

---

## Remerciements

---

*Nous tenons à remercier le Directeur Général de la Centrale Thermique de Jerada, **M.Nour Eddine FETIANE**, qui a accepté de nous accueillir au sein de son organisme et **M. Hassan EL MAATI** qui nous a consacré de son temps pour le suivi et l'encadrement du projet.*

*Nos sincères remerciements s'adressent à notre tuteur, **M. Abdelhak MKHIDA** pour ses directives et ses conseils durant notre période de stage ainsi que pour l'intérêt particulier qu'il a prodigué à notre projet. Nous le remercions également pour la confiance qu'il nous a accordée et sans laquelle ce projet n'aurait pas été tel qu'il le fût.*

*Nous adressons également nos remerciements les plus vifs à **M.Mohamed AMAJOUT** d'avoir eu la bienveillance de nous accorder de son temps et de l'aide précieuse qu'il nous a apportée.*

*Nos vifs remerciements vont également à **M. Mohamed BOUIDIDA**, Directeur de l'**ENSAM** Meknès, **M. Youssef BENGHABRIT**, Directeur Adjoint, ainsi que tout le corps administratif de l'école en témoignage de notre reconnaissance.*

*Nous remercions sincèrement tous les enseignants de l'**Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers de Meknès (ENSAM)** qui ont veillé à notre formation et orientation.*

*Et finalement, nous adressons notre gratitude à toute personne qui a contribué de loin ou de près à la réalisation de ce travail.*

---

## *Dédicaces*

---

*A* l'être le plus cher au monde, pour sa tendresse, son amitié, et son soutien inconditionnel, sans toi chère mère, je n'aurai pas pu devenir ce que je suis aujourd'hui.

*A* toi mon cher père, pour tes sacrifices, et pour qui j'adresse à Dieu les vœux les plus ardents pour la conservation de ta santé et de ta vie.

*A* mes adorables sœurs Zineb et Asmaa, à qui j'espère tout le bonheur et la réussite avec leurs maris.

*A* mes frères, j'espère pour vous une vie pleine de succès.

*A* mes grands-parents vivants Mr ALI et Mme Zahra et à la mémoire de Mme Yamna et Mr Mohammed.

*A* toi Amine. Tous les mots ne sauront jamais t'exprimer ce que je ressens envers toi, mais saches quand même que tu es simplement : mon meilleur ami.

*A* toi mon binôme, pour le frère que tu étais pour moi.

*Je dédie ce travail*



Mr STAOUT Abderrahmane

---

## *œ Dédicaces œ*

---

*Je* dédie ce travail à mes parents qui m'ont toujours tendu la main, quand j'en avais vraiment besoin.

*A* tous mes amis qui ont su me reconforter, quand les choses tournaient au pire.

*A* tous ceux qui ont croisé mon chemin, et qui ne m'ont apporté que du bien.

*A* toutes les personnes qui ont veillé à ce que ce travail soit à la hauteur, et corresponde à l'aboutissement d'un projet d'ingénieur.

*A* l'ensemble du corps administratif et professoral Arts et Métiers, qui a su être présent pendant ces cinq années et pour qui je dois tout le mérite, de nous avoir guidés vers le chemin de la réussite.

*A* toi mon binôme, pour le frère que tu étais pour moi.

*Je dédie ce travail*



Mr HASSANI Soulimane

---

## *Résumé*

---

Les pompes alimentaires de la **CTJ** sont classées critiques dans la ligne de production de l'électricité et leurs arrêts fréquents contribuent constamment à la flambée des factures de la maintenance que doit assumer la compagnie, d'où l'intérêt de conduire une étude de fiabilisation de ces pompes. Une étude qui aura pour vocation d'instaurer une politique de maintenance préventive basée essentiellement sur le retour d'expérience du personnel de la CTJ en la matière de leurs connaissances des pompes , notamment quant à la prise en compte des signes précurseurs des pannes.

Pour inscrire ce projet dans cette vision, l'ensemble des chapitres de ce rapport sont scindés en trois principaux volets :

Un premier volet dans lequel nous avons utilisé quelques outils d'analyse de l'existant aux équipements concernés pour présenter une formulation claire du besoin de conduire une étude de fiabilisation. Une étude AMDEC a été également explicitée afin de répertorier les modes de défaillance qu'on a pu associer aux pompes alimentaires, ainsi qu'une évaluation de la criticité de ces défaillances.

Un deuxième volet où l'on a justifié le besoin d'adopter deux principales solutions à savoir : l'élaboration d'un plan de maintenance préventive d'une part, et l'automatisation du système d'autre part. A travers ce volet, on a pu spécifier une périodicité de maintenance tout en se basant sur la loi de fiabilité de l'équipement.

Un troisième volet qui a porté sur l'automatisation qui a été introduite par une analyse fonctionnelle pour extraire les fonctions de service et proposer des solutions adéquates quant aux composants de l'armoire. La programmation de l'automate a été faite moyennant STEP7. Une interface de supervision sur WINCC a été de même prévue pour permettre de suivre l'évolution des paramètres de la pompe dans le but de permettre des interventions sur les pompes avant que la situation soit critique.

**Mots clés :** Fiabilité, maintenance préventive, AMDEC, automatisation des pompes.

---

## *Abstract*

---

Feed Pumps of the **CTJ** are classified critical along the line of electricity production. Their frequent and unpredictable failure increases constantly to the spending related to maintenance assumed by the company, which justified the need to conduct this study. This latter will have the role to improve feed pumps reliability and establish a preventive maintenance policy essentially based on previous experience.

To register the report in this perspective, all chapters are divided into three main components:

The first one in which we demonstrate the interest to conduct a project about improving feed pump's reliability, by analyzing them and developing an AMDEC study , in order to enumerate the major causes of pump failure and evaluate their weight ;

The second one in which we justified the need to adopt two main solutions : establishing a preventive maintenance policy to ensure service continuity and feed pump automation and monitoring aiming to track easily the equipment parameters so to enable faster interventions to avoid critical situation ;

The third one in which we treated the automation which was introduced with a function analysis in order to extract all service functions and propose convenient solutions for components. Programming the automat was established with STEP7.

**Key words:** Reliability, preventive maintenance, AMDEC, automation.

تعتبر مضخات توليد الكهرباء من أهم معدات خط إنتاج الطاقة الكهربائية في مركز توليد الطاقة الحرارية بجرادة، ويسبب توقف هذه المعدات في ارتفاع فاتورة الصيانة. يأتي هذا المشروع الدراسي في نفس السياق لتحسين موثوقية هذه المضخات و وضع سياسة صيانة وقائية لضمان استمرارية الخدمة.

يعرض هذا التقرير سياق وتفاصيل المشروع في ثلاث محاور:

- تحليل تفصيلي للمشروع لتبيين ضرورة الاهتمام بموثوقية المضخات بالإضافة الى ادراج دراسة

" AMDEC " لجرد مختلف أسباب توقف المضخات ومدى أهميتها.

- تبرير ضرورة تبني حلين أساسيين يتجلبان في وضع سياسة صيانة وقائية وتشغيل آلي تلقائي. بالإضافة إلى ذلك، تم تحديد برنامج زمني من أجل الصيانة.

- تناول تفصيلي لحل البرمجة الآلية التلقائية وضرورة هذه الأخيرة لتسهيل رصد متغيرات هذه المعدات للسماح بالتدخل للصيانة قبل أن تبلغ المشكلة مرحلة حرجة.

كلمات البحث : الموثوقية، الصيانة الوقائية، "أمديك" ، التشغيل الآلي.

---

## Abréviations et Acronymes

---

- **CTJ** Centrale Thermique de Jerada
- **ONE** Office Nationale d'Electricité
- **AMDEC** Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets, et de leur Criticités
- **RBD** Reliability Bloc Diagramm
- **FAST** Function Analysis System Technic
- **3D** Trois dimensions
- **μP** Microprocesseur
- **μC** Microcontrôleur
- **API** Automate Industriel Programmable
- **CPU** Central Processing Unit
- **E /S** Entrées/Sorties
- **TOR** Tout Ou Rien
- **GRAFCET** Graphe Fonctionnel de Commande Etapes-Transitions
- **CONT** Contact
- **LOG** Logigramme
- **LIST** Listogramme
- **VT** Ventilateur de Tirage
- **VS** Ventilateur de Soufflage
- **WSM** Weight Sum Method
- **CP** Charbon pulvérisé
- **MTBF** Mean time between failures
- **MTTR** Mean time to Repair

---

# TABLES DES MATIERES

---

Remerciements .....	i
Dédicaces .....	ii
Dédicaces .....	iii
Résumé .....	i
Abstract .....	ii
ملخص .....	iii
Abréviations et acronymes .....	iv
Table des des figures .....	ix
Liste des tableaux .....	x
Introduction .....	1
<b>Chapitre I</b> : Contexte général du projet.....	3
I. Présentation de l'organisme d'accueil .....	4
I.1. Présentation de la Centrale Thermique de Jerada CTJ .....	5
I.1.1. Historique sur la CTJ .....	5
I.1.2. La participation de la CTJ dans la production nationale .....	6
I.1.3. Organigramme de la CTJ .....	6
I.1.4. Processus de production de l'énergie électrique .....	7
I.2. Les étapes de production de l'énergie électrique au sein de la CTJ .....	8
I.2.1. Manutention du charbon .....	8
I.2.2. Chaîne de broyage .....	9
I.2.3. Adduction d'eau .....	9
I.2.4. Chaudière .....	10
I.2.5. La Turbine .....	11
I.2.6. Le condenseur .....	12
I.2.7. Les réfrigérants à tirage forcé .....	12
I.2.8. L'alternateur .....	13
I.2.9. L'excitatrice .....	13
I.2.10. Le transformateur .....	13
II. Présentation du système . La pompe alimentaire. ....	14
II.1. Rôle et caractéristiques de la pompe alimentaire .....	14
II.2. Les caractéristiques techniques de la pompe alimentaire. ....	15
II.3. Les consignes d'exploitation de la pompe alimentaire .....	15
Conclusion .....	16
<b>Chapitre 2</b> : Diagnostic de l'existant & Etude méthodologique de la solution.....	17

I. Diagnostic de l'existant .....	18
I.1. Intérêt du projet .....	18
I.2. La méthode QQQQCP .....	19
I.2.1. Définition .....	19
I.2.2. Caractéristique de la méthode .....	20
I.2.3. La méthode QQQQCP appliquée à l'étude de fiabilisation des pompes alimentaires .....	20
I.3. Analyse des causes (ISHIKAWA) .....	22
I.3.1. Définition de la méthode .....	22
I.3.2. Ishikawa appliquée aux pompes alimentaires .....	23
II. Etude méthodologique de la solution .....	24
II.1. Etude AMDEC .....	24
II.1.1. Définition .....	24
II.1.2. Démarche pratique de l'AMDEC machine .....	24
II.2. Application sur les pompes alimentaires .....	29
II.3. Deuxième étape : Analyse fonctionnelle .....	30
II.4. Décomposition fonctionnelle .....	33
II.5. Identification des fonctions .....	34
II.6. Troisième étape : Analyse AMDEC .....	35
III. Principales lois de probabilité utilisées en fiabilité .....	36
III.1. La loi exponentielle .....	36
III.2. La loi normale (Laplace-Gauss) .....	36
III.3. La loi de Weibull .....	36
III.4. La loi uniforme .....	37
III.5. La loi du Khi-deux .....	37
IV. Le choix de la loi la plus adaptée à notre situation .....	37
IV.1. Valeurs des Paramètres Weibull .....	39
IV.2. Bloc Diagramme de fiabilité .....	40
IV.3. Diagramme de fiabilité pour la pompe alimentaire .....	40
IV.3.1. Modélisation de la pompe alimentaire (composants responsables) .....	41
IV.4. Calcul et résultats .....	42
Conclusion.....	44
<b>Chapitre 3:</b> Politique de maintenance & Etude et conception de l'armoire de commande	45
I. Elaboration d'une politique de maintenance préventive .....	46
II.2. Quelques concepts de la maintenance .....	46
II.2.1. Les défaillances d'un système .....	46
II.2.2. Définition de la maintenance .....	47

