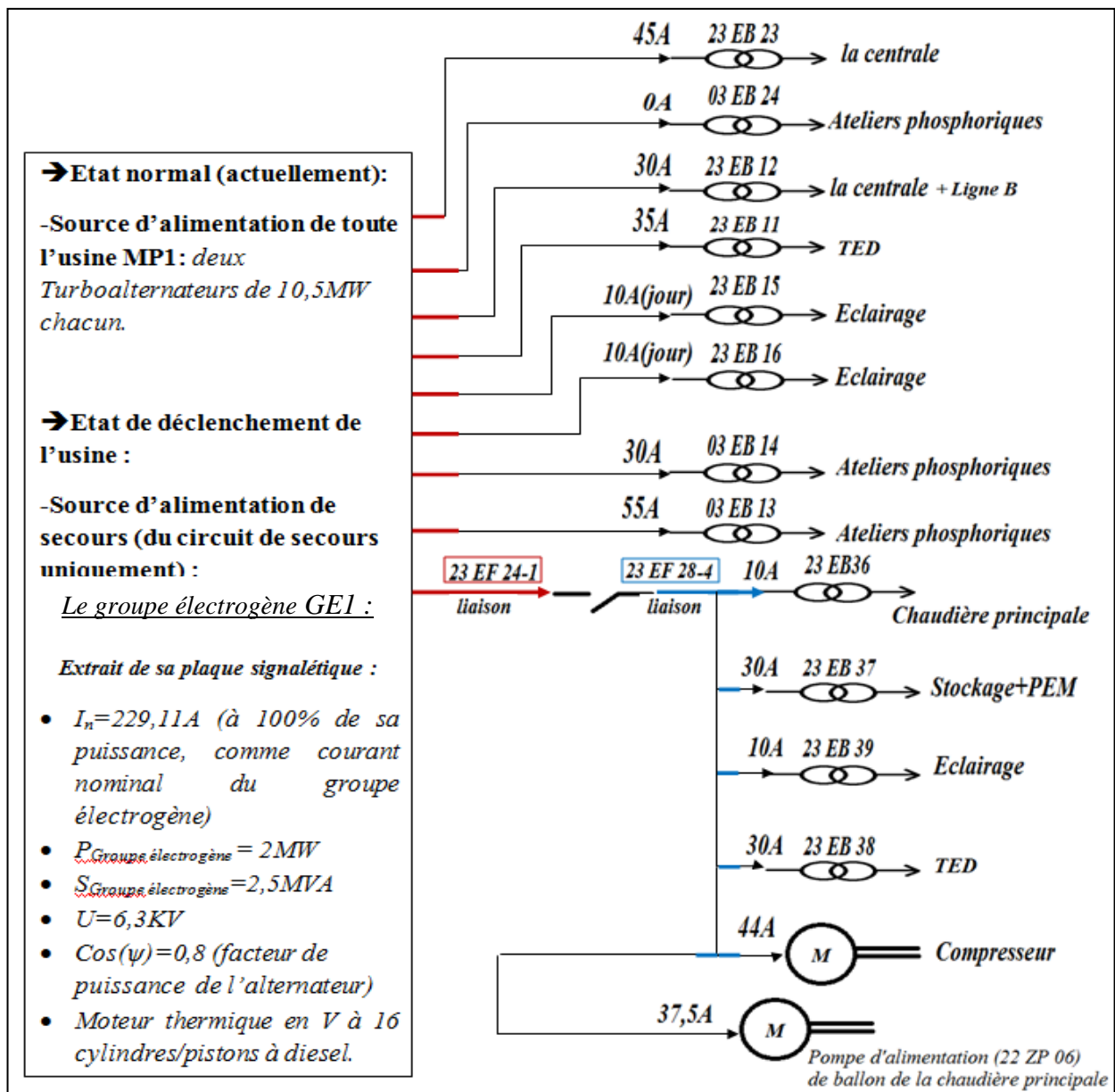


Figure 18 : Schéma électrique simplifié des départs-transformateurs et des départs-moteurs pouvant être secourus par les groupes électrogènes de la centrale de MP1.

- La tranche secourue 23 EF 24 : désignée par la couleur rouge sur le schéma de précédent ;
- La tranche secourue 23 EF 28 : désignée par la couleur bleu sur le schéma de précédent ;
- Sur le schéma précédent, il y a seulement le groupe électrogène GE1, car actuellement, le deuxième groupe électrogène (GE2) est détérioré.
- En cas de déclenchement électrique de l'usine :
 - ✓ Le groupe électrogène GE1 : alimente la tranche secourue 23 EF 24 ;
 - ✓ Le groupe électrogène GE2 (avant sa détérioration) : alimente la tranche secourue 23 EF 28 ;
 - ✓ L'un des deux groupes électrogènes peut alimenter les charges liées aux deux tranches secourues 23 EF 24 et 23 EF 28 à la fois (voire le schéma précédent), grâce à une synchronisation des deux tranches par fermeture de deux disjoncteurs de couplage 23 EF 24-1 et 23 EF 28-4.
 - ✓ Les deux groupes électrogènes GE1 et GE2 (avant la détérioration) peuvent alimenter grâce à la synchronisation des deux tranches (fermeture des disjoncteurs de couplage), tous les équipements secourus.
- A la date de réalisation du schéma précédent, les ateliers étaient alimentés par les groupes turboalternateurs de la centrale de MP1. Le groupe électrogène GE1 était mis à l'arrêt.

II-1-2)- Bilan de consommation de courant par les charges névralgiques en cas déclenchement électrique de l'usine :

En se basant sur le schéma électrique simplifié des départs-transformateurs et des départs-moteurs pouvant être secourus par les groupes électrogènes de la centrale (voir la figure 18), pour estimer le courant à fournir par le groupe électrogène GE1 en cas de déclenchement électrique de l'usine, afin de secourir les charges névralgiques, nous avons déterminé pour chaque transformateur (pour chaque atelier de l'usine) toutes les charges névralgiques et leurs courants consommés (inscrits sur leurs départ-moteurs dans les salles électriques de l'usine), fournis par les secondaires des transformateurs secourus pour les alimenter en temps réel de marche normale de production dans l'usine. D'abord, nous avons calculé le rapport de transformation de chaque transformateur secouru, pour calculer par la suite, la somme des courants des primaires (I_1) des transformateurs, qui est égale au courant à fournir par le groupe électrogène GE1 pour alimenter ces charges en cas d'arrêt de l'usine.

Lors de cette étude, les transformateurs secourus par les groupes électrogènes GE1 et GE2 sont supposés parfaits, ce sont des abaisseurs de tension (élevateurs de courant), leur rapport de transformation s'écrit sous forme de : $R_{TF} = U_{20}/U_1 = I_1/I_2$, avec :

- U_{20} et I_2 : la tension (à vide) et le courant de secondaire du transformateur ;
- U_1 et I_1 : la tension et le courant de primaire du transformateur.

Le tableau suivant, présente le bilan que nous avons réalisé à l'usine :

Transformateur secouru par le groupe électrogène GE1	Le secondaire du transformateur est vers : (le chantier alimenté)	Charges secourues en cas de déclenchement de l'usine :	R_{TF}	Courants consommés par les charges secourues (I_2)	Courant dans le primaire du transformateur (I_1)
23 EB 23 6300V/500V	La centrale	Pompe à huile auxiliaire du TA2	0,08	(40% de P_n) 42A	1,34A
03 EB 24 (Réserve)	Ateliers phosphoriques	*****	0,08	0 (réserve)	0 (réserve)
23 EB 12 6300V/500V	Centrale	-21PP06 (Pompe alimentaire)	0,08	182A	14,56A
		Pompe à huile auxiliaire du TA1		(40% de) 42A	1,34A
		-Vireur du TA2		27A	2,16A
	Ligne B	K01M1 Ou K01M2 (pompe d'huile de lubrification)		23A	1,84A
23 EB 11 6300V/500V	TED	27PP03 (pompe de l'eau filtrée)	0,08	110A	8,80A
		28PP07 (pompe de l'eau décilicée)		16A	1,28A
23 EB 15 6300V/380V	Eclairage		0,06	166,67A	10A
23 EB 16 6300V/380V	Eclairage		0,06	166,67A	10A
03 EB 14 6300V/500V	Ateliers phosphoriques	100% des charges	0,08	216,14A	17,29A
03 EB 13 6300V/500V	Ateliers phosphoriques	100% des charges	0,08	396,25A	31,7A
		→bac ACP 30% : -03 AT 03 (Agitateur)		2,50A	0,20A

23 EB 37 6300V/500V	Stockage d'acide phosphorique	→ bac d'ACP 30% : -03 BT 03 (Agitateur)	0,08	2,94A	0,24A
		→ bac d'ACP 30% : -03 DT 03 (Agitateur)		2,94A	0,24A
		→ bac d'ACP 30% : -04 BT 02 (Agitateur)		3,3A	0,26A
		→ bac d'ACP 30% : -04 DT 02 (Agitateur)		2A	0,16A
		→ bac 54% chaud : -04 AT 01 (Agitateur)		2A	0,16A
		→ bac 54% chaud : -04 BT 01 (Agitateur)		2,10A	0,17A
		→ bac 54% chaud : -04 DT 01 (Agitateur)		1,60A	0,13A
		→ bac 54% chaud : -03 DT 05 (Agitateur)		1,60A	0,13A
		→ bac 54% froid : -03 AT 05 (Agitateur)		1,80A	0,14A
		→ bac 54% froid : -04 AT 02 (Agitateur)		3,40A	0,27A
→ bac 54% 5000m ³ froid : -04 AT 03	2,20A	0,18A			

		(Agitateur)		
		→bac 54% 5000m ³ froid : -04 BT 03 (Agitateur)	2,06A	0,16A
		→bac 54% 5000m ³ froid : -04 DT 03 (Agitateur)	2A	0,16A
		→Boues : 04 PD 02 (Agitateur)	30A	2,40A
		→Boues : -04 AD 01 (Agitateur)	7,50A	0,60A
		→Boues : -04 AD 20 (Agitateur)	5,50A	0,44A
		→bac d'ACP 54% clarifié : -04 AT 04 (Agitateur)	2,75A	0,22A
		→bac d'ACP 54% clarifié : -04 BT 04 (Agitateur)	3A	0,24A
		→bac d'ACP 54% clarifié : -04 DT 04 (Agitateur)	6,60A	0,52A
		→bac d'ACP 54% clarifié : -04 AT 05 (Agitateur)	3A	0,24A
		→bac d'ACP 54% clarifié : -04 BT 05 (Agitateur)	2,75A	0,22A
		→bac d'ACP 54% clarifié : -04 DT 05 (Agitateur)	3A	0,24A

		→ Agitateur de la fosse U33		3A	0,24A
		→ Agitateur de la fosse d'expédition		3A	0,24A
		-03 PT 02		10A	0,80A
		-03 DT 02		2A	0,16A
	Centrale	Pompe à huile auxiliaire du TA3		(40% de) 42A	1,34A
		Vireur de TA3		27A	2,16A
23 EB 39 6300V/380V	Eclairage		0,06	166,67A	10A
23 EB 38 6300V/500V	TED	27PP15 (Pompe de l'eau filtrée)	0,08	125A	10A
<i>Courant à fournir par le groupe électrogène GE1 en cas de déclenchement électrique de l'usine pour secourir les charges névralgiques :</i>					132,97A ≈ 133A

Tableau 6 : Bilan de consommation de courant par les charges névralgiques en cas déclenchement électrique de l'usine.

Sur le bilan ci-dessus, seulement les pompes à huile auxiliaires des turboalternateurs TA1, TA2 et TA3 de la centrale qui consomment 40% de leurs courants consommés lors de la marche normale de l'usine (donnée de constructeur).

Pour des raisons de sécurité, le groupe électrogène GE1 ne fonctionne qu'avec 80% de sa puissance nominale (80% de son courant nominale $I_n=229,11A$), alors, l'excès de courant dans le régime permanent de fonctionnement du groupe électrogène est : $229,11 \cdot 80 \cdot 10^{-2} - 133 = 50,29A < 67A$ qui est le courant nominal du moteur dimensionné pour la pompe P-01-01C.

Alors, ce bilan confirme qu'un seul groupe électrogène (le GE1) est insuffisant sur le réseau de secours de Maroc Phosphore I. En effet, le moteur dimensionné pour la pompe P-01-01C : est une nouvelle charge électrique qui ne peut pas se secourir avec les charges névralgiques en cas de déclenchement électrique de l'usine (ça va créer une surcharge importante sur le GE1).

II-1-3)- Création des scénarios sur le réseau secouru et dimensionnement du groupe électrogène nécessaire pour remplacer le GE2 défaillant :

Le groupe électrogène GE2 (voir la figure 19 dans la page suivante) est défaillant depuis 2012, et sa réparation coûte plus que la moitié de son coût d'achat (d'après un rapport d'expertise fait par la société SIEMENS, à question de confidentialité, nous n'avons pu joindre une fiche de ce document à notre travail ci-contre).

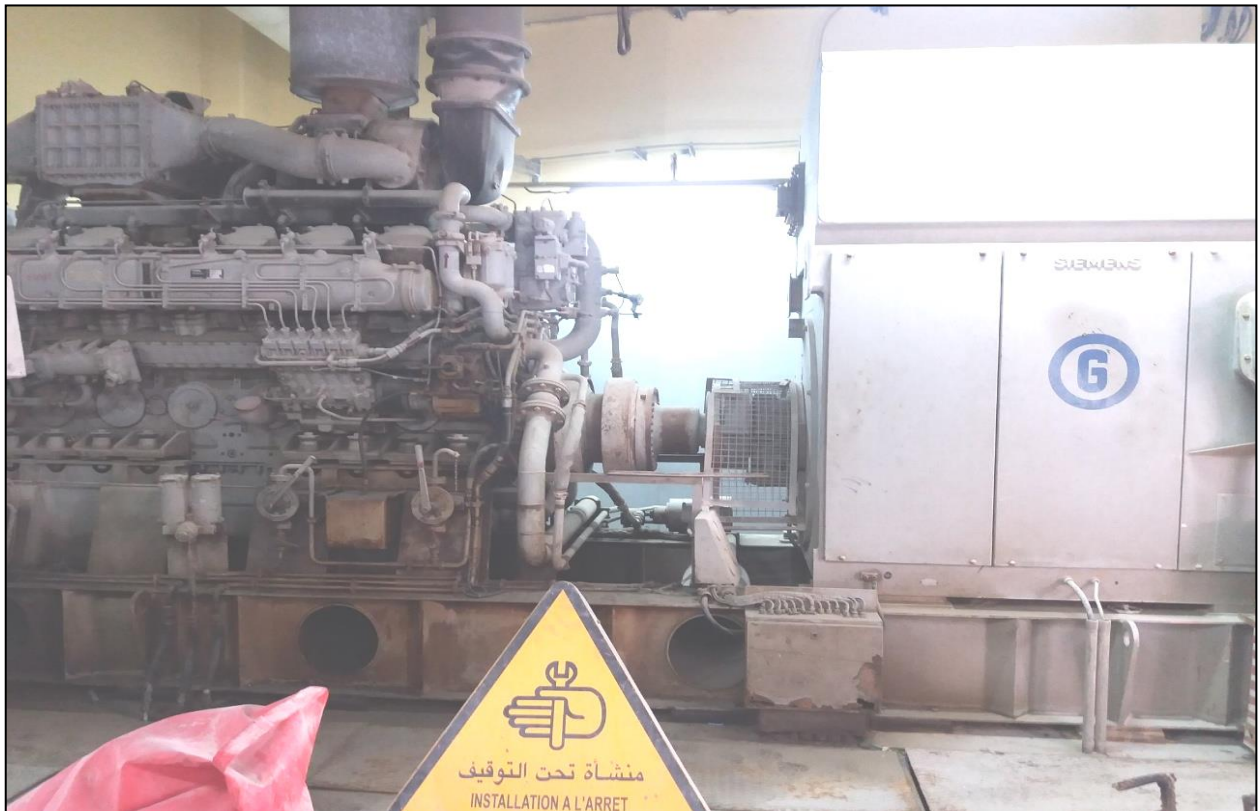


Figure 19 : Le groupe électrogène défailant GE2 de la centrale de MP1.



Figure 20 : Le groupe électrogène GE1 de la centrale de MP1.

Le réseau de secours de Maroc Phosphore I comporte normalement les deux groupes électrogènes GE1 et GE2 (figures 19 et 20) de 6300V (3~) et 2,5MVA chacun, alors il est essentiel de remettre ce réseau à l'état initial, par remplacement du groupe électrogène GE2 défaillant par un autre à dimensionner, en assurant une alimentation suffisante et un fonctionnement normal au réseau secouru avec la nouvelle charge névralgique, qui est le moteur de la pompe P-01-01C. Pour cela, nous avons créé un tableau de bord à boutons à options dans Excel, pour créer des scénarios de consommation de courant par le circuit de secours de l'usine (y compris le moteur de la pompe P-01-01C) en cas de déclenchement électrique, afin de dimensionner le groupe électrogène nécessaire à l'usine et particulièrement au projet :

- **Scénario N°1 (Annexe VIII) :**

C'est le scénario sur lequel nous étions basés pour surdimensionner le groupe électrogène nécessaire au fonctionnement avec le GE1, dans ce scénario, nous avons supposé que :

- seulement les compresseurs, la chaudière principale de la centrale et sa pompe alimentaire sont mis à l'arrêt ;
- Les autres ateliers sont entièrement secourus (y compris les équipements non névralgiques dans ces ateliers) ;
- Le nouveau groupe électropompe P-01-01C est secouru.

Le groupe électrogène GE1 ne fonctionne qu'avec 80% de sa puissance, alors :

- Sa puissance apparente de fonctionnement est de **2MVA** (80% du nominale 2,5MVA) ;
- Son courant de fonctionnement est de 183,29A (80% du nominale 229,11A).

Dans ce scénario :

- La puissance apparente consommée par le réseau secouru dans ce cas est : **S =3,84 MVA** ;
- Le courant total absorbé par le réseau secouru dans ce cas : **I=352 A** ;

Pour surdimensionner la source d'alimentation électrique, nous pouvons dire que le réseau secouru de MP1 avec le moteur de la pompe P-01-01C demande au moins :

- une source d'alimentation de 4MVA (supérieure à 3,84MVA) comme puissance de fonctionnement à 80% de la puissance nominale, c'est à dire, il faut avoir un autre groupe électrogène identique à GE1 (de 2,5MVA et 6300V), pour avoir une puissance apparente totale de fonctionnement de 4MVA (80% de 5MVA).

- **Scénario N°2 (Annexe IX) :** dans ce cas, les compresseurs doivent se mettre à l'arrêt.
- **Scénario N°3 (Annexe X) :** ce scénario montre que les groupes électrogènes (GE1 et son identique dimensionné) ne peuvent pas assurer le démarrage de l'usine après l'arrêt (ils peuvent just, secourir les charges essentielles lors de déclenchement électrique de l'usine).