II.2.3. Maintenance corrective . . . . .	48
II.2.4. Maintenance préventive . . . . .	48
II.2.5. Maintenabilité . . . . .	50
II.2.6. Fiabilité . . . . .	50
II.2.7. MTBF . . . . .	50
II.2.8. Disponibilité . . . . .	50
II.3. Check-list de maintenance . . . . .	52
II.4. Fiche de vie . . . . .	54
II.5. Planification de la maintenance . . . . .	54
Conclusion . . . . .	55
III. Etude de l'armoire de commande . . . . .	55
III.1. Description de l'armoire de commande . . . . .	55
III.2. Analyse fonctionnelle . . . . .	56
III.2.1. Mise en évidence du but . . . . .	57
III.2.2. Définition des milieux extérieurs . . . . .	57
III.2.3. Analyse du besoin . . . . .	58
III.2.4. Diagramme FAST . . . . .	60
III.3. Proposition et choix des solutions . . . . .	61
III.4. Dimensionnement et choix des composants . . . . .	61
III.4.1. Choix du système d'affichage des défauts . . . . .	61
III.4.2. Choix de l'unité de traitement . . . . .	63
III.4.3. Analyse multicritères . . . . .	64
III.5. Choix du type d'automate . . . . .	67
III.5.1. Aperçu sur la solution . . . . .	71
III.5.2. Conception 3D de la solution . . . . .	72
Conclusion . . . . .	73
<b>Chapitre 4 : Automatisation et Interface de supervision.</b> . . . . .	<b>74</b>
I. Expression du Cahier des charges . . . . .	75
I.1. GRAFCET niveau 1 . . . . .	75
I.2. Grafcet niveau 2 . . . . .	75
I.3. Cahier des charges . . . . .	75
I.3.1. Verrouillage automatique . . . . .	77
I.4. Programmation de l'automate . . . . .	78
I.5. Logiciel de programmation STEP 7 . . . . .	78
I.5.1. Tâches fondamentales . . . . .	78
I.5.2. Gestionnaire de projets SIMATIC . . . . .	80
I.5.3. Diagnostic et configuration du matériel . . . . .	80

I.5.4. Langages de programmation .....	81
I.5.5. Le programme .....	82
II. Conception de l'interface de supervision .....	82
II.1. Logiciel de supervision .....	83
II.2. Interface de supervision .....	85
III. Etude de rentabilité .....	91
III.1. Disponibilité des pompes .....	91
III.1.1. Taux de disponibilité .....	91
III.1.2. Manque à gagner en DH .....	91
III.1.3. Budget d'investissement .....	92
Conclusion .....	93
Conclusion et Perspectives .....	94
Bibliographie & Webographie .....	1
Annexes .....	2

---

## TABLES DES FIGURES

---

Figure 1: Organigramme de la CTJ.....	6
Figure 2: Etapes de production de l'énergie électrique dans une centrale thermique.....	7
Figure 3: Etapes de production de l'énergie électrique au sein de la CTJ .....	8
Figure 4: Photo d'une pompe alimentaire de la CTJ .....	14
Figure 5: Schéma synoptique du positionnement de la pompe .....	15
Figure 6: Taux des indisponibilités des pompes alimentaires.....	19
Figure 7: Analyse des causes de l'indisponibilité par le diagramme Ishikawa.....	23
Figure 8: Démarche de décomposition d'une machine.....	26
Figure 9: Bête à cornes du système .....	30
Figure 10: Diagramme pieuvre du système.....	31
Figure 11: Courbe en baignoire .....	38
Figure 12: Courbe du taux de défaillance en mécanique .....	38
Figure 13: Modélisation de la partie: Boite de presse étoupe .....	41
Figure 14: Modélisation de la partie: Corps de la pompe .....	41
Figure 15: Modélisation de la partie: palier à coussinet.....	41
Figure 16: Modélisation de la pompe alimentaire.....	42
Figure 17: Courbes de la fiabilité de la pompe alimentaire et de ses Composants .....	43
Figure 18: Contenu de la fonction maintenance.....	47
Figure 19: Les différents types de maintenance .....	47
Figure 20: Evolution du coût de la maintenance en fonction du % du préventif.....	48
Figure 21: Choix de la maintenance.....	49
Figure 22: Expression du besoin d'automatiser les pompes .....	57
Figure 23: Diagramme de Pieuvre relatif à l'automatisation des pompes .....	57
Figure 24: Digramme FAST .....	60
Figure 25: Architecture des solutions possibles .....	61
Figure 26: Fonctionnement des pré-actionneurs .....	64
Figure 27: CPU 314 C-2DP .....	69
Figure 28: CPU 314C de la marque Siemens.....	69
Figure 29: Dimensions de l'armoire de commande .....	71
Figure 30: Caractéristique armoire de commande .....	71
Figure 31: Vue en 3D de l'armoire de commande .....	72
Figure 32: La porte de l'armoire de commande .....	73
Figure 33: Circuit de graissage de la pompe .....	76
Figure 34: Grafcet de fonctionnement des pompes.....	77
Figure 35: Les différents composants pour la commande d'une machine.....	78
Figure 36: Tâches fondamentales pour la mise en place d'une solution d'automatisation avec STEP7.....	79
Figure 37: Logiciel STEP7.....	80
Figure 38: Configuration matérielle du projet.....	81
Figure 39: Schéma à contacts de démarrage de la pompe.....	82
Figure 40: Instructions de démarrage du moteur .....	82
Figure 41: Logigramme de démarrage du moteur.....	82
Figure 42: Ecran général du logiciel WINCC .....	83
Figure 43: Etablissement de liaison avec Wincc.....	84
Figure 44: Ecran de supervision de l'installation.....	85

---

## LISTE DES TABLEAUX

---

Tableau 1: Participation de la CTJ dans la production nationale .....	6
Tableau 2: Consignes d'exploitation d'une pompe alimentaire .....	16
Tableau 3: Pourcentage des indisponibilités des installations de la CTJ et le coût des pertes. ....	18
Tableau 4: Analyse par la méthode QQQQCP .....	21
Tableau 5: Niveaux de criticité et leurs définitions .....	27
Tableau 6: Niveaux de gravité et leurs définitions .....	27
Tableau 7: Niveaux de fréquence et leurs définitions .....	28
Tableau 8: Niveaux de probabilité de non détection et leurs définitions .....	28
Tableau 9: Tableau explicatif des interactions entre les milieux extérieurs du système .....	32
Tableau 10: Fonctions des éléments constituant la pompe alimentaire et la quantité installée .....	35
Tableau 11: Paramètres Weibull pour les différentes composantes du système .....	40
Tableau 12 : Check-list de la pompe .....	53
Tableau 13: Check-list du moteur .....	53
Tableau 14: Fiche de vie de la pompe alimentaire .....	54
Tableau 16: Appréciation des fonctions de service de l'automatisation du système .....	58
Tableau 17: Avantages et inconvénients de chaque élément de la solution .....	62
Tableau 18: Liste des entrées .....	63
Tableau 19: Liste des actionneurs .....	64
Tableau 20: Poids relatifs à chaque critère de l'analyse multicritères .....	66
Tableau 21: Evaluation des critères par rapport à chaque solution .....	66
Tableau 22: Tableau des scores pour les solutions .....	67
Tableau 23: Références des éléments d'API choisie .....	69
Tableau 24: Résultats de l'étude économique .....	93

# Introduction générale

---

Les contraintes de sûreté de fonctionnement obligent les responsables de la maintenance de la **Centrale Thermique de Jerada** d'être en perpétuel besoin de se soucier de la fiabilité des équipements industriels. L'expert maintenance aussi bien que l'utilisateur d'un équipement sont tributaires de la fiabilité de celui-ci, raison pour laquelle non seulement faut-il assurer la disponibilité des équipements, mais une réflexion sur l'optimisation des coûts assurant une meilleure disponibilité doit être de même envisagée. C'est dans ce cadre que s'inscrit notre Projet de Fin d'Etudes à la **CTJ** où on nous a confié « **L'ETUDE DE FIABILISATION DES POMPES ALIMENTAIRES** », des équipements qui sont bel et bien dotés d'une criticité vitale dans le circuit de l'usine. Nous étions donc en mesure de nous appuyer sur le retour d'expérience du personnel pour évaluer la fiabilité de ces pompes dans l'ultime but de converger vers une politique de prévention efficace pour pouvoir ainsi diminuer les exigences de la maintenance corrective. Notre mission sera donc de définir :

- Ce qu'est un fonctionnement correct d'une pompe alimentaire ;
- La variable temps adoptée, c'est-à-dire l'unité d'usage la plus significative (heures, nombre de cycles ...).

Notre objectif étant de mener une réflexion sur le programme de maintenance le plus adapté aux pompes alimentaires et qui sera gage d'améliorer leur disponibilité, se demander s'il l'on peut optimiser les coûts de maintenance à savoir le coût de défaillance, et le coût de stock des pièces de rechange, ainsi que d'évaluer le risque d'incidence ou d'accident encouru en exploitant cet équipement.

Notre rapport comporte quatre chapitres :

## **CHAPITRE I :**

Le premier chapitre présente l'organisme d'accueil, qui est la Centrale Thermique de Jerada, et décrit le processus de production de l'électricité ainsi que le système à étudier : les pompes alimentaires.

## ***CHAPITRE II :***

Afin de justifier le besoin de conduire cette étude et développer une formulation claire des finalités souhaitées, ce chapitre comporte un diagnostic de l'existant à travers lequel ont été imbriqués quelques outils d'analyse au système étudié. Une étude AMDEC a été également explicitée dans le but de répertorier les principaux modes de défaillance des pompes ainsi que leurs criticités.

## ***CHAPITRE III :***

L'objectif de ce chapitre est d'élaborer une politique de maintenance préventive pour les pompes alimentaires en se basant sur les résultats du chapitre précédent. Il sera ensuite question de présenter une étude de conception de l'armoire de commande, désigner les différents composants de l'armoire et d'exposer un aperçu général de la solution adoptée.

## ***CHAPITRE IV :***

Ce chapitre clôt le rapport et explicite la solution d'automatisation à travers l'établissement des Graficets niveau un de l'automatisme des pompes alimentaires ainsi que la programmation de l'automate en langage LADDER. Une interface de supervision des pompes alimentaires a été également prévue.

## Chapitre 1

### Contexte général du projet

#### Introduction



*Le présent chapitre est constitué de deux principales parties, une première qu'on a consacré à la présentation de l'organisme d'accueil, lieu de déroulement de notre projet de fin d'études : La **Centrale Thermique de Jerada (CTJ)** , où il sera question d'exposer le processus de production de l'électricité, principale activité de la centrale et une deuxième partie où l'on a défini le système étudié : les pompes alimentaires.*

### *I. Présentation de l'organisme d'accueil :*

L'Office National de l'Electricité (ONE) créé par le Dahir en août 1963, est une entreprise publique à caractère industriel et commercial, dotée de la personnalité civile et de l'autonomie financière et placée sous la tutelle administrative et technique du ministère de l'énergie et des mines. L'Office a été investi depuis sa création de l'exclusivité de la production et du transport. Il assure également la distribution de l'énergie électrique dans plusieurs provinces du royaume en milieu rural.

Les droits et obligations de l'ONE sont définis dans un cahier de charges, qui a été approuvé par décret en 1974, et qui définit les conditions techniques, administratives et financières relatives à l'exploitation des ouvrages de production, transport et distribution de l'électricité. Ainsi, la production et le transport de l'énergie électrique sur le territoire national sont assurés, depuis 1963, par l'ONE.

En tant que producteur, l'ONE a la responsabilité de fournir sur tout le territoire national et à tout instant une énergie électrique de qualité et dans les meilleures conditions économiques.

L'ONE assure cette fourniture par l'exploitation directe d'unités de production ainsi que par les ouvrages qu'il a confiés à des opérateurs privés. Au delà de la gestion technique et de l'amélioration des ouvrages de son parc de production, l'ONE développe de nouveaux moyens de production et de nouvelles technologies en conciliant performance économique, expertise technique et préservation de l'environnement.

Les ouvrages de production dont dispose l'ONE, au début de septembre 2000, sont constitués de 24 usines hydrauliques totalisant une puissance installée de 1175 MW et de 5 centrales thermiques vapeur totalisant 2505 MW, 7 centrales à turbines à gaz et plusieurs centrales diesel totalisant 786 MW et un parc éolien de 50 MW, soit une puissance installée globale de 4516 MW [1].

### *1.1. Présentation de la Centrale Thermique de Jerada CTJ:*

La Centrale Thermique de Jerada (CTJ) est située dans la région orientale du Maroc à 60 km environ au sud-est de la ville d'Oujda. Le positionnement de la CTJ à cet endroit a été choisi pour plusieurs raisons, à savoir, en premier lieu sa proximité des gisements de l'antracite de Jerada, ainsi la CTJ sera approvisionnée en combustible directement par la mine des CMD (Charbonnage du Maroc). Ce choix a été également justifié par la proximité des nappes phréatiques d'Ain Beni-Mathar. La CTJ comprend trois tranches dont la puissance nominale de chacune est de 55 MW. Chaque tranche est constituée d'un ensemble de chaudière, turbine, turbo alternateur et un transformateur (1).

#### *1.1.1. Historique sur la CTJ :*

La CTJ a été construite par la société soviétique EMERGOMASHEXPOR à la cour de la période allant de 1968 jusqu'au 1972. Depuis sa mise en marche en 1971, la CTJ alimente le réseau national en électricité. Elle joue un rôle primordial non seulement par son apport en puissance, mais aussi par la correction et la stabilisation de la tension au niveau de la région orientale. Sa production présentait jusqu'à 30% de la production nationale dans les années 70, mais actuellement elle atteint seulement 6% (1).

A partir de 1971 et jusqu'à 1998, la CTJ a utilisé le charbon de la mine de Jerada, ce qui a permis à la centrale de jouer un rôle socio-économique très important. Ainsi elle a mis en valeur le charbon de qualité médiocre produit par cette mine. Elle a permis aussi, en raison de sa forte consommation de charbon, de créer environ 7000 postes d'emplois dans la mine et 400 poste dans la CTJ ; ce qui constitue une source pour la promotion de travail et un facteur de développement dans la région.

A partir de 1999, suite à la baisse de production de charbon de la mine, la CTJ a utilisé un mélange de charbon vapeur et de Petcoke. Malgré la non utilisation du charbon local, le rôle socio-économique de la CTJ reste toujours présent grâce aux emplois qu'elle offre directement ou indirectement par l'intermédiaire des entreprises prestataires locales auxquelles elle fait appel pour la maintenance des installations et pour le transport du combustible importé du port de Nador [1].

I.1.2. La participation de la CTJ dans la production nationale :

La période	Participation en %
1971-1981	Entre 22% et 38%
1982-1994	Entre 11% et 19%
1995-2003	Entre 3% et 8%
2004-2012	Entre 3% et 8%

Tableau 1: Participation de la CTJ dans la production nationale [1]

I.1.3. Organigramme de la CTJ :



Figure 1: Organigramme de la CTJ [1]

### I.1.4. Processus de production de l'énergie électrique :

La production de l'énergie électrique dans une centrale thermique passe par une succession d'étapes de transformation d'énergie, allant de l'énergie chimique, calorifique, mécanique et puis électrique.

En effet, grâce à la réaction exothermique du combustible, au sein de la chaudière, l'énergie chimique se transforme en énergie calorifique ; cette dernière est récupérée par l'eau pour se transformer en vapeur. Ayant atteint une température de 540°C (cas CTJ) environ et une pression de 90bar, la vapeur est utilisée pour faire tourner la turbine à 3000tr/min ; ce qui engendre une énergie mécanique donnant un mouvement de rotation pour l'alternateur. Ainsi l'alternateur convertit cette énergie mécanique en énergie électrique [1].

La figure suivante résume ces étapes de transformation d'énergie :

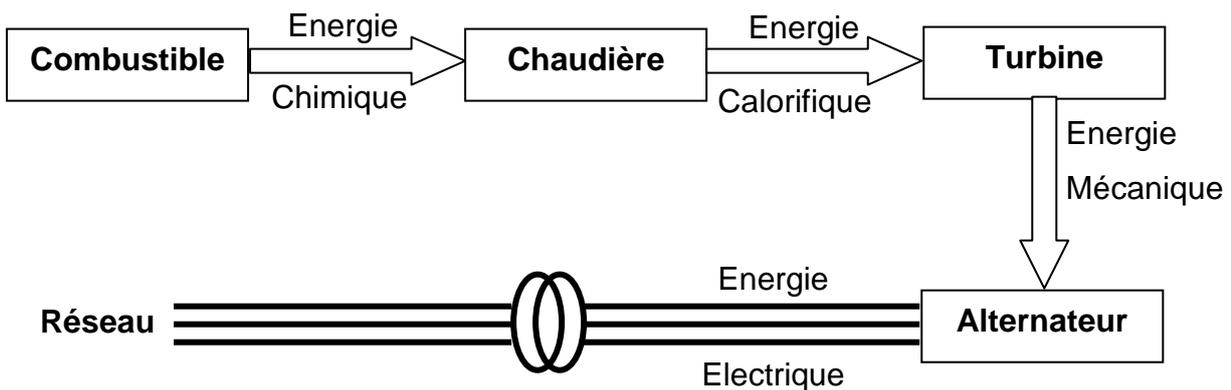


Figure 2: Etapes de production de l'énergie électrique dans une centrale thermique

### I.2. Les étapes de production de l'énergie électrique au sein de la CTJ :

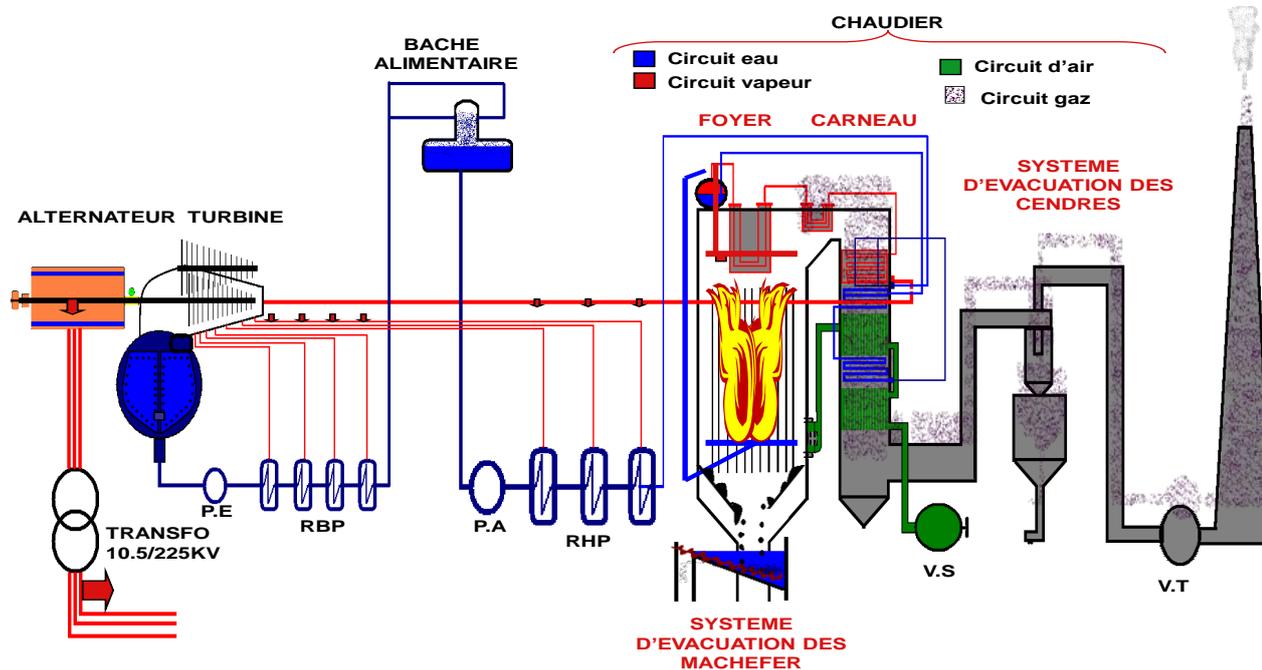


Figure 3: Etapes de production de l'énergie électrique au sein de la CTJ [2]

#### I.2.1. Manutention du charbon :

La centrale thermique de Jerada produit de l'électricité en utilisant le charbon. Le système de manutention du charbon permet de véhiculer le charbon à partir de deux parcs à charbon (Espace de stockage de charbon) vers les trémies à charbon brut.

Le système se compose de deux convoyeurs A et B qui sont commandés, soit à partir des armoires individuelles, soit automatiquement d'un tableau central de manutention.

Le poste de réception est utilisé en fonction des besoins de l'usine en charbon, les doseurs de transfert des trémies de réception ont un débit moyen déterminé en fonction du nombre des blocs en service.

- Une tranche en service : 2 doseurs de réglés à 25 t/h chacun.
- Deux tranches en service : 2 doseurs de réglés à 50 t/h chacun.
- Trois tranches en service : 2 doseurs de réglés à 75 t/h chacun.

Le parc à charbon de capacité 2500 tonnes assure la marche de la centrale pendant 10 jours.

### I.2.2. Chaîne de broyage :

Le rôle des chaînes de broyage à la CTJ consiste à transformer le charbon de l'état brut à l'état pulvérisé, tout en éliminant autant que possible son humidité et en assurant une finesse optimale pour une meilleure combustion dans la chaudière.

Chaque chaudière est équipée de deux chaînes de broyage reliées entre elles, chaque chaîne comprend :

- Un broyeur à boulets (18 tr/min, 570 kw) ;
- Un tapis doseur ;
- Un séparateur et circuit de refus ;
- Un cyclone ;
- Un ventilateur broyeur ;
- Des gaines d'air chaud et de mélange Air + Charbon pulvérisé ;
- Une trémie de charbon pulvérisé ;
- Une trémie de charbon brut.

### I.2.3. Adduction d'eau :

Dans les centrales thermiques, l'eau joue un rôle primordial dans les différents processus de production d'énergie. On l'utilise pour produire la vapeur, pour refroidir les installations, et pour évacuer les déchets de combustion...etc. A la CTJ, cette matière vitale est approvisionnée par le biais de trois forages situés à Aïn Beni-Mathar. A partir de ces forages, on alimente deux bassins d'une capacité de 200m<sup>3</sup> chacun situés à mi-chemin dans la station de pompage à Tabouda. Ensuite l'eau est refoulée de cette station vers trois bassins ayant une capacité de 2000 m<sup>3</sup> situés dans le château d'eau.

La consommation en eau à la CTJ atteint environ 5 millions de tonnes par an. Une petite partie est destinée, après clarification et déminéralisation, pour les appoints des chaudières ; mais la grande partie est envoyée dans le circuit de circulation après clarification seulement.

### I.2.4. Chaudière :

La chaudière est le premier transformateur d'énergie qu'on trouve dans une centrale thermique. Elle transforme l'énergie chimique contenue dans le combustible en énergie calorifique par la combustion. Elle est placée à ciel ouvert, sa forme est en U renversée. Elle est munie de :

➤ **La chambre de combustion (Le foyer) :** Elle est de forme prismatique, sur ses faces latérales sont placées 6 brûleurs par face.

Chaque brûleur à CP est équipé d'un brûleur d'allumage à mazout (fuel) en plus du gaz naturel de la combustion aspiré par deux ventilateurs de soufflage.

Les cendres et mâchefers s'écoulent du foyer à l'état liquide à travers le lamier qui dispose d'un serpentin alimenté en eau et permettant le refroidissement des mâchefers par échange thermique.

Les gaz de combustion parcourent un carneau par des ventilateurs de tirage où sont disposés de différents échangeurs de chaleur tels que les surchauffeurs, les économiseurs et les réchauffeurs d'air.