II-2)- Dimensionnement de l'installation électrique de puissance pour le moteur de la pompe P-01-01C :

II-2-1)- Départ-moteur du nouveau groupe électropompe P-01-01C :

En général, un départ-moteur comporte quatre fonctions de base :

- Le sectionnement ;
- La protection contre les courts-circuits ;
- La protection contre les surcharges ;
- La commutation ou la commande de Marche/Arrêt du moteur.

Selon la constitution d'un départ-moteur, les fonctions peuvent être réparties de différentes manières pour former l'un des types présentés par la figure suivante :

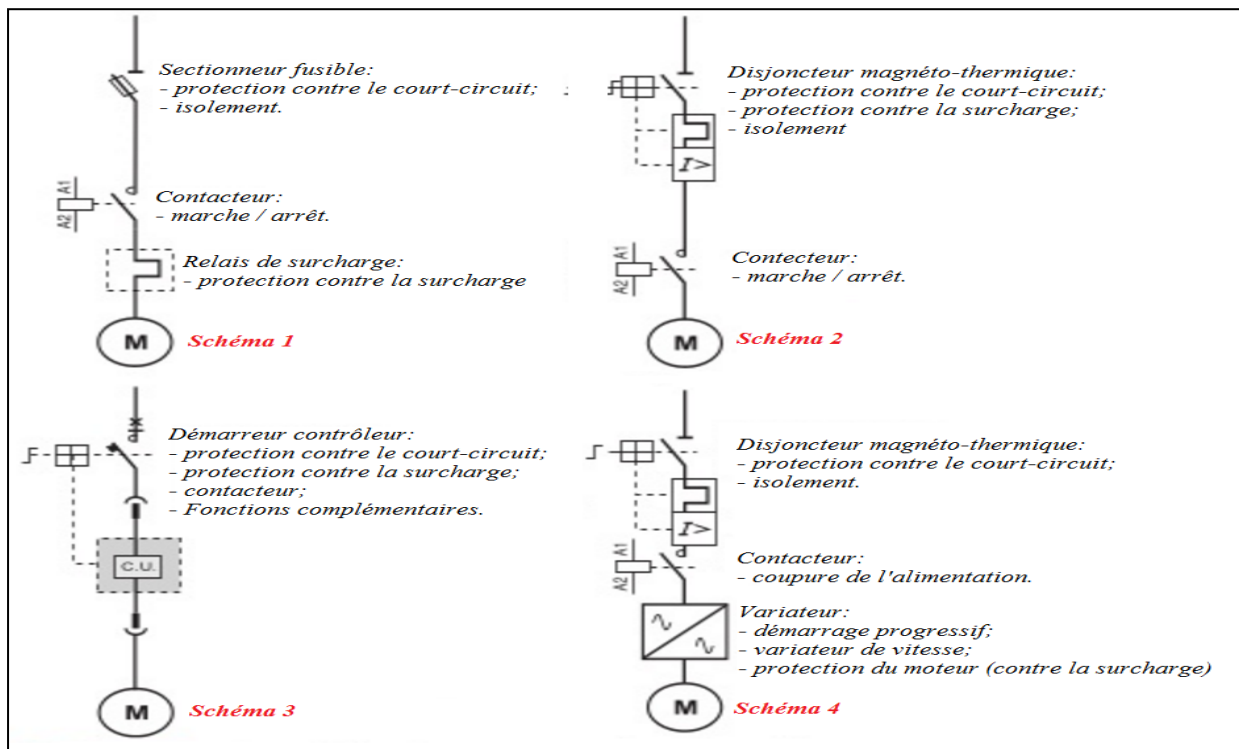


Figure 21 : Schémas des différents types des départ-moteurs.

A Maroc Phosphore I, les moteurs de Moyenne Tension (6300V), sont installés sur les tranches du réseau électriques, grâce à des départs-moteurs surdimensionnés, de mêmes caractéristiques, de type Démarreur-Contrôleur (Schéma 3 de la figure ci-dessus) de démarrage direct. Les différentes fonctions de ce type de départ-moteur sont associées et coordonnées de manière à permettre la continuité de service à tous les courants jusqu'au pouvoir assigné de coupure de service en court-circuit I_{cs} . Le type démarreur contrôleur se caractérise par une Unité de Contrôle (CU) qui remplit les fonction complémentaires telles que l'alarme de défaut, mesure de courant absorbé par le moteur, etc.

Dans une salle électrique de la centrale de MP1, nous avons trouvé un départ-moteur de Moyenne Tension hors service et libre (sans charge), installé sur la tranche électrique 23 EF 28 de la centrale, son repère géographique à l'usine est 23 EF 28-27, il est compatible au moteur de MT que nous avons dimensionné pour la pompe P-01-01C de la ligne H. Le tableau suivant, présente les caractéristiques de ce départ-moteur (caractéristiques unifiées sur tous les départs-moteurs de MT à l'usine) :

Caractéristiques du départ-moteur (disjoncteur) 23 EF 28-27	Désignation
$U_m=7,2KV > 6,3KV$	La tension assignée : la tension maximale du réseau électrique que le disjoncteur protège : (pour notre cas le réseau électrique est de 6,3KV).
$I_b=630A \geq I_{\text{maximal du réseau}} = 8 \cdot 67 = 536A$ (car : il s'agit du démarrage direct)	Le courant assigné : est la valeur maximale du courant interrompu que peut supporter le disjoncteur (supérieur à $8 \cdot I_{\text{nominal moteur}}$).
$f=50Hz$	Fréquence normale d'utilisation du disjoncteur.
$t_k=1,8s$	Temps de réponse du disjoncteur à la commande d'ouverture ou de fermeture
$I_K=40KA$	Le pouvoir de coupure : est la plus grande intensité de courant de court-circuit que le disjoncteur peut interrompre sous sa tension assignée.

Tableau 7 : Caractéristique du départ-moteur du nouveau groupe électropompe P-01-01C.

II-2-2)- Dimensionnement du câble de puissance du moteur de la pompe P-01-01C selon la norme NF C13-205 :

- Schéma :

La figure ci-dessous, illustre le schéma de puissance triphasé unifilaire du moteur :

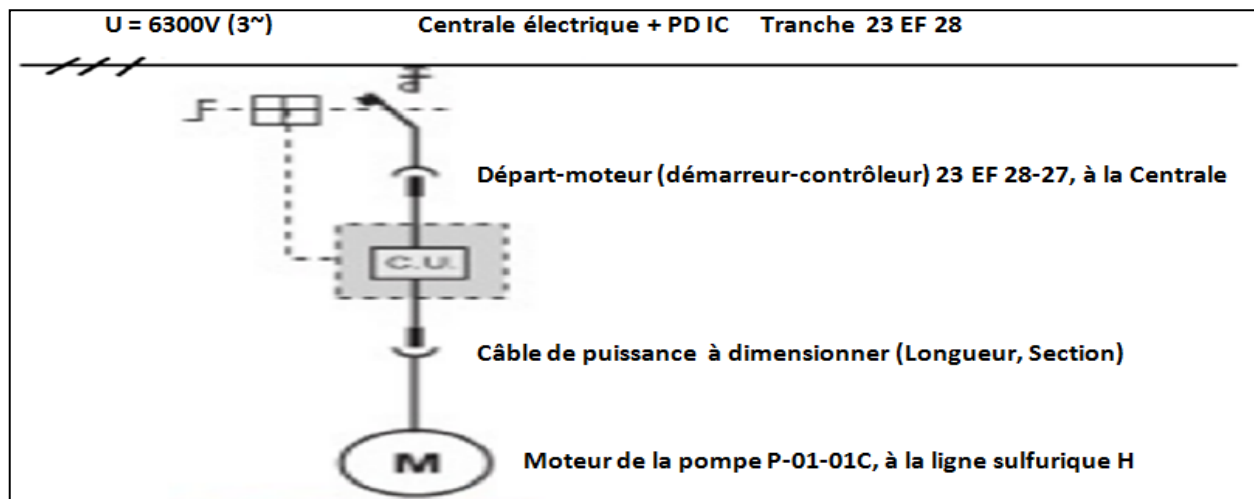


Figure 22 : Schéma de puissance triphasé unifilaire du moteur de la pompe P-01-01C.

• **Longueur de câble de puissance du moteur de la pompe P-01-01C :**

Le câble de puissance du moteur de la pompe P-01-01C de la ligne H, forme une ligne triphasée de longueur L, la figure suivante, présente le chemin de ce câble dans l'usine, pour déterminer la distance approximative entre ce moteur et son disjoncteur (départ-moteur) à la centrale :



Figure 23 : Chemin de câble de puissance du moteur & Distance approximative entre le moteur de la pompe P-01-01C et son disjoncteur à la centrale de MP1.

Sur la figure ci-dessus, P1 et P2 sont les points de base permettant la détermination de la distance approximative entre le groupe électropompe P-01-01C et son départ-moteur :

- P1 : le nouveau groupe électropompe P-01-01C de la ligne sulfurique H ;
- P2 : le départ-moteur à la centrale électrique de Maroc Phosphore I.

D'après WIKIMAPIA STELITE, cette distance (chemin rouge sur la figure ci-dessus) est de 345m, elle est approximative à la distance géographique réelle. A la ligne sulfurique H, les câbles de puissance des moteurs de 6300V sont de 500m. Alors, il est préférable d'utiliser un câble de même longueur (**L=500m**).