➤ **Les surchauffeurs :** Ils sont utilisés pour augmenter le rendement du processus, ils sont constitués par des faisceaux tubulaires soumis à des températures élevées.

Suivant le mode d'échange de la chaleur, les surchauffeurs se divisent en parties :

- Partie radiante : Située au plafond de la chambre de combustion.
- Partie semi-radiante : Située sur le chemin de passage horizontal des gaz de combustion.
- Partie de chauffe par convection.

➤ **L'économiseur :** Constitué d'un ensemble de tubes d'eau disposés horizontalement dans le parcours descendant des gaz chauds, il récupère l'énergie calorifique dégagée par ces gaz pour élever la température d'eau.

➤ **Les réchauffeurs :** Les Réchauffeurs d'Air Tubulaire (R.A.T) est installé dans le parcours descendant des gaz chauds. La chambre de combustion est couverte de tube écrans protégés par des briques réfractaires.

Pour leur assurer une libre dilatation thermique les tubes écrans sont attachés à la carcasse métallique de la chaudière.

➤ **Le ballon :** Elle se trouve à la partie supérieure de la chaudière, avec un diamètre de 1600mm, ses tôles sont en acier avec une épaisseur de 100mm. Elle est posée sur deux appuis à rouleaux qui lui assurent une libre dilatation thermique.

Le réservoir de la chaudière est une enceinte de mélange où se trouve la phase liquide d'eau alimenté de la bêche alimentaire par des pompes alimentaire à travers les RHP et vapeur de l'eau de la chaudière. On y trouve un volume d'eau propre et un volume d'eau qui contient les sels, qui sont séparés par une tôle de séparation.

La production de la vapeur dans le ballon se fait par l'échauffement de l'eau des tubes écran qui se trouvent à la surface de parois de la chambre de combustion et qui sont en contact avec les flammes.

### 1.2.5. La Turbine :

La turbine est un moteur thermique où se transforme l'énergie de la vapeur en énergie mécanique pour entraîner le rotor de l'alternateur. Cette transformation se fait en deux temps :

- Transformation de l'énergie potentielle (pression) de la vapeur en énergie cinétique (vitesse) c'est le rôle des tuyères.
- Transformation de l'énergie cinétique en énergie mécanique (rotation du rotor) c'est-à-dire transfert de l'énergie cinétique de la tangente des roues à ailettes qui entraîne un alternateur.

La turbine à vapeur à condensation de la centrale thermique de Jerada est une machine monocylindrique à arbre unique, de type K-50-90-4. Elle est caractérisée par :

- Puissance nominale de la turbine 55MW.
- Vitesse de rotor 3000 tr/min.
- Pression de la vapeur vive 90 bars.
- Température de la vapeur vive 534 °C.
- Pression au condenseur 0,07 bars.
- Débit de vapeur 211 T/h.

La turbine comporte 22 étages y compris un étage de réglage, quatre soupapes de réglage qui sont montées directement sur le cylindre à haute pression, et 7 soutirages qui permettent la détente de la turbine.

La turbine est équipée d'une roue de vireur permettant de tourner le rotor à une vitesse de 3 à 4 tr/min, pour assurer un réchauffage uniforme à la mise en route, et un refroidissement régulier après l'arrêt de la turbine.

### I.2.6. Le condenseur :

Le condenseur est un réseau de tubes, sous forme d'un échangeur où circule de l'eau froide en provenance de la baie des chaleurs. Lorsque la vapeur passe autour des tubes du condenseur, elle se refroidit et se transforme en eau.

L'eau de refroidissement, est renvoyée une deuxième fois à la baie des chaleurs avec une température de dix degrés Celsius plus élevée que celle qu'elle avait avant d'être pompée la première fois.

### I.2.7. Les réfrigérants à tirage forcé :

Une tour aéroréfrigérante humide est un échangeur de chaleur « air/eau » dans lequel a été refroidi par le contact direct avec l'air ambiant. L'eau chaude est pulvérisée en partie haute de la tour aéroréfrigérante et ruisselle sur le corps d'échangeur. L'air traverse le système de ruissellement et puis rejeté dans l'atmosphère.

Le refroidissement s'effectue principalement par évaporation de l'eau ; l'efficacité du système est liée à la conception et à l'entretien de la tour aéroréfrigérante ainsi qu'aux conditions atmosphériques (température et humidité).

L'air saturé de vapeur d'eau crée un nuage visible à la sortie des tours aéroréfrigérantes par voie humide. Ce nuage appelé « panache » est constitué :

- De vapeur d'eau : c'est la quantité d'eau évaporée pour assurer le refroidissement. Elle est fonction de la chaleur éliminée. Elle est de l'ordre de 1% du débit d'eau circulant (soit approximativement 1,5 m<sup>3</sup> par MWh rejeté à l'atmosphère) pour 5 à 6 °C d'écart thermique entre l'eau chaude et l'eau froide. Ce débit d'évaporation donne de l'eau pure sans sel dissous. La vapeur d'eau peut se condenser en gouttes d'un diamètre moyen de 5 µm.

- Des gouttes entraînées ou entrainement vésiculaire : l'entrainement vésiculaire qui est défini comme étant de fines particules d'eau entraînées dans l'atmosphère par la circulation de l'air dans la tour (de quelques µm à 1 mm). Contrairement à l'eau évaporée, les gouttelettes entraînées possèdent la même composition initiale.

### I.2.8. L'alternateur :

L'alternateur est une machine tournante constituée de deux armatures cylindriques et coaxiales, se déplaçant l'une par rapport à l'autre.

- L'armature fixe (stator) est constituée d'une couronne de tôle magnétique maintenue par la carcasse. Le stator porte un enroulement induit triphasé distribué sur la périphérie interne de la couronne et logé dans des encoches.

- L'armature mobile (rotor) tourne à l'intérieure du stator. Le rotor porte un enroulement inducteur parcourut par un courant continu.

L'alternateur utilisé dans la centrale dispose des caractéristiques suivantes :

- Puissance nominale  $P=55\text{MW}$ .
- Tension statorique  $V=10,5\text{KV}$ .
- Fréquence  $f=50\text{Hz}$ .
- Vitesse de rotation  $n=3000\text{tr/min}$ .

### I.2.9. L'excitatrice :

L'alternateur est excité par une génératrice à courant continu dont les caractéristiques techniques :

- Puissance à longue durée est de  $470\text{KW}$ .
- Puissance à courte durée est de  $1380\text{KW}$ .
- Tension à longue durée est de  $280\text{V}$ .
- Tension à courte durée est de  $480\text{V}$ .
- Courant à longue durée est de  $1680\text{A}$ .
- Courant à courte durée est de  $2880\text{A}$ .

### I.2.10. Le transformateur :

L'alternateur alimente deux transformateurs, le principal est un élévateur de tension  $10,5/225\text{KV}$  et l'autre est un abaisseur de tension (transformateur de soutirage)  $10,5/6,6\text{Kv}$  pour alimenter les auxiliaires de la centrale.

Il existe un autre type de transformateur c'est le transformateur de démarrage 60/6.6 Kv qui est relié au réseau 60 Kv à partir de deux lignes extérieures [1].

### **II. Présentation du système : La pompe alimentaire.**

#### *II.1. Rôle et caractéristiques de la pompe alimentaire :*

La pompe alimentaire est une pompe centrifuge, multicellulaire accouplée avec un moteur de type ATD 2000, elle est destinée à alimenter la chaudière en eau avec un débit de 150m<sup>3</sup>/h. A noter que la Centrale Thermique de Jerada dispose de 6 pompes, chaque tranche travaille avec deux pompes montées en parallèle, l'une de ces deux pompes est fonctionnelle alors que l'autre en est en réserve.



**Figure 4: Photo d'une pompe alimentaire de la CTJ**

Cette pompe accélère le fluide qui la traverse en lui communiquant un mouvement de rotation, donc une certaine puissance hydraulique. Cette énergie hydraulique peut être vue comme la somme d'une énergie cinétique déterminée par le mouvement liquide dans le tube et d'une énergie potentielle stockée soit sous la forme d'un accroissement de pression soit sous celle d'une augmentation de hauteur (théorème de Bernoulli).

Le schéma d'alimentation de la chaudière en eau est le suivant :

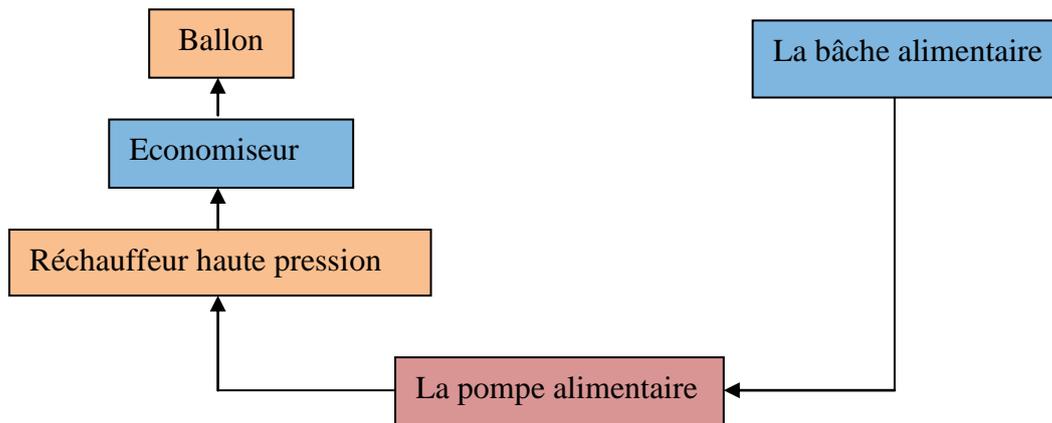


Figure 5: Schéma synoptique du positionnement de la pompe

**II.2. Les caractéristiques techniques de la pompe alimentaire:**

Les caractéristiques techniques de la pompe alimentaire se présentent comme suit :

- Pression d'aspiration de fonctionnement-----7bars.
- Pression de refoulement----- 170bars.
- Débit-----150m³/h.
- Température-----entre 150 °C et 160 °C.
- Puissance du moteur-----2Mw.
- Tension du moteur-----6,6 Kv.
- Vitesse-----3000tr/min.
- Fréquence-----50 Hz.

**II.3. Les consignes d'exploitation de la pompe alimentaire :**

<b>Paramètre</b>	<b>Valeur Min et Max du fonctionnement</b>	<b>Paramètre</b>	<b>Valeur Min et Max du fonctionnement</b>
Pression d'aspiration	[6 - 7]	Débit d'alimentation	[120 -150]
Pression du refoulement	[145 - 175]	T° d'eau d'aspiration	[140 – 160]
Pression de la chambre de décharge	[6 - 8]	T° d'huile sortant des paliers	[40 - 45]

## Chapitre I : Contexte général du projet

---

Pression d'huile des paliers de la pompe	[0.55 – 1.2]	L'intensité du courant du moteur	[170 - 201]
Pression d'huile des paliers du moteur	[0.8 - 1]	T° de l'air Réfrigérant du moteur	[18 - 40]
Pression d'eau de refroidissement du moteur et la pompe	[1.8 – 2]	Vibration	MAXI 50

Tableau 2: Consignes d'exploitation d'une pompe alimentaire

### *Conclusion :*

Ce chapitre fût une présentation générale de l'organisme d'accueil, et du processus de production de l'électricité au sein de la Centrale Thermique de Jerada, ainsi que du système étudié qui est constitué d'un ensemble de six pompes alimentaires multicellulaires. Dans le chapitre qui suit et dans le but de mieux cerner le besoin, nous allons expliciter une analyse de l'existant du sujet ainsi qu'une étude AMDEC des dites pompes.

## *Chapitre 2*

### *Diagnostic de l'existant & Etude méthodologique de la solution*

#### *Introduction*



*Dans ce chapitre et afin de mieux cerner le besoin, on a procédé à une analyse de l'existant en se basant sur deux principales méthodes, la méthode QQQQCP et le diagramme des 5M. L'objectif est de présenter une formulation claire des objectifs qu'on va déduire au fur et à mesure du développement de notre analyse. Une deuxième partie a été consacrée une étude AMDEC qui avait pour but de répertorier les principaux modes de défaillance des pompes ainsi que leurs criticités. Une loi de fiabilité de l'équipement a été également envisagée.*

### I. Diagnostic de l'existant :

#### I.1. Intérêt du projet :

L'amélioration de la disponibilité des installations industrielles est un souci permanent de la Centrale Thermique de Jerada. A travers une analyse de l'existant, nous voulons démontrer l'intérêt d'étudier la fiabilité des pompes alimentaires. Pour ceci, il a fallu tout d'abord récupérer les statistiques des indisponibilités pour voir la place que préoccupent les pompes sujettes de notre étude parmi les équipements qui sont à l'origine de la majorité des indisponibilités dans la Centrale Thermique.

Le tableau suivant montre les indisponibilités des équipements industriels les plus critiques dans la CTJ :

	Cause de l'indisponibilité	% d'indisponibilité	MWh	Le coût des pertes en Mdh
2005	Pompe alimentaire	6,33	30497	22,80
	Broyeur	0	0	0
	Surchauffeur	1.92	9240	6,93
	RHP	0.37	1760	1,32
2006	Pompe alimentaire	2.06	1430	7,42
	Broyeur	0.21	3153	0.74
	Surchauffeur	17.23	118305	62,28
	RHP	0.86	495	3,093
2007	Pompe alimentaire	0.09	437.844	0.32
	Broyeur	0.61	3905	2.18
	Surchauffeur	9.96	110501	35.97
	RHP	0	0	0
2008	Pompe alimentaire	7.64	6050	4537500
	Broyeur	0	0	0
	Surchauffeur	46.95	37184	27,88
	RHP	0	0	0

Tableau 3: Pourcentage des indisponibilités des installations de la CTJ et le coût des pertes

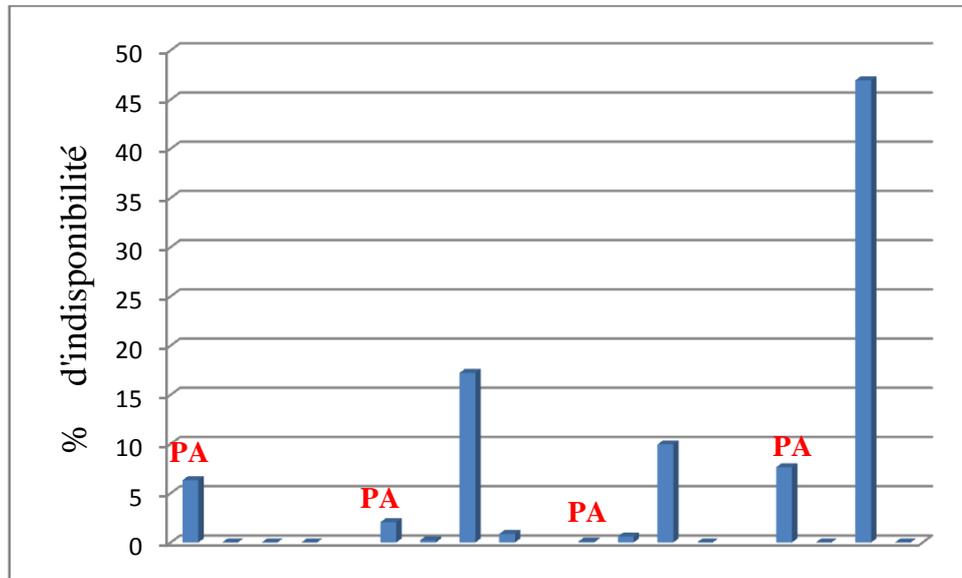


Figure 6: Taux des indisponibilités des pompes alimentaires

La figure 6 dénote l'importance de la contribution des pompes alimentaires dans les indisponibilités machines produites dans la CTJ. Ceci ne pourrait que justifier l'importance de la conduite du projet confié.

### 1.2. La méthode QQQQCP :

#### 1.2.1. Définition :

Dans la plus part des expériences courantes, et ceci quelque soit le domaine, la recherche de solutions au problème nécessite très souvent de répondre aux mêmes questions en général :

- ✓ Quoi ? (Objets, action, phase, opération) ;
- ✓ Qui ? (Est concerné, acteur, responsable) ;
- ✓ Où ? (Lieu, distance, étape) ;
- ✓ Quand ? (Moment, planning, durée, fréquence) ;
- ✓ Comment ? (Manières, modalités, procédures...) ;
- ✓ Pourquoi ? (Réaliser telle action, respecter telle procédure.) ;

Ce questionnement d'un problème a été formalisé et a donné naissance à une méthode : La méthode QQQQCP.

### I.2.2. Caractéristique de la méthode :

La méthode QQQQCP est une méthode d'analyse formelle, critique et constructive basée sur le questionnement. En résumé, le but de cette méthode est d'obtenir un ensemble d'informations pour comprendre quelles sont les raisons ou les causes principales d'une situation ; d'identifier clairement et de manière structurée les aspects à traiter ou à améliorer; et surtout de ne rien oublier lors de la planification des actions correctives [3].

### I.2.3. La méthode QQQQCP appliquée à l'étude de fiabilisation des pompes alimentaires :

Quoi?	
De quoi s'agit-il?	<ul style="list-style-type: none"><li>- Etude de la fiabilisation des pompes alimentaires de la CTJ.</li></ul>
En quoi consiste l'intérêt de la fiabilisation des pompes alimentaires de la CTJ ?	<ul style="list-style-type: none"><li>- Pouvoir établir une politique de maintenance dans le but d'améliorer la disponibilité des pompes.</li><li>- Minimiser les temps d'arrêt pour gagner en productivité.</li></ul>
En quoi consiste la situation insatisfaisante ?	<ul style="list-style-type: none"><li>- Absence d'une politique de maintenance préventive.</li><li>- Absence d'historiques des pannes.</li><li>- Absence d'une gestion du stock des pièces de rechange.</li><li>- Absence des tableaux de bords.</li></ul>
Quelles actions doit-on entreprendre ?	<ul style="list-style-type: none"><li>- Une mise à niveau par une analyse des causes.</li><li>- Elaboration d'une étude AMDEC des pompes alimentaires.</li><li>- Instauration d'une politique de maintenance préventive.</li><li>- Automatisation des pompes.</li></ul>

Qu'est ce qui manque en termes de politique de maintenance des pompes alimentaires ?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Absence d'historique des pannes et d'interventions.</li> <li>- Absence de planification de la maintenance préventive pour les pompes alimentaires.</li> <li>- Absence de maintenance conditionnelle</li> </ul>
<b>Qui ?</b>	
Qui est concerné par cette situation	- La division technique.
A qui l'amélioration rendra-t-elle service ?	- Service maintenance.
<b>Où ?</b>	
Dans quel service ?	- Division technique.
Sur quel équipement ?	- Les pompes alimentaires.
Où apparait le problème exactement ?	- Tous les organes de la pompe.
<b>Quand?</b>	
Quand est ce que a-t-on recours à la maintenance des pompes alimentaires ?	- Une fois une panne s'est produite.
<b>Comment?</b>	
Comment améliorer la Disponibilité des pompes alimentaires ?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- En réduisant le temps de réparation</li> <li>- En intégrant un système de suivi continu des paramètres de fonctionnement de la pompe</li> </ul>
Comment améliorer la politique de maintenance et diminuer ses coûts ?	- effectuer la maintenance préventive des pompes alimentaires
<b>Pourquoi ?</b>	
Pourquoi une telle étude ?	- améliorer la disponibilité des pompes qui se situent sur une ligne de production critique.
Qu'est ce qui peut justifier une telle action ?	- Gain en production et en coût

Tableau 4: Analyse par la méthode QQQQCP

Ce questionnement nous a permis de voir les aspects généraux de ce projet, notamment en termes d'actions à entreprendre pour palier à la situation insatisfaisante et qui est l'absence d'une politique de maintenance préventive. Pour mieux cerner le besoin nous allons procéder à une analyse des causes par la méthode des 5 M.

### ***1.3. Analyse des causes (ISHIKAWA) :***

#### **I.3.1. Définition de la méthode :**

Le diagramme d'Ishikawa est un outil qui permet d'identifier les causes possibles d'un effet constaté et donc de déterminer les moyens pour y remédier. Cet outil se présente sous la forme d'arêtes de poisson classant les catégories de causes inventoriées selon la loi des 5 M (matière, main d'œuvre, matériel, méthode, milieu). Il faut dans un premier temps définir clairement l'effet sur lequel on souhaite directement agir. Il est très important de parvenir au consensus sur la définition et les caractéristiques de la question traitée. Pour cela il faut :

- Lister à l'aide de la méthode de « brainstorming » par exemple, toutes les causes susceptibles de concerner le problème considéré.
- Il faut bien approfondir et explorer toutes les dimensions d'une situation donnée.
- Classer par famille toutes les causes d'un problème déterminé (3 à 5 familles est un choix raisonnable) [4].

### I.3.2. Ishikawa appliquée aux pompes alimentaires :

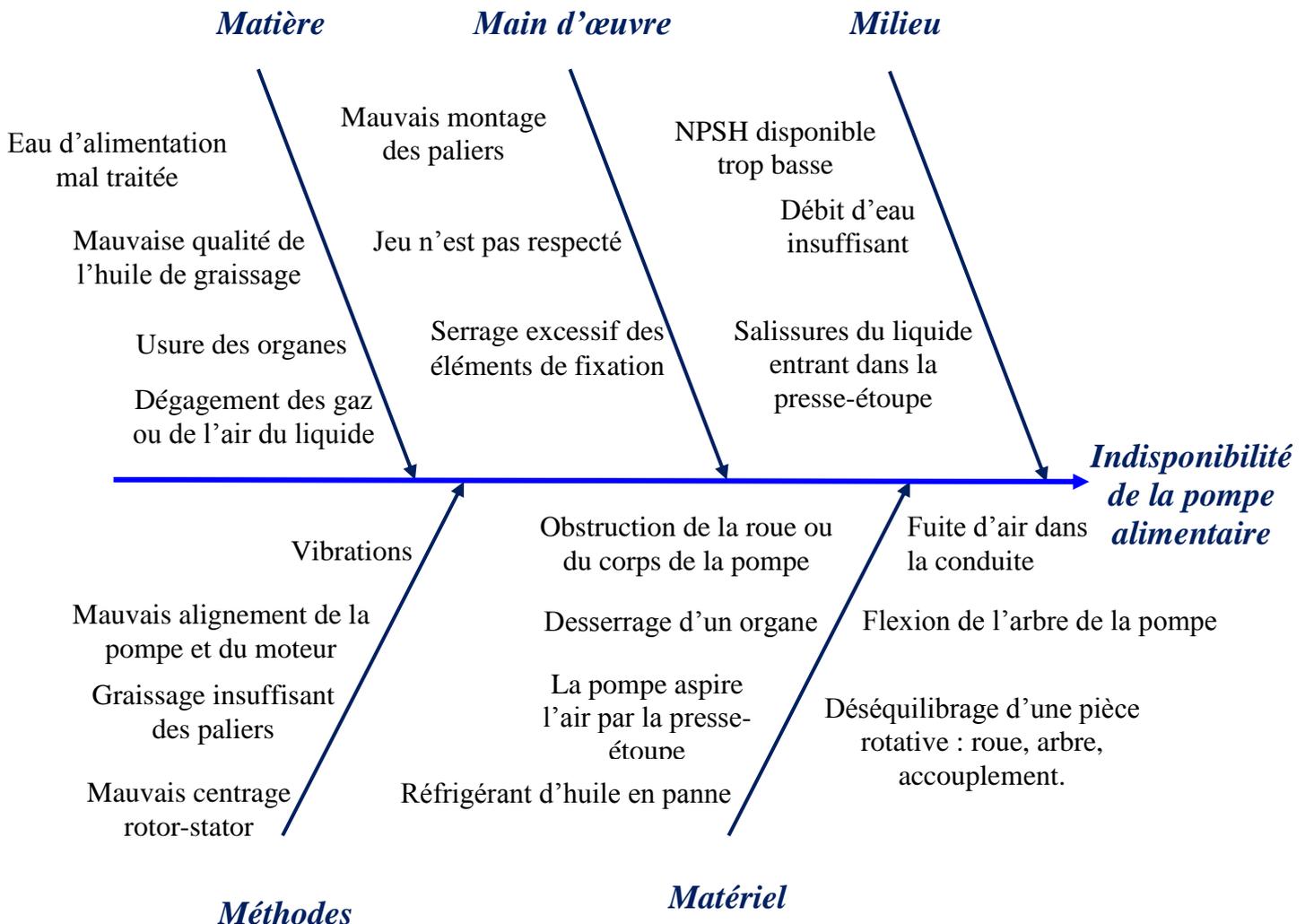


Figure 7: Analyse des causes de l'indisponibilité par le diagramme Ishikawa

Le diagramme Ishikawa nous a permis de recenser les causes des défaillances susceptibles de diminuer l'indisponibilité de la pompe alimentaire, mais cette méthode ne servira tout de même que pour justifier la présence de sources diverses de déclenchement de la pompe et par conséquent le besoin d'une étude de maintenance préventive basée sur l'amélioration de la fiabilité. Rappelons qu'à ce niveau d'analyse, les causes ne sont pas toutes explicitées, d'autant plus qu'aucune réflexion sur leur niveau de criticité n'est claire d'où le besoin de conduire une étude AMDEC. Celle-ci sera l'objet de la deuxième partie de ce chapitre.