- **Détermination de la section nominale de câble de puissance du moteur selon la norme NF C13-205 :**

La norme NF C13-205 permet la détermination des sections des conducteurs et le choix des dispositifs de protection pour les installations électriques à haute tension. Pour déterminer la section du câble de puissance du moteur selon cette norme, nous avons déterminé :

- a)- Le mode de pose du câble ;
- b)- Le type de canalisation et d'isolation (en fonction de la tension assignée) ;
- c)- La valeur normalisée du courant admissible dans le câble : est le courant donné par la norme NF C13-205, qu'un conducteur isolé peut transporter en toute sécurité sans dépasser les limites de température de son isolant et sa gaine.

a)- le mode de pose :

D'après le tableau BA de la norme NF C13-205 (Annexe XI), le mode de pose choisi pour le câble de puissance du moteur de la pompe P-01-01C de la ligne H est :

- Le mode de pose F (colonne 3 des tableaux) : pose sur chemins de câbles ou tablettes, c'est le mode le plus utilisé pour les moteurs Moyenne Tension à l'usine.

b)- Le type de canalisation et d'isolation du câble (pour la tension assignée de 6,3KV) :

La détermination du type de canalisation et d'isolation du câble se fait grâce au tableau 52B de la norme NF C13-205 (Annexe XII), d'après ce tableau, la tension assignée : est inférieure ou égale à 6/6 (7,2KV), elle est de 6,3KV, alors :

- Le type de canalisation : est un câble tripolaire à champ non radial ;

Donc :

- L'isolant : est le PVC (Polychlorure de Vinyle).

c)- La valeur normalisée du courant admissible dans le câble :

Le courant admissible dans le câble s'exprime par : $I=10^B \cdot S^A$, avec $S=47,5\text{mm}^2$ est une section conventionnelle des câbles selon la NF C-13-205, puisqu'il s'agit du mode de pose F (la colonne 3), dans le tableau 52B de la norme NF C13-205 (Annexe II) :

- Nous avons choisi le cuivre comme matériau des âmes du câble ;
- Pour la colonne 3 de la canalisation câble tripolaire à champ non radial : $A=0,588$ et $B=1,137$, Alors : $I=10^{1,137} \cdot 47,5^{0,588}$.

→ $I_{\text{admissible calculé}} = 227,45\text{A}$ (le courant admissible calculé).

Pour déterminer la section nominale du câble en mm^2 , dans le tableau 52C11 de la norme NF C13-205 (Annexe XIII), pour des âmes en cuivre et pour la colonne 3 du tableau :

- Nous avons choisi un courant admissible normalisé immédiatement supérieur à la valeur calculée du courant admissible : $I_{\text{admissible normalisé}} = 250\text{A} > 227,45\text{A}$. Pour cette valeur, la section nominale du câble est : $S_{\text{nominale du câble}} = 95\text{mm}^2$ (selon la norme NF C13-205).

Dans le cadre de surdimensionnement et de sécurité des câbles est des moteurs à Maroc Phosphore 1, pour tous les moteurs électriques fonctionnant avec la moyenne tension ($U=6,3\text{KV}$), la section des câbles est unifiée et de valeur $S=120\text{mm}^2$, et d'après le tableau 52C11 de la norme NF C13-205 (Annexe XIII), pour une âme en cuivre – Colonne 3 du tableau, on constate que c'est la section immédiatement supérieure à la section nominale que nous avons trouvé (de 95mm^2) comme résultat de dimensionnement du câble de puissance du moteur de la pompe P-01-01C de la ligne H.

Pour question de prix d'achat du câble de puissance, la section nominale dimensionnée (de 95mm^2) selon la norme NF C13-205 : est la moins chères possible pour ce projet.

II-3)- Modification du plan-schéma électrique du réseau secouru de MP1 (Annexe XIV) :

Après avoir dimensionné le moteur de la pompe P-01-01C et son installation de puissance, et après avoir metrisé le réseau secouru par les groupes électrogènes de l'usine et la résolution de son problème en cas de déclenchement électrique, nous avons intégré le moteur comme une nouvelle charge dans le réseau électrique de l'usine.

Sur le plan (Annexe XIV), le départ-moteur P-01-01C est alimenté par : **la Centrale électrique + PD IC Tranche 23 EF 28**, ça signifie que le nouveau groupe électropompe P-01-01C de la ligne H peut être alimenté par l'une des deux sources électriques de l'usine, en effet :

- Il peut s'alimenter par la centrale thermique (grâce aux turboalternateurs) de l'usine : en cas de marche de production à l'usine et problème au niveau des deux électropompes P-01-01A et P-01-01B de la ligne H ;
- Il peut s'alimenter par la tranche 23 EF 28 secourue par les groupes électrogènes, par fermeture du disjoncteur 23 EF 28-1 (couplage avec la tranche secourue 23 EF 28) : en cas de déclenchement électrique général à l'usine (Annexe XIV).

Ça confirme la résolution du problème de protection des chaudières de production de la vapeur HP à la ligne sulfurique H quel que soit la situation de l'usine, en tout moment et dans tous les cas d'indisponibilité des deux électropompes P-01-01A et P-01-01B de la ligne H.

III)- Partie commande et asservissement du moteur de la pompe P-01-01C :

III-1)- Description de la commande de Marche/Arrêt du moteur :

En répondant aux exigences du service production sulfurique-ligne H de MP1 en commande de ce moteur, il doit être commandé en :

- Arrêt local (sur chantier de la ligne H) ;
- Arrêt à distance par l'opérateur de production (via la salle de contrôle/commande du procédé de la ligne H) ;
- Marche locale après autorisation de marche automatisée donnée par l'opérateur de production (via la salle de contrôle/commande du procédé de la ligne H) : dans le cadre de sécurité des biens et des personnes, en évitant toute action de marche accidentelle (sur le bouton de marche locale) par les agents opérateurs du chantier de la ligne H ;
- Marche à distance via la salle de contrôle/commande du procédé de la ligne H.

III-2)- Description de l'asservissement du moteur avec le procédé de la ligne H :

Comme tous les équipements du procédé de la ligne sulfurique H, le moteur de la pompe de secours P-01-01C doit se mettre à l'arrêt dans les cas suivants :

- Défaut électrique ;
- Niveau très bas de l'eau dans la bache alimentaire de la ligne sulfurique H.

Le niveau très bas de l'eau dans la bache alimentaire se signale par une alarme de l'Interlock **I-21** (LSSL-219) dans le système DELTA V.

III-3)- Le système d'automatisation numérique DELTAV de la ligne H :

• Présentation du système :

Le post du système numérique de contrôle/ commande de la ligne H, comporte des cartes des Entrées/Sorties numériques et d'autres analogiques, ces cartes sont redondantes à des contrôleurs (CONTROLLERS) et des modules d'alimentation (POWER) du système DELTAV d'EMERSON. C'est un système moderne d'automatisation facile et flexible aux modifications.

La figure suivante, présente le post du système DELTAV de la ligne H :



Figure 24 : Post du système DELTAV de la ligne H

- **Aspect logiciel du système :**

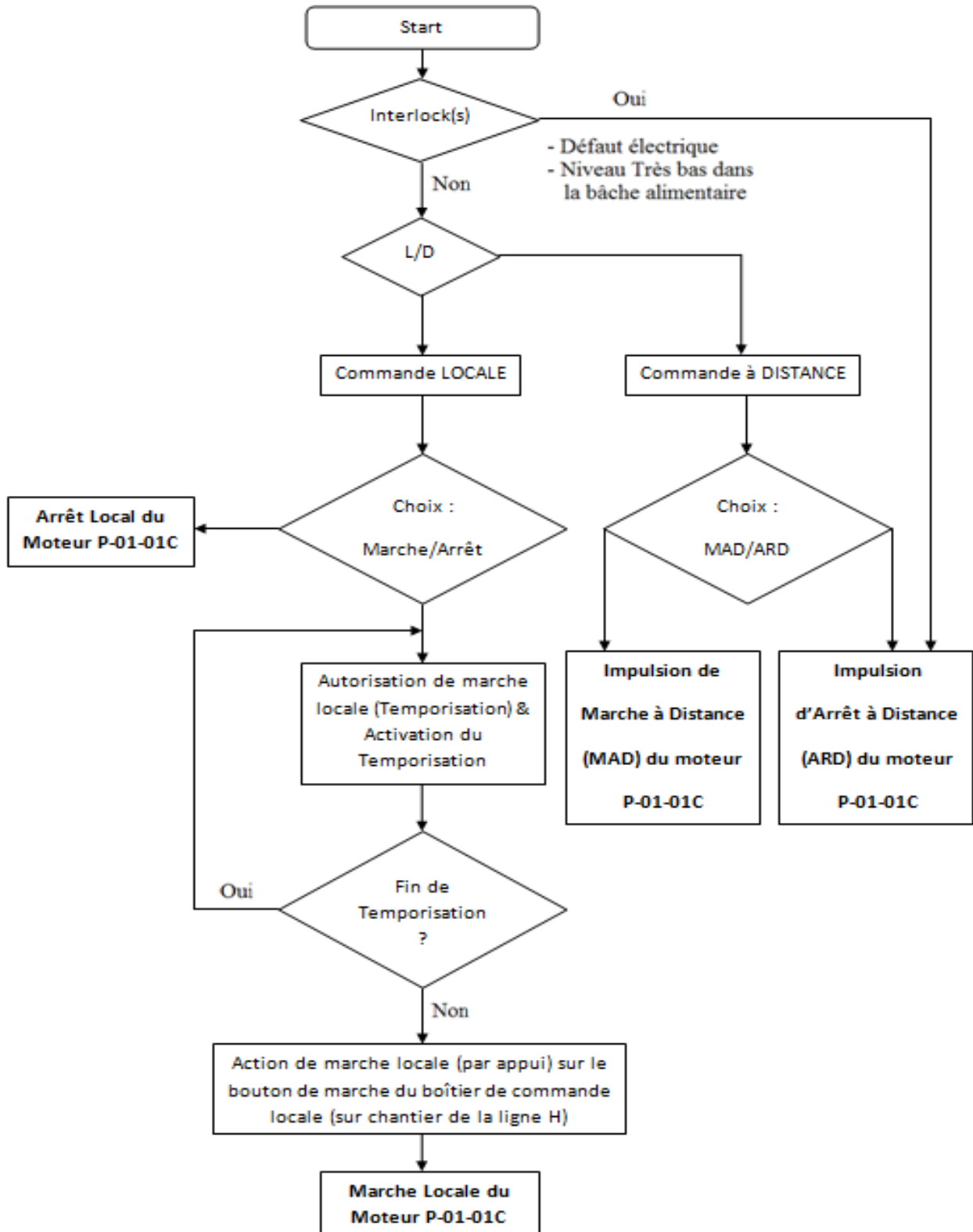
Dans le système DELTA V, le contrôle est basé sur des modules. Le module est la plus petite unité de contrôle logique du système.