### **II. Etude méthodologique de la solution :**

#### **II.1. Etude AMDEC :**

##### **II.1.1. Définition :**

L'étude AMDEC est une technique spécifique de la sûreté de fonctionnement, l'Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC) est avant tout une méthode d'analyse de systèmes (systèmes au sens large composé d'éléments fonctionnels ou physiques, matériels, logiciels, humains ...), statique, s'appuyant sur un raisonnement inductif (*causes conséquences*), pour l'étude organisée des causes, des effets des défaillances et de leur criticité [5].

##### **✓ But de l'étude AMDEC :**

- Réduire le nombre des défaillances ;
- Réduire les temps d'indisponibilité ;
- Prise en compte de la maintenabilité dès la conception ;
- Améliorer la sécurité.

##### **✓ Explication de la méthode :**

###### *Fiabilité (Reliability) :*

« Aptitude à ne pas présenter de défaillance pendant une durée déterminée dans des conditions données »

###### *Disponibilité (Availability) :*

« Aptitude à assurer une fonction donnée dans des conditions données à un instant donné »

###### *Maintenabilité (Maintainability) :*

« Aptitude à être remis en service dans une durée donnée dans des conditions données »

###### *Sécurité (Safety) :*

« Aptitude à ne présenter aucun danger pour les personnes, les biens et l'environnement »

##### **II.1.2. Démarche pratique de l'AMDEC machine :**

Une étude AMDEC machine comporte quatre étapes successives, soit un total de 21 opérations. La puissance d'une étude AMDEC réside autant dans son contenu que dans son exploitation. Une étude AMDEC reste sans valeur si elle n'était pas suivie par la mise en place effective des actions correctives préconisées par le groupe, accompagnées d'un contrôle système.

### *II.1.2.a Initialisation :*

L'initialisation de l'AMDEC machine est une étape préliminaire à ne pas négliger. Elle est menée par le responsable de l'étude avec l'aide de l'animateur, puis précisée avec le groupe de travail.

Elle consiste à poser clairement le problème, définir le contenu et les limites de l'étude à mener et à réunir tous les documents et informations nécessaires à son bon déroulement.

En suivant la méthode suivante :

- 1- Définition du système à étudier.
- 2- Définition de la phase de fonctionnement.
- 3- Définition des objectifs à atteindre.
- 4- Constitution du groupe de travail.
- 5- Etablissement du planning.
- 6- Mise au point des supports de l'étude.

### *II.1.2.b Décomposition fonctionnelle :*

Il ne s'agit pas dans cette étape de faire l'analyse critique de l'adéquation des fonctions de la machine au besoin, mais seulement d'identifier clairement les éléments à étudier et les fonctions à assurer.

C'est une étape indispensable car il est nécessaire de bien connaître les fonctions de la machine pour en analyser ensuite les risques de dysfonctionnement. Elle facilite l'étape ultérieure d'analyse des défaillances. Elle permet également au groupe de travail d'utiliser un vocabulaire commun. Elle peut être menée de manière plus ou moins détaillée selon les besoins.

Pour réaliser cette tâche, il faut suivre les étapes suivantes:

- Décomposer le système.

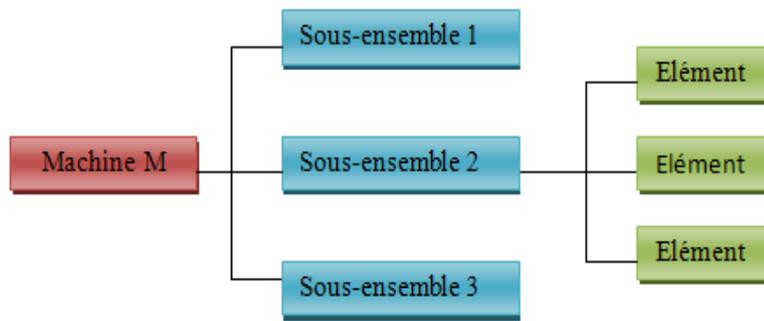


Figure 8: Démarche de décomposition d'une machine

- Identifier les fonctions des sous-ensembles.
- Identifier les fonctions des éléments.

### II.1.2.c Analyse AMDEC :

L'analyse AMDEC proprement dite consiste à identifier les dysfonctionnements potentiels ou déjà constatés d'une machine, à mettre en évidence les points critiques et à proposer des actions correctives pour y remédier. En pratique, on procède souvent à une estimation approximative qui se traduit par une note attribuée pour le groupe AMDEC, il s'agit donc d'une échelle de notation. De ce fait le produit multiplication utilise pour le calcul de la criticité n'a pas le sens mathématique propre de terme.

$$\begin{array}{ccccc} \text{Criticité} & \longrightarrow & C = G.F.D & \longrightarrow & \text{Probabilité du non détection} \\ \text{Gravité} & \longrightarrow & \text{ } & \longrightarrow & \text{Fréquence} \end{array}$$

#### Phase d'analyse des mécanismes de défaillance :

- Identification des modes de défaillance ;
- Recherche des causes ;
- Recherche des effets ;
- Recensement des détections.

#### Phase d'évaluation de criticité :

- Estimation du temps d'intervention ;
- Évaluation des critères de notation ;
- Calcul de criticité.

### Criticité C :

Elle permet de discriminer les actions à entreprendre et de les calculer à partir de la gravité, la fréquence et la défaillance de non détection.

Niveau de criticité	Définition
$1 \leq C < 10$ <b>criticité négligeable</b>	Aucune modification Maintenance corrective
$10 \leq C < 18$ <b>criticité moyenne</b>	Amélioration Maintenance préventive systématique
$18 \leq C < 27$ <b>criticité élevée</b>	Surveillance particulière Maintenance préventive conditionnelle
$27 \leq C < 64$ <b>criticité interdite</b>	Remise en cause complète de l'équipement

Tableau 5: Niveaux de criticité et leurs définitions

### Gravité G :

C'est la gravité des effets de la défaillance :

- pertes de productivité (arrêt de production, défaut de qualité).
- Coût de la maintenance.
- Sécurité, environnement.

Niveau de gravité	Indice	Définition
<b>Gravité très faible</b>	1	Sous influence
<b>Gravité faible</b>	2	Peut critique
<b>Gravité moyenne</b>	3	critique
<b>Gravité catastrophique</b>	4	Très critique

Tableau 6: Niveaux de gravité et leurs définitions

### Fréquence d'apparition F :

C'est la fréquence d'apparition d'une défaillance due à une cause particulière.

Niveau de fréquence	Indice	Définition
<b>Fréquence très faible</b>	1	Défaillance rare : Moins d'une défaillance par an
<b>Fréquence faible</b>	2	Défaillance possible : Une défaillance par trimestre
<b>Fréquence moyenne</b>	3	Défaillance fréquente : Une défaillance par deux mois
<b>Fréquence forte</b>	4	Défaillance très fréquente : Plusieurs défaillances par semaine

Tableau 7: Niveaux de fréquence et leurs définitions

### Non détection D :

C'est la probabilité de non détection d'une défaillance avant qu'il n'atteigne l'utilisateur.

Niveau de probabilité de non détection	Indice	Définition
<b>Détection évidente</b>	1	Défaillance précocement détectable: - détection à coup sûr de la cause de défaillance
<b>Détection possible</b>	2	Défaillance détectable : Signe avant-coureur facilement détectable
<b>Détection improbable</b>	3	défaillance difficilement détectable : signe avant-coureur de la défaillance difficilement détectable, peu exploitable
<b>Détection impossible</b>	4	Défaillance indétectable : Aucun signe avant-coureur de la défaillance

Tableau 8: Niveaux de probabilité de non détection et leurs définitions

### **Phase de proposition d'action correctives**

- Recherche des actions correctives.
- Calcul de nouvelle criticité.

#### *II.1.2.d Synthèses :*

Cette étape consiste à effectuer un bilan de l'étude et à fournir les éléments permettant de définir et lancer, en toute connaissance de la cause, les actions à effectuer. Ce bilan est essentiel pour tirer vraiment parti de l'analyse en suivant la méthode suivante :

- Hiérarchisation des défaillances.
- Liste des points critiques.
- Liste des recommandations [5].

#### *II.2. Application sur les pompes alimentaires :*

- ✓ Définition du système à étudier : La pompe alimentaire.
- ✓ La phase de fonctionnement : Fonctionnement normal.
- ✓ Définition des objectifs à atteindre :

**Disponibilité :** Réduire l'indisponibilité liée à la pompe alimentaire de l'indisponibilité fortuite globale ;

**Consommation de ressources :** Réduire la consommation d'huile et de l'eau d'alimentation et de refroidissement ;

**Coût :** Réduire le coût de maintenance des pompes alimentaires en s'orientant vers le préventif ;

**Sécurité :** Maintenir le zéro accident.

- Constitution du groupe de travail :

Mr Abderrahmane STAOUT	: Elève Ingénieur électromécanique
Mr Soulaymane HASSANI	: Elève Ingénieur électromécanique
Mr Hassan EL MAATI	: Chef de division technique
Mr Mohamed AMAJOUT	: Chef de service mécanique
Mr Mohamed BOUKHARI	: Chef de section Contrôle Commande
Mr Rachid LAHLOU	: Chef de quart
Mr Idir AMRANI	: Technicien mécanique
Mr Boumadyan BOUCHARB	: Expert pompes

### II.3. Deuxième étape : Analyse fonctionnelle :

L'analyse fonctionnelle est une méthode dont l'objet est de contribuer à générer les fonctions de service et techniques relatives à un produit industriel.

La méthode peut être séquencée en trois étapes :

- 1. Identifier** les fonctions : cette étape consiste à imaginer les fonctions potentielles ou réalisées ;
- 2. Exprimer** les fonctions : cette étape consiste à qualifier les fonctions à l'aide d'un verbe d'action et d'un complément ;
- 3. Caractériser** les fonctions : cette étape consiste à quantifier les fonctions à l'aide de critères et de valeurs [6].

#### ➤ Bête à cornes :

La bête à cornes est un outil de représentation de ces questions fondamentales. C'est un des éléments de la méthode APTE :

- ✓ Dans quel but ? (pour quoi faire ?)
- ✓ Pour quoi ce but ?
- ✓ pour quoi ? Besoin.
- ✓ pourquoi ? Cause (validation du besoin).

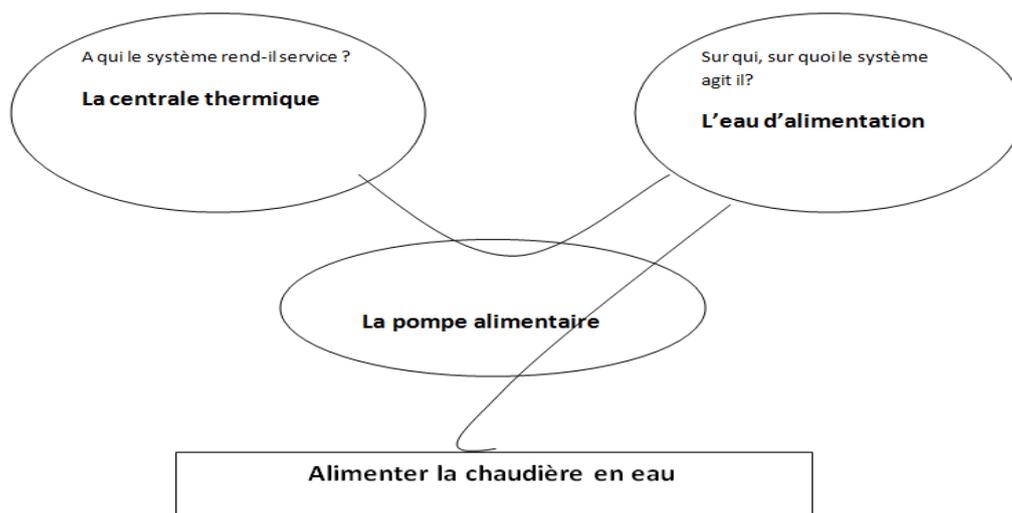


Figure 9: Bête à cornes du système

➤ **Diagramme pieuvre :**

L'outil "diagramme pieuvre" est utilisé pour analyser les besoins et identifier les fonctions de service de produit. En analysant le produit, on peut en déduire le diagramme "pieuvre", graphique circulaire qui met en évidence les relations entre les différents éléments de l'environnement du produit. Ces différentes relations sont appelées les fonctions de services qui conduisent à la satisfaction du besoin [6].

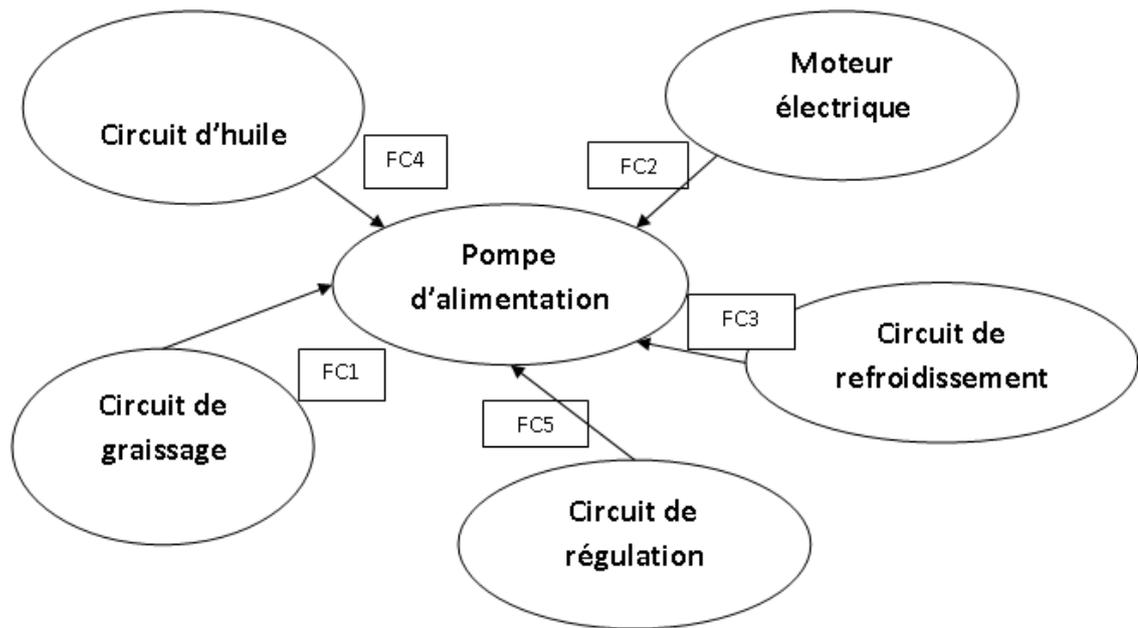


Figure 10: Diagramme pieuvre du système

	Eléments	Fonction	Commentaire
<b>FC1</b>	<b><u>Circuit de graissage :</u></b> Pompe à huile de démarrage  Pompe à huile de travail (auto-aspiration)	Amenée forcée d'huile dans les paliers avant la mise en marche et en arrêt.  Elle fonctionne après le démarrage de la pompe.	Entraînée par un moteur électrique. Pression de 0,7 à 1,2 bar et 40°C.  Liée à l'arbre de la pompe d'alimentation
<b>FC2</b>	<b><u>Moteur électrique</u></b>	Assurer l'entraînement de la pompe par un accouplement à doigt	Moteur type A52000 /6600T Triphasé. Puissance 2000 KW Vitesse de rotation 2980Tr/min
<b>FC3</b>	<b><u>Circuit de refroidissement</u></b>	Assurer le refroidissement de l'huile de graissage	Circuit eau de refroidissement

<p><b>FC4</b></p>	<p><b><u>Système de contrôle :</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Manomètre de pression d'huile à contact électrique 0 à 4 bars.</li> <li>-Manomètre à cadran 0 à 250 bars</li> <li>-Manomètre à cadran 0 à 10 bars.</li> <li>-Manomètre à cadran 0 à 10 bars.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Contrôler la pression d'huile arrivant aux paliers.</li> <li>-Contrôler la pression de refoulement.</li> <li>- Contrôler la pression derrière la crapaudine de déchargement.</li> <li>-Contrôler la pression d'aspiration</li> </ul>	<p>Pression d'entrée d'eau :</p> <p>6,4 bars à 160 °C</p> <p>Pression de la sortie :</p> <p>150 bars à 160°C</p>
<p><b>FC5</b></p>	<p><b><u>Système de régulation :</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Clapet de retenue.</li> <li>- Filtres.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Régler le débit d'eau d'alimentation.</li> <li>-Protéger la pompe contre le courant inverse d'eau.</li> <li>-Eliminer les impuretés du fluide.</li> </ul>	<p>Signal lié aux appareils de contrôle</p>

**Tableau 9: Tableau explicatif des interactions entre les milieux extérieurs du système**

**II.4. Décomposition fonctionnelle :**

**La pompe alimentaire :**  
*Transformer l'énergie mécanique en énergie hydraulique*

**Corps**

- ✓ Couvercle d'aspiration.
- ✓ Couvercle de refoulement.
- ✓ Bague d'étanchéité.
- ✓ Section (cellule)
- ✓ Appareil de guidage d'aspiration
- ✓ Appareil de guidage de refoulement
- ✓ Boite d'étanchéité.

**Paliers**

- ✓ Doigt d'accouplement
- ✓ Support
- ✓ Coussinet
- ✓ Joints d'étanchéité
- ✓ Élément de fixation

**Dispositif de décharge**

- ✓ Chambre de refoulement
- ✓ Cartouche de déchargement
- ✓ Disque de décharge
- ✓ Bride de pression
- ✓ Douille de crapaudine
- ✓ Bague d'étanchéité

**Elément de fixation**

- ✓ Gougeons de fixation fouloirs
- ✓ Gougeons de fixation des chambres
- ✓ Gougeons de fixation de labyrinthe
- ✓ Châssis de fixation
- ✓ Gougeons de fixation motopompe

**Arbre**

- ✓ Chemise avant et arrière
- ✓ Bague de serrage avant et arrière
- ✓ Roue à palettes
- ✓ Bague intermédiaire
- ✓ Ecrou terminal avant et arrière
- ✓ Déflecteur d'huile avant et arrière
- ✓ Clavette

### II.5. Identification des fonctions :

Après avoir procédé à la décomposition fonctionnelle, nous avons identifié la fonction de chaque composant. Le tableau ci-dessous rassemble les fonctions que nous avons identifiées ;

Désignation	Quantité installée	Rôle
La roue motrice	10	Posée sur l'arbre elle sert à augmenter la pression d'eau.
Les roues (conductrice et directrice)	20	Elles sont montées une après l'autre avec un sens d'ailettes opposé pour diriger l'eau de refoulement de la roue dynamique vers l'aspiration de la section suivante.
La section	9	Elle est forgée en acier inoxydable et alésée cylindriquement pour le centrage de l'aubage d'aspiration
La bague intermédiaire	5	Elle est placée sur l'arbre et relie deux roues motrices, son rôle est d'assurer l'étanchéité entre eux.
La bague d'étanchéité	10	Elle est solidaire avec la section par des vis à tête fraisée et la relie avec la roue motrice. Elle joue le rôle d'étanchéité.
La bague d'appui	10	Elle relie la roue motrice avec la roue conductrice. Elle a le même rôle que celui de la bague d'étanchéité.
L'arbre	1	Il est forgé en acier allié, c'est le support sur le lequel sont emmanchées les dix roues motrices afin d'assurer leur rotation
Le flasque d'aspiration	1	Etant placé au début de l'aspiration de la pompe, il sert à diriger l'eau vers l'aspiration de la première roue motrice.
Le flasque de refoulement	1	Il sert à diriger l'eau de refoulement vers la sortie de la pompe.
Le fourreau	1	Il est placé sur la face extérieure du flasque de refoulement, son rôle est d'assurer l'étanchéité et buté pour le disque d'équilibre.
Le disque d'équilibre	1	Il est considéré comme un fusible mécanique de la pompe car il la protège des mouvements axiaux de l'arbre.
La chemise avant/arrière	2	Etant placées sur l'arbre c'est un moyen de serrage et protection de l'arbre du frottement de la tresse.

La tresse	10 anneaux	Les anneaux de tresse placée sur les chemises, ils assurent l'étanchéité de l'eau de refroidissement.
Le fouloir	2	Il sert à bloquer la tresse.
Le triangle	2	Il fixe le fouloir.
La chambre de refroidissement	2	Comme son nom l'indique elle joue le rôle de refroidissement.
Le déflecteur d'huile	2	Il est placé sur l'arbre afin d'assurer l'étanchéité de l'huile de graissage des paliers
Le coussinet	4	C'est un appui de l'arbre de la pompe et l'arbre du moteur Il permet le guidage en rotation.
Le palier	4	Il est considéré comme un support du coussinet
La pompe d'huile	1	Elle sert à graisser la pompe juste 5min après le démarrage
La pompe en bout d'arbre	1	Elle prend la relève juste après l'arrêt de la pompe d'huile pour assurer le graissage de la pompe alimentaire durant son fonctionnement.
Le détendeur	1	Son rôle est de protéger le moteur des fuites d'huile de graissage de ses paliers, en baissant sa pression pour qu'elle ne dépasse pas 1 bar.

Tableau 10: Fonctions des éléments constituant la pompe alimentaire et la quantité installée

### II.6. Troisième étape : Analyse AMDEC

**Les tableaux d'analyse AMDEC sont fournis dans l'Annexe A1.**

Dans la partie mécanique, nous avons conclu à partir de l'AMDEC que tous les composants sont critiques, d'où l'intérêt d'une politique de maintenance préventive. Dans la partie électrique, on a trouvé que l'armoire de commande présente la plus grande criticité, ceci est dû à l'encombrement des câbles ainsi que la difficulté de détection des pannes, ce qui justifie l'intérêt de l'automatisation que nous avons détaillé dans le chapitre qui va suivre.

### III. Principales lois de probabilité utilisées en fiabilité :

#### III.1. La loi exponentielle :

Cette loi a de nombreuses applications dans plusieurs domaines. C'est une loi simple, très utilisée en fiabilité dont le taux de défaillance est constant. Elle décrit la vie des matériels qui subissent des défaillances brutales [7].