En général un module contient une unité de contrôle dotée d'un repère unique et accompagné de la logique associée, tel qu'un moteur.

Le fait qu'un module se définisse autour d'un seul appareil de terrain et de sa logique de contrôle, facilite la création, le chargement, l'exploitation et la mise hors service d'un module donné sans affecter les autres modules. Il contient des algorithmes, des conditions, des alarmes, , des informations historiques et autres caractéristiques qui définissent l'équipement de procédé.

Les algorithmes sont des opérations logiques qui définissent le comportement du module. Les blocs des fonctions servent à créer les algorithmes continus ou discrets qui contrôlent ou surveillent le procédé. La Bibliothèque DELTA V contient des modèles de blocs de fonction pour les E/S (entrées/sorties analogiques et discrètes) et autres fonctions de base. Chaque bloc de fonction contient des paramètres qui peuvent être modifiés en fonction de l'algorithme.

III-4)- Organigramme de l’algorithme de commande du moteur de la pompe P-01-01C :



Dans l'organigramme de solution (voir la page précédente) de commande du moteur de la pompe P-01-01C, le choix des commandes Local/à Distance – Marche/Arrêt et le délai d'autorisation de marche locale du moteur de la pompe se font sur une interface à créer dans l'environnement du logiciel DELTA V et s'utilise par l'opérateur de contrôle de la production sur les ordinateurs de la salle de contrôle/commande du procédé de la ligne H.

III-5)- Les entrées et les sorties du module de moteur de la pompe P-01-01C dans le système DELTA V :

Pour assurer le Contrôle/Commande du moteur de la pompe P-01-01C, nous avons défini les Entrées et les Sorties et leurs types (analogiques ou numérique) à introduire au programme de commande du moteur dans le système DELTA V :

	Sortie/ Entrée	Type	Adresse sur les cartes des Entrées/Sorties libres
Arrêt à distance du moteur (ARD)	Sortie	Discrète (DO)	Controller 2, C26, voie CH23
Marche à distance (MAD)	Sortie	Discrète (DO)	Controller 2, C26, voie CH24
Autorisation de marche du moteur limitée par le délai	Sortie	Discrète (DO)	Controller 2, C26, voie CH22
Etat du moteur (Marche=1 ; Arrêt=0)	Entrée	Discrète (DI)	Controller 2, C16, voie CH13
Défaut électrique	Entrée	Discrète (DI)	Controller 2, C16, voie CH14

Tableau 8 : Tableau des Entrées et des Sorties du module de moteur de la pompe P-01-01C dans le système DELTA V.

Les composants des adresses des Entrées/Sorties des cartes à utiliser pour le module de commande du moteur sont :

- **Controller 2** : permet la liaison du système DELTA V avec les ordinateurs de contrôle du procédé de la ligne H ;
- **C26** : carte libre des sorties discrètes du système DELTA V à utiliser pour la commande du module de moteur de la pompe P-01-01C ;
- **C16** : carte libre des entrées analogiques du système DELTA V ;
- **CH (ou Chanel)**: la voie à utiliser pour l'entrée ou la sortie du module de moteur de la pompe.

Les interlocks sont des seuils de prévention d'un évènement indésirable sur le procédé, pour la pompe P-01-01C, l'un des deux, ou tous les deux évènements suivants doivent permettre l'arrêt de du moteur :

- Défaut électrique : détecté par le démarreur-contrôleur et envoyé à la carte des entrées discrètes C26 - voie CH14, il est défini par une entrée numérique (DI, voir son adresse

dans le tableau ci-dessus) dans le système d'automatisation numérique DELTA V de la ligne H ;

- Niveau très bas de la bache alimentaire de la ligne H : **Interlock I-21**.

III-6)- Programme (ou module) de commande du moteur de la pompe P-01-01C dans le système DELTA V :

Le module de commande du moteur est un diagramme à fonctions permettant la structuration de l'algorithme de commande du moteur de la pompe P-01-01C (voir l'axe III-4 : algorithme de commande du moteur), ses blocs à fonctions sont déjà programmés et disponibles dans les modules de commande des autres moteurs tels que ceux des pompes P-01-01A et P-01-01B, juste les E/S, les conditions d'arrêt de chaque moteurs (les Interlocks) et les modes de marche et d'arrêt (Local/ Distance) qui diffèrent. La figure ci-dessous, présente le programme de commande avec les adresses des E/S présentées par le tableau 8 :

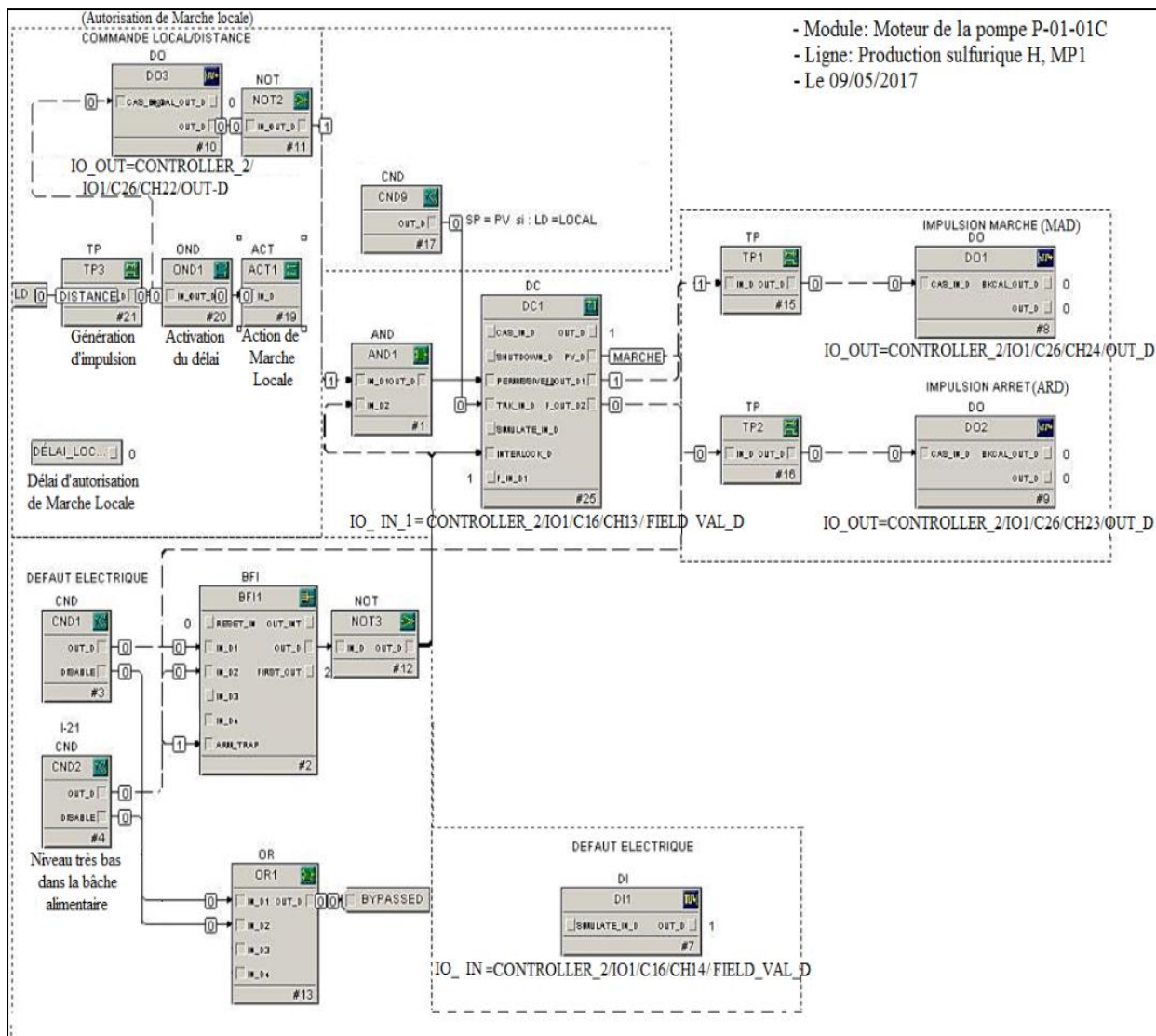


Figure 25 : Programme de commande de moteur de la pompe P-01-01C de la ligne H, extrait de l'environnement du logiciel du système DELTA V.

Le module du moteur (figure 25), contient les blocs à fonctions suivants :

- **3 blocs des conditions (CND) :**
- Défaut électrique (1^{ère} condition d'arrêt du moteur) ;
- Niveau Très Bas de l'eau dans la bache alimentaire (2^{ème} condition d'arrêt du moteur) ;
- Local/Distance = Local (entrée du bloc de contrôle du moteur).
- **Un bloc d'Inter-verrouillage (BFI) :** permet d'associer des conditions pouvant chacune et en tout moment arrêter le moteur P-01-01C ou empêcher son démarrage s'il est à l'arrêt ;
- **Des blocs logiques (AND), (OR), (NOT) ;**
- **Un bloc de contrôle du moteur (DC) ;**
- **3 blocs des sorties numériques (DO ou Discret Output) du module de moteur :**
- DO3 : autorisation de marche locale du moteur ;
- DO1: impulsion de Marche (Marche A Distance) : MAD ;
- DO2 : impulsion d'arrêt (Arrêt A Distance) : ARD ;
- **2 blocs des entrées logiques (DI ou Discret Input) :**
- DI1 : défaut électrique ;
- DI : état du moteur (Marche/Arrêt) ;
- **3 blocs de génération des impulsions de commande du module du moteur :**
- TP3 : bloc permettant de générer une impulsion de commande Locale (impulsion=1) ou Distance (impulsion=0) ;
- TP1 : bloc de génération d'impulsion de marche à distance du moteur (entrée du bloc MAD) ;
- TP2 : bloc de génération d'impulsion d'arrêt à distance du moteur (entrée du bloc ARD) ;
- **1 bloc BYPASSED :** permet le stockage des conditions désactivées par le choix de l'opérateur de contrôle/commande de la production, et par conséquence l'interlock désactivé ne joue plus son rôle malgré la présence d'un événement de dépassement d'un seuil de sécurité défini sur le procédé ;
- **1 bloc ACT :** est un bloc d'action de commande locale du moteur, permettant d'arrêter le décomptage du délai de l'autorisation de marche locale donnée par l'opérateur de la salle de contrôle/commande ;
- **bloc OND (ON Delay) :** est un bloc d'activation du délai (activation du décomptage) de l'autorisation de marche locale du moteur de la pompe.

III-7)- Schéma électrique du principe de commande de M/A locale et à distance du moteur de la pompe P-0-01C :

Le disjoncteur du moteur de la pompe P-01-01C est de type SIEMENS (Annexe XV), le bornier de sa cellule comporte principalement :

- Deux bornes d'alimentation électrique (**110V (--)** et **220V (~)**) des appareils à lier à ce disjoncteur tels que l'ampèremètre et les modules CHARM (ou les relais CHARM) des cartes des Entrées/Sorties (figure 27) du système de commande DELTA V ;
- La borne 214 : est une borne d'enclenchement du disjoncteur (Marche du moteur) ;
- La borne 219 : est une borne de déclenchement du disjoncteur (Arrêt du moteur) ;
- Etc.

La figure suivante présente un schéma de principe de commande de Marche/Arrêt-Local/à Distance du moteur de la pompe P-01-01C :

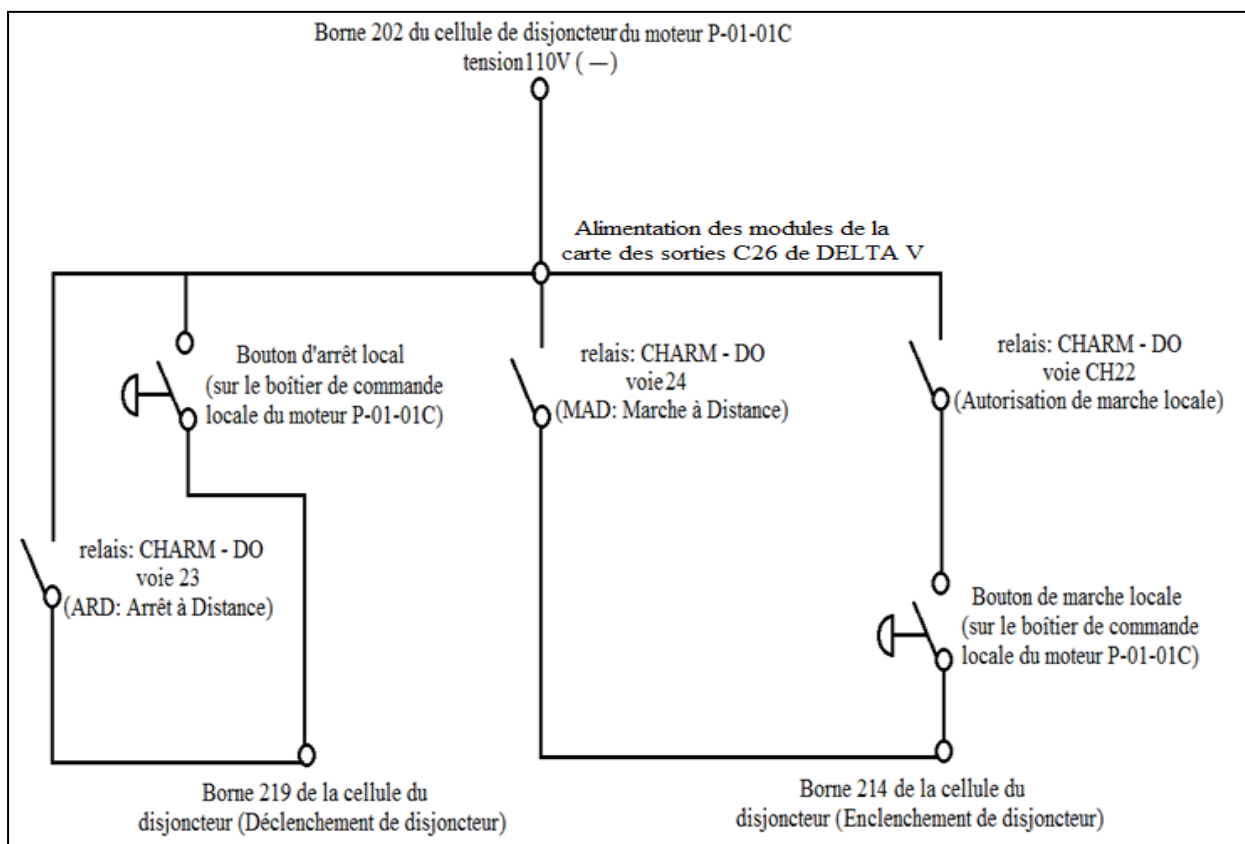


Figure 26 : Schéma du principe de commande de Marche/Arrêt locale et à distance du moteur de la pompe P-01-01C.

Les conditions d'arrêt du moteur P-01-01C (les Interlocks : Défaut électrique et I-21 de niveau très bas de la bache alimentaires) sont incluses dans le module (diagramme à fonctions) de commande du moteur P-01-01C (figure 25);

La figure suivante définit les éléments essentiels du système de commande DELTA V tels que les relais CHARM (ou modules CHARM) et les cartes des entrées et des sorties :

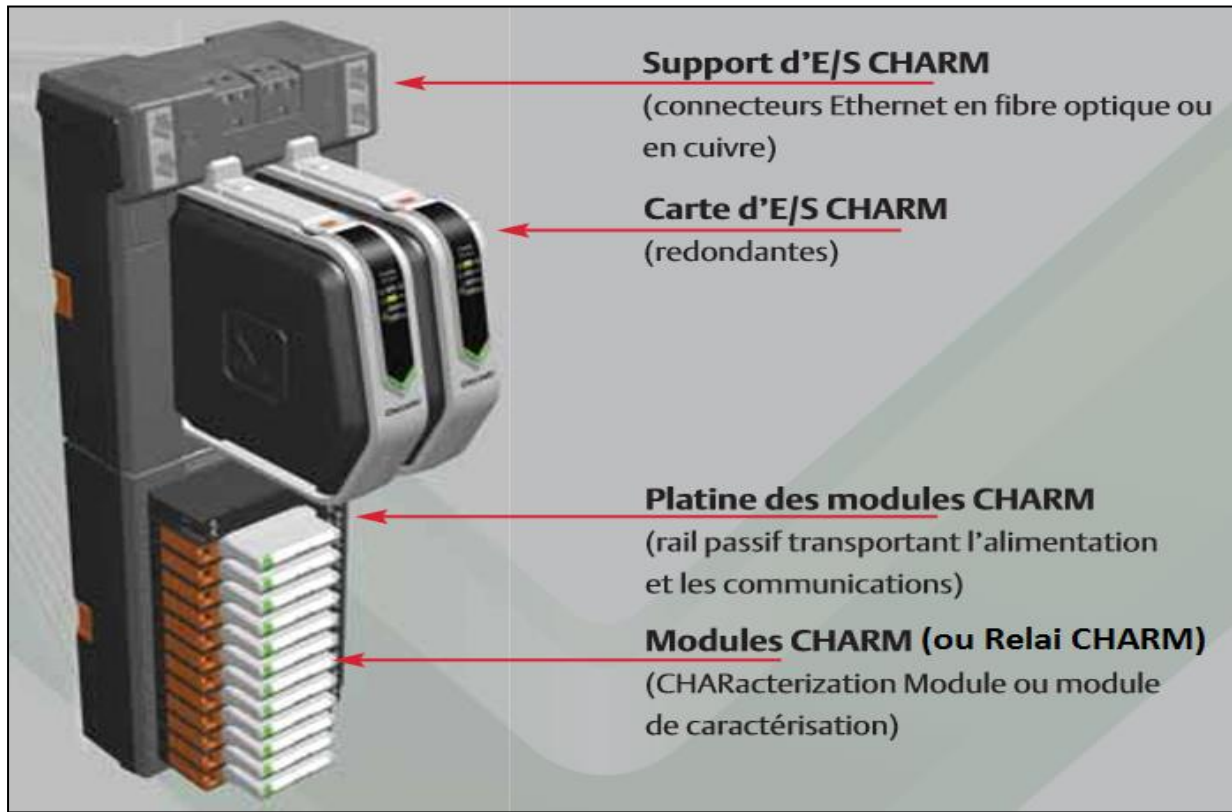


Figure 27 : Eléments essentiels du système de commande DELTA V.

Chapitre IV :
Plan-schéma de réalisation et chiffrage de projet &
Chiffrage du gain pour MP1

Introduction :

Ce chapitre de mémoire, vise à estimer le budget de projet sur la base du plan-schéma de sa réalisation à Maroc Phosphore I, et chiffrer le gain pour l'usine en cas d'empêchement d'arrêt de la ligne H grâce au nouveau groupe électropompe P-01-01C en assurant une production à cadence réduite de la ligne H.

I)- Plan-schéma de réalisation du projet à l'usine :

C'est un schéma de réalisation du projet au sein de Maroc Phosphore 1 (Annexe VI), il est tracé à la main, il rassemble toutes les parties de la solution traitée dans le chapitre précédent, notamment la partie opérative, la partie d'alimentation électrique et la partie commande du nouveau système d'entraînement de la pompe P-01-01C.

Nous n'avons pas dimensionné les câbles de commande (de Basse Tension) du moteur de la pompe P-01-01C, car leurs caractéristiques sont connues à l'usine et semblables à celles des câbles de comande de n'importe quel moteur (de BT ou de MT), nous avons déterminé juste leurs longueurs. Les sections utilisées pour ces câbles sont :

-7*2,5mm²;

-3*2,5mm².

II)- Chiffrage de projet :

En se basant sur les résultats de l'étude et de dimensionnement au niveau des différentes parties du nouveau groupe électropompe P-01-01C de la ligne H, nous avons pu estimer le budget du projet (de la solution) sur la base des anciens prix d'achat du matériel nécessaire. Sur le tableau ci-dessous, les prix d'achat sont extraits de la base de données du Complexe Industriel de Safi du groupe OCP :

Matériel (article)	Description	Unité dimensionnelle	Quantité	Ancien prix d'achat (en DH)
Câble de MT 7,2KV 3*120mm ² de 500m	Câble MT tripolaire à champ non radial, en cuivre avec écran et armure gaine en PVC (Polychlorure de Vinyle), de tension assignée 7,2KV : Nombre de conducteurs*Section= 3*120mm ² : - Prix d'un mètre : 699DH	m	1	349500

Câble de 7*2,5mm ² de 500m	Conducteurs et câbles électriques Câble industriel de tension nominale 1000V. Caractéristiques : - Arme rigide en cuivre isolé au PR (Polyéthylène Réticulé) ; - Avec gaine de bourrage ; - Avec gaine extérieure en PVC ; - Nombre de - Conducteurs*Section : 7*2,5mm ² - Diamètre extérieur : 13,5mm - Prix d'un mètre = 27,58DH	m	10	137900
Câble de 7*2,5mm ² 250m	Câble industriel de tension nominale 1000V. Caractéristiques : - Arme rigide en cuivre isolé au PR (Polyéthylène Réticulé) ; - Avec gaine de bourrage ; - Avec gaine extérieure en PVC (Polychlorure de Vinyle); - Nombre de - Conducteurs*Section : 7*2,5mm ² - Diamètre extérieur : 13,5mm ; - Prix d'un mètre = 27,58DH	m	1	6895
Câble de 3*2,5mm ² 500m	Caractéristiques : - Prix d'un mètre : 20DH	m	6	60000
Ampèremètre	Ampèremètre pour un moteur de moyenne tension – déflagrant	***	1	4000
Boîtier de commande locale	Boîtier de commande locale de Marche/Arrêt d'un moteur de moyenne tension – à matériau déflagrant	***	1	
Accouplement	Accouplement élastique pour le nouveau groupe Electropompe P-01-01C de secours dans la ligne H - Diamètre du moteur : 125mm ; - Diamètre de la pompe : 57mm ; - Couple transmissible : 1909,89 N.m	***	1	50000

Moteur électrique Triphasé asynchrone	Caractéristiques : - Puissance utile : 600KW ; - Tension : Moyenne Tension U=6,3KV ; - N=3000tr/min			319444
Budget estimé du projet :				927739 DH ≈ 0,93MDH

Tableau 9 : Budget nécessaire à la réalisation du projet (de la solution) à l'usine.

III)- Chiffrage du gain pour l'usine en cas d'empêchement d'arrêt de production à la ligne H grâce à ce projet :

La cadence de production de l'acide sulfurique et de la vapeur à la ligne H est une fonction de débit de l'eau fournie aux chaudières de production de la vapeur HP par l'une des pompes alimentaires P-01-01A, P-01-01B (dans le cas normal de production à la ligne H).

La ligne H est un fournisseur de l'acide sulfurique au sein de Maroc Phosphore I pour produire l'acide phosphorique (le produit de l'usine). En cas de marche de production à l'usine et de problème (indisponibilité) au niveau des deux pompes alimentaires P-01-01A et P-01-01B, le nouveau groupe électropompe de P-01-01C de secours peut sauver la situation, en maintenant la continuité de production à une cadence réduite (car le débit de l'eau de cette pompe de secours est inférieur aux débits des pompes 01A et 01B) jusqu'à la réparation de la pompe 01A ou 01B.

Le débit volumique de l'eau alimentaire du nouveau groupe électropompe P-01-01C est de $134\text{m}^3/\text{h}$ (déjà calculé), donc son débit massique est : $Q_{m \text{ eau}} = \rho * Q_v$:

Avec :

- ρ : est la masse volumique de l'eau alimentaire (en T/m^3) ;
- Q_v : est le débit volumique de l'eau alimentaire fourni par la pompe (en m^3/h) ;
- $Q_{m \text{ eau}}$: est le débit massique de l'eau alimentaire fourni par la pompe (en T/h).

Alors : $Q_{m \text{ eau}} = 1 * 134 = 134\text{T/h}$.

Si on néglige les pertes de charge au niveau de la conduite à la sortie de la pompe P-01-01C vers les chaudières de production de la vapeur HP, et par principe de conservation de la masse, le débit massique de l'eau fournie par la pompe P-01-01C est presque égal à celui de la vapeur HP produit par les chaudières HP de la ligne H (voir la figure ci-dessous) :

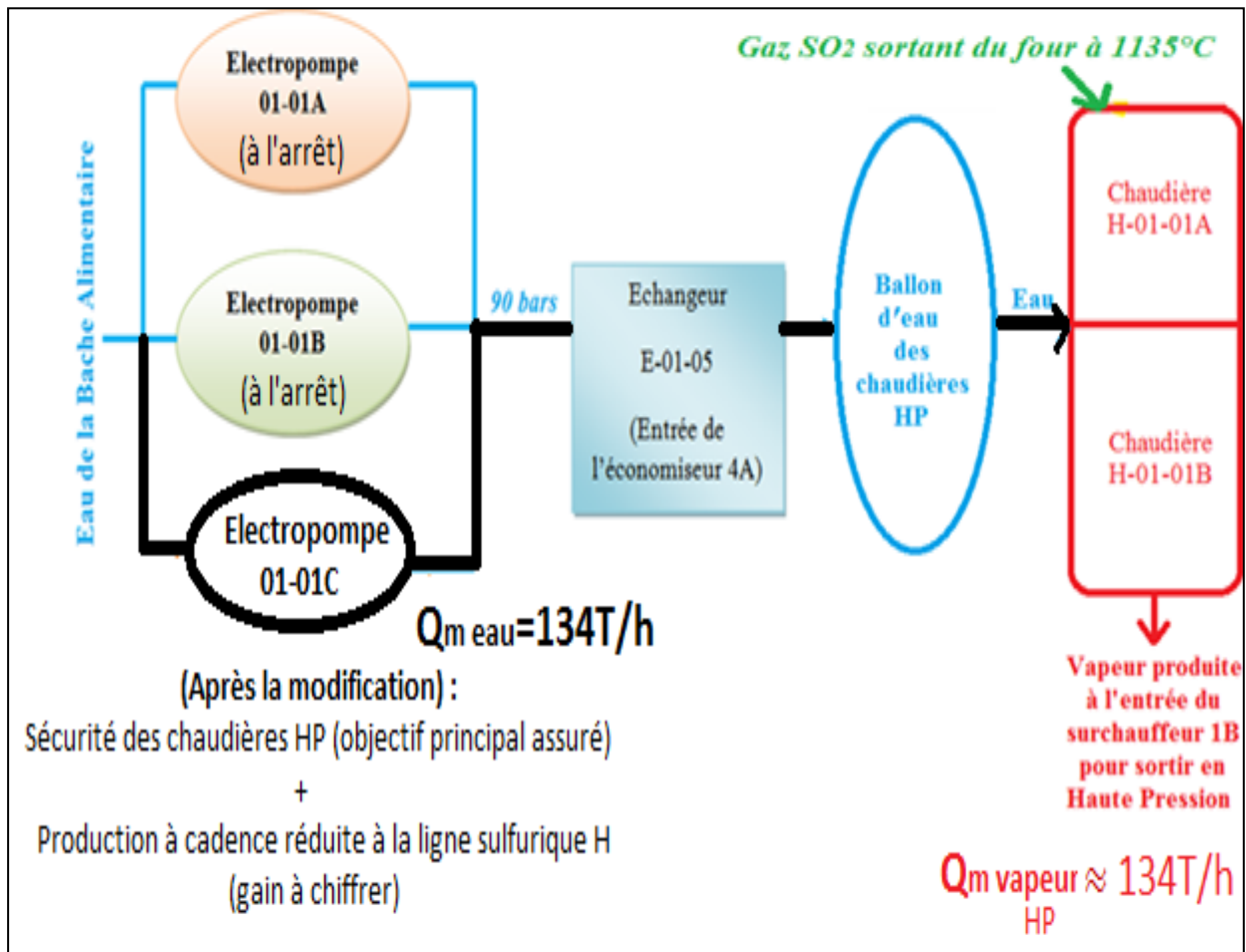


Figure 28 : Cas de production à cadence réduite et empêchement d'arrêt de la ligne H grâce à l'électropompe de secours P-01-01C lorsque les deux autres pompes sont à la réparation.

→ On peut alors écrire : $Q_m \text{ vapeur HP} \approx Q_m \text{ eau} = 134\text{T/h}$.

Le niveau de cadence (réduite) de production assurée par l'électropompe de secours P-01-01C pour empêcher l'arrêt de la ligne H en cas de marche de l'usine et de problème au niveau des deux autres pompes 01A et 01B, peut se déterminer sur la base de débit massique de la vapeur HP (de 134T/h) produit par les chaudières dans ce cas (voir le tableau à la page suivante) :

Cadence	Qv Vapeur HP(T/h)	Qv Vapeur BP(T/h)	Qv d'acide Produit(m3/h)	Qv du soufre (m3/h)	Export de la vapeur	
					HP	BP
30%	52.68	19.74	23.43	7.80	37.94	27.28
35%	61.46	23.03	27.34	9.10	44.26	31.83
40%	70.24	26.32	31.24	10.40	50.58	36.37
45%	79.02	29.61	35.15	11.70	56.90	40.92
50%	87.80	32.90	39.05	13.00	63.23	45.47
55%	96.58	36.19	42.96	14.30	69.55	50.01
60%	105.36	39.48	46.86	15.60	75.87	54.56
65%	114.14	42.77	50.77	16.90	82.19	59.11
70%	122.92	46.06	54.67	18.20	88.52	63.65
75%	131.70	49.35	58.58	19.50	94.84	68.20
80%	140.48	52.64	62.48	20.80	101.16	72.74
85%	149.26	55.93	66.39	22.10	107.48	77.29
90%	158.04	59.22	70.29	23.40	113.81	81.84
95%	166.82	62.51	74.20	24.70	120.13	86.38
100%	175.60	65.80	78.10	26.00	126.45	90.93
105%	184.38	69.09	82.01	27.30	132.77	95.48
110%	193.16	72.38	85.91	28.0	139.10	100.02

Tableau 10 : Niveaux de cadence de la ligne sulfurique H, valeurs données par le constructeur du procédé de la ligne H.

D'après le tableau des niveaux de cadence de la ligne H (à la page précédente), on a :

$$Q_{m \text{ vapeur HP}} = 134\text{T/h} \approx 131,70 \text{ T/h}$$

Alors : Le niveau de cadence de production de la ligne H assuré par la pompe P-01-01C est de 75% de la cadence nominale (niveau 100% de 3410T/jour) d'acide sulfurique.

En tenant compte les fuites et les pertes de charge de l'eau alimentaire en aval de la pompe P-01-01C (pertes estimées égales à 5% de la cadence produite par la ligne H), on peut dire que cette pompe assure **70%** de la cadence nominale de production de l'acide sulfurique à la ligne H, donc :

$$0,70 \cdot 3410 = \mathbf{2387\text{T/jour (d'acide sulfurique produit par la ligne H)}}$$

Sachant que la production d'1T d'acide phosphorique nécessite 3,08T d'acide sulfurique : dans le cas de production avec l'électropompe P-01-01C, on écrit :

$$2387/3,08 = \mathbf{775\text{T/jour (d'acide phosphorique produit dans l'usine)}}$$

- La moyenne des prix de vente de l'acide phosphorique par l'OCP est de : **5901,80 DH/T** (information donnée par le secrétariat de production à la direction de MPI);
- La moyenne des coûts de revient de production de l'acide phosphorique à l'OCP est estimée à : **4646,26DH/T** (information donnée par le secrétariat de production à la direction de MPI).

Sur la base des deux informations (2 derniers tirets) ci-dessus. La marge du gain de l'OCP dans 1Tonne d'acide phosphorique est : $5901,80 - 4646,26 = \mathbf{955,54\text{DH/T}}$.

Alors, le gain d'empêchement d'arrêt de la ligne sulfurique H grâce au nouveau groupe électropompe P-01-01C, c'est la production de 775T/jour d'acide phosphorique à Maroc Phosphore I, c'est ce que je l'ai chiffré par : $775 \cdot 955,54 = \mathbf{0,74 \text{ MDH / jour (perte à gagner)}}$.

Avant le gain lié à l'empêchement d'arrêt de production de la ligne sulfurique H grâce à ce projet, la sécurité et la protection des chaudières de production de la vapeur HP quelle que soit la situation de l'usine : est l'atout et le grand gain pour Maroc Phosphore I et pour le Complexe Industriel de Safi en général.

Conclusion générale :

Le risque de détérioration des tubes à gaz SO₂ des chaudières de production de la vapeur à Haute Pression de la ligne sulfurique H, en cas d'indisponibilité des deux électropompes P-01-01A et P-01-01B est un problème pour Maroc Phosphore I depuis 2009.

Le long de ce projet, parmi les difficultés que nous avons affronté, il y a le problème de communication, d'échange des documents et des données entre les services de l'usine ainsi qu'entre les trois divisions du CIS.

Pour traiter ce projet, nous avons commencé par l'identification et la caractérisation du problème, afin d'analyser par la suite ses causes principales liées à l'entraînement de la pompe de secours P-01-01C par une turbine à vapeur. Ensuite, nous avons décrit la solution et développé les différentes parties (partie opérative, partie installation électrique de puissance et partie commande) du nouveau groupe électropompe de secours des chaudières HP dans toutes les situations de l'usine. Enfin, nous avons chiffré le gain pour Maroc Phosphore I en cas d'empêchement d'arrêt de la ligne H et estimé le budget du projet.

Après avoir dimensionné le moteur compatible avec la pompe de secours des chaudières HP de la ligne H (moteur de 6300V et 600KW), nous avons établi un bilan de consommation de courant par les charges névralgiques (à secourir par le groupe électrogène GE1 de la centrale) en cas de déclenchement électrique de l'usine, c'est ce qui nous a confirmé que le GE1 est insuffisant pour secourir le réseau de secours de MP1 (y compris la nouvelle charge qui est le nouveau groupe électropompe P-01-01C de secours des chaudières HP).

Par la création de plusieurs scénarios de consommation du courant par le réseau de secours (y compris le moteur de la pompe P-01-01C) de Maroc Phosphore I, et grâce à un tableau de bord à boutons à options crée en Excel, nous avons été renseigné sur la nécessité d'un autre groupe électrogène identique à GE1 pour résoudre le problème du réseau de secours en cas de déclenchement électrique de l'usine.

Par ailleurs, Nous avons dimensionné le câble de puissance du moteur selon la norme NF C13-205, la longueur de ce câble est de 500m et sa section nominale est de 95mm². En respectant la culture de l'usine en section des câbles de Moyenne Tension (de 6300V), la section du câble doit être de 120 mm².

D'après la position du départ moteur sur le réseau électrique de l'usine, nous avons pu modifier le plan schéma électrique triphasé unifilaire du réseau secouru par les deux groupes électrogènes de la centrale en cas de déclenchement électrique de Maroc Phosphore I. Nous avons terminé le projet par l'établissement d'un plan schéma général d'exécution de la solution dans l'usine.

Ensuite, En se basant sur le plan schéma général de réalisation du projet au sein de l'usine, et sur la base des anciens prix d'achat du matériel nécessaire pour ce projet, nous avons pu estimer le budget du projet à 0,93MDH. Plus la garantie de protection des chaudières HP de la ligne H en cas d'indisponibilité des deux électropompes P-01-01A et P-01-01B, le nouveau

groupe électropompe de secours P-01-01C pourra empêcher l'arrêt de cette ligne en assurant une production à 70% de la cadence nominale de la ligne. Ce qui va engendrer un gain de 0,74MDH/jour pour Maroc Phosphore I.

L'objectif principal de mon projet de fin d'études est atteint, et ma procédure de résolution du problème est satisfaisante. Du côté des limitations du sujet, je peux dire qu'une remise à l'état initial du réseau secouru à Maroc Phosphore I est prioritaire à la réalisation de cette importante solution d'amélioration. En effet, d'après l'étude de ce réseau, la centrale doit avoir un autre groupe électrogène identique au GE1 (de 6300V et 2,5MVA), et la réparation du groupe GE2 défaillant ou l'achat d'un autre groupe électrogène est indispensable pour l'usine.

Bibliographie :

- [1] : Manuel opératoire (interne) du procédé de production de la ligne H ;
- [2] : Dossier machine (interne) de la turbopompe de la gamme Goulds Pumps (P-01-01C) ;
- [3] : Mémotech plus électrotechnique/ Auteurs : R. Bourgeois et D. Cogniel/ Edition : CASTELLA / Collection : Mémotech plus/ Août 2007 ;
- [4] : Cours académique de la matière des actionneurs et pré-actionneurs hydrauliques de la 2^{ème} année de la filière d'ingénieur « Ingénierie en Mécatronique » de la FST de Fès ;
- [5] : Guide pratique de la norme NF C13-205 des installations électriques à haute tension/ Union Technique de l'Electricité (UTE)/ Juillet 1994/ EUROCOPIE ;
- [6] : Brochure du système d'automatisation DELTA V d'Emerson Process Management/ Formulaire B-000035/ Imprimée aux Etats-Unis/ 40 pages/ www.EmersonProcess.com/DeltaV.