La fonction fiabilité : 
$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

#### III.2. La loi normale (Laplace-Gauss) :

La loi normale est la plus répandue parmi les lois de probabilité car elle s'applique à de nombreux phénomènes. En fiabilité, la distribution normale est utilisée pour représenter la distribution des durées de vie de dispositifs en fin de vie (usure) car le taux de défaillance est toujours croissant. On ne l'utilisera que si la moyenne des durées de vie est supérieure à 3 fois l'écart type [7].

La densité de probabilité d'une loi normale de moyenne  $\mu$  et d'écart-type  $\sigma$  s'écrit :

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad t > 0$$

#### III.3. La loi de Weibull :

C'est la plus populaire des lois, utilisée dans plusieurs domaines (électronique, mécanique,...). Elle permet de modéliser en particulier de nombreuses situations d'usure de matériel. Elle caractérise le comportement du système dans les trois phases de vie : période de jeunesse, période de vie utile et période d'usure ou vieillissement. Dans sa forme la plus générale, la distribution de Weibull dépend des trois paramètres suivants :

$\beta \rightarrow$  Paramètre de forme  $>0$  sans dimension:

- Si  $\beta > 1$ , la zone de vieillesse  $1,5 < \beta < 2,5$  : fatigue ;  $3 < \beta < 4$  : usure, corrosion
- Si  $\beta = 1$ , caractéristique de la zone de maturité
- Si  $\beta < 1$ , caractéristique de la zone de jeunesse

$\eta \rightarrow$  Paramètre d'échelle  $>0$  ; s'exprime dans l'unité de temps.

$\gamma \rightarrow$  paramètre de position;  $-\infty < \gamma < +\infty$ , s'exprime dans l'unité de temps [7].

La fonction fiabilité s'écrit :

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad \gamma \leq t$$

### III.4. La loi uniforme :

C'est une loi utilisée dans l'approche bayésienne pour modéliser l'avis d'experts face à une situation donnée. La densité de probabilité et la fiabilité d'une loi uniforme sur  $[0, a]$  sont données par les formules suivantes [7] :

$$f(t) = \begin{cases} \frac{1}{a} & \text{si } 0 \leq t \leq a \\ 0 & \text{si } t > a \end{cases}$$

### III.5. La loi du Khi-deux :

La loi du Khi-deux, ou loi de Pearson, ne sert pas à modéliser directement la fiabilité, mais essentiellement au calcul des limites de confiance lors des estimations par intervalle de confiance. Elle est caractérisée par un paramètre positif  $n$  appelé degrés de liberté et n'est définie que pour des valeurs positives [7].

$$f(t) = \frac{1}{2^{\frac{v}{2}} \Gamma\left(\frac{v}{2}\right)} t^{\frac{v}{2}-1} e^{-\frac{t}{2}} \quad t \geq 0$$

La loi du Khi-deux est décrite par une table statistique.

## IV. Le choix de la loi la plus adaptée à notre situation :

L'évolution du taux de défaillance d'un produit pendant toute sa durée de vie est caractérisée par ce qu'on appelle en analyse de fiabilité la courbe en baignoire.

Le taux de défaillance est élevé au début de la vie du dispositif. Ensuite, il diminue assez rapidement avec le temps (taux de défaillance décroissant), cette phase de vie est appelée période de jeunesse. Après, il se stabilise à une valeur qu'on souhaite aussi basse que possible pendant une période appelée période de vie utile (taux de défaillance constant). A la fin, il remonte lorsque l'usure et le vieillissement font sentir leurs effets, c'est la période de vieillissement (taux de défaillance croissant):

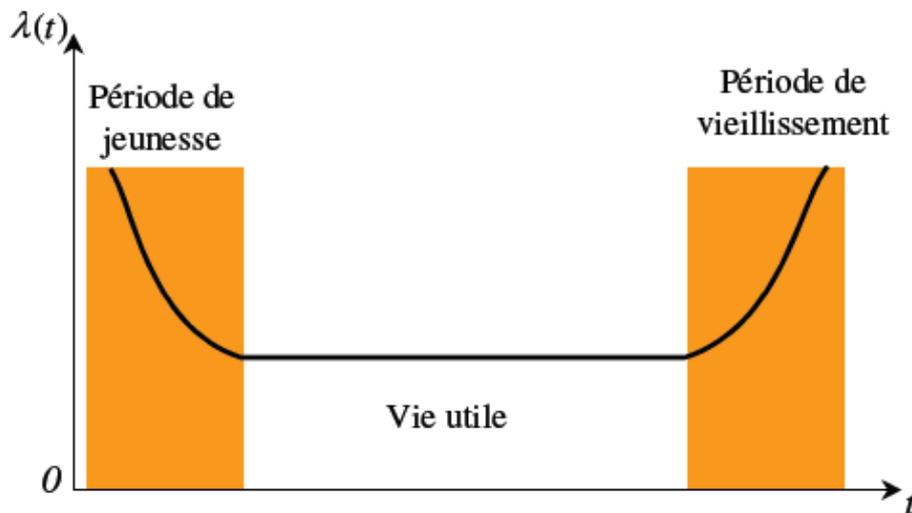


Figure 11: Courbe en baignoire [7]

Or pour les composantes mécaniques, ces derniers sont soumis dès le début de leur vie, au phénomène d'usure ou de vieillissement. Donc, si on trace la courbe du taux de défaillance, en fonction du temps on va avoir la courbe ci-dessous.

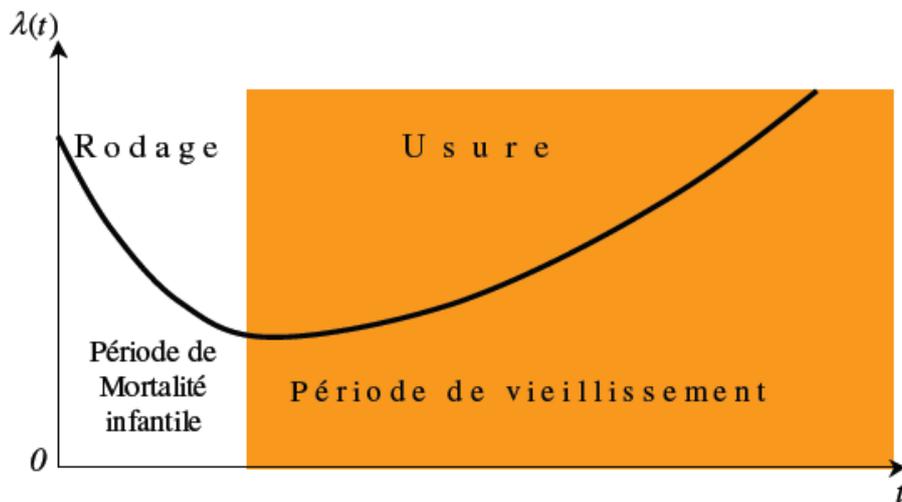


Figure 12: Courbe du taux de défaillance en mécanique [7]

- La première phase définit la période de *mortalité infantile*. C'est une durée de vie en principe très courte. Elle est décrite par une décroissance progressive du taux de défaillance avec le temps dû à une amélioration des caractéristiques internes (caractéristiques de défauts) et des interfaces, par un rodage préalable des pièces. Par conséquent il n'est pas souhaitable de tester les composants mécaniques dans cette période de leur vie.

- La dernière phase définit la période de vieillissement qui comporte la majorité de la vie du dispositif. Elle est caractérisée par une augmentation progressive du taux de défaillance. Les pièces mécaniques sont soumises à des phénomènes de vieillissement multiples qui peuvent agir en combinaison: corrosion, usure, déformation, fatigue, et finalement perte de résilience ou fragilisation. Donc les calculs de la fiabilité pour des composants mécaniques se font essentiellement dans la période de vieillissement,

Notre système mécanique est la pompe multicellulaire. Sachant que la représentation du taux d'avarie selon Weibull permet de caractériser le comportement du système dans les trois phases de vie et si l'on regarde l'allure de taux de défaillance en mécanique, on peut dire qu'elle est identique à celle de Weibull. Par ailleurs, c'est difficile de calculer la fiabilité d'un système mécanique car le taux de défaillance n'est pas constant contrairement à un système électronique qui favorise un taux de défaillance constant (loi exponentielle). Donc la loi de Weibull vient à notre secours.

Ainsi, on va décomposer notre système mécanique qui est la pompe alimentaire en sous-systèmes en affectant pour chaque sous système des valeurs de paramètres de Weibull .

### IV.1. Valeurs des Paramètres Weibull :

Ensemble	Composante	Mode De Défaillance	$\beta$	$\mu$
Presse Etoupe	Joint torique	Usure joint torique	1,2	150000
	Les tresses	Usure des tresses	1,2	150000
	Labyrinthe	Usure de labyrinthe	1,2	150000
	Chemise	Usure chemise	1,1	50000
Circuit d'huile	Joint bride	Usure joint bride	1,2	150000
	Huile de graissage	Dégradation huile	1,1	10000
	Pompe embout d'arbre	Défaillance pompe embout d'arbre	1,3	50000
	Filtre	Défaillance filtre	1,1	25000
Palier à Coussinet	Défecteur huile	Usure défecteur huile	1,2	150000
	Coussinet	Usure coussinet	1	50000
Disque d'équilibre	Douille crapaudine	Usure douille crapaudine	1,4	25000
Accouplement	Accouplement	Usure dents accouplement	2	75000

Refoulement	Vanne refoulement	Défaillance vanne Refoulement	1,1	25000
	Conduite Refoulement			
	Clapet De non- retour	Défaillance pompe centrifuge	1	50000
Moteur	Moteur asynchrone	Défaillance moteur asynchrone	1,2	100000
Corps pompe	Bagues d'étanchéité	Usure bagues d'étanchéité	1,4	25000
	Bague d'appui	Usure bague d'appui	1,4	25000
	Les Roues motrices			

Tableau 11: Paramètres Weibull pour les différentes composantes du système [7]

#### **IV.2. Bloc Diagramme de fiabilité :**

C'est la méthode la plus anciennement connue pour le calcul de la fiabilité des systèmes non réparables. Le diagramme de fiabilité représente les conditions de réalisation de la fonction d'un système composé de sous-systèmes caractérisés par leur fiabilité. On appelle parfois chemin de succès, un chemin permettant d'aller de l'extrémité gauche à l'extrémité droite du diagramme, Symbolisant ainsi que la fonction du système est réalisée. C'est par analogie avec les circuits électriques que cette méthode a été proposée [7].

#### **IV.3. Diagramme de fiabilité pour la pompe alimentaire :**

La pompe alimentaire multicellulaire est un système mécanique composé de plusieurs composants ; et puisque nous savons que la fiabilité d'un système mécanique, repose sur la fiabilité de quelques composants élémentaires responsables de son dysfonctionnement, dits composants « responsables » ou « critiques » et contribuant presque totalement à la probabilité de défaillance de l'ensemble. Les autres composants pouvant être considérés de probabilité de défaillance pratiquement nulle. Le plus souvent, les systèmes mécaniques sont considérés à configuration série.

IV.3.1. Modélisation de la pompe alimentaire (composants responsables) :

A partir de tout ce que nous avons dit jusqu'à maintenant à propos de la fiabilité de la pompe alimentaire, nous allons adopter la configuration série et en ce qui concerne la loi de la distribution, on va prendre celle de Weibull à deux paramètres ( $\gamma=0$ ) puisqu'on a choisi l'origine temps égale 0 :

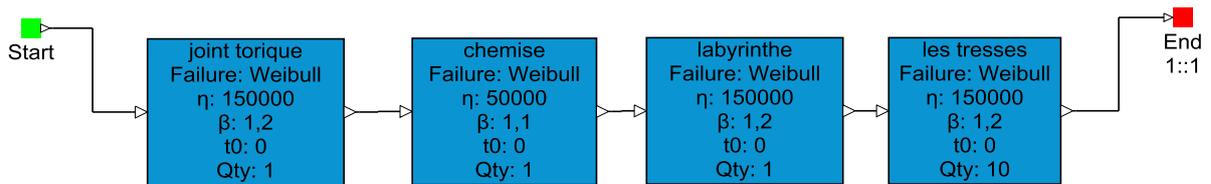


Figure 13: Modélisation de la partie: Boite de presse étoupe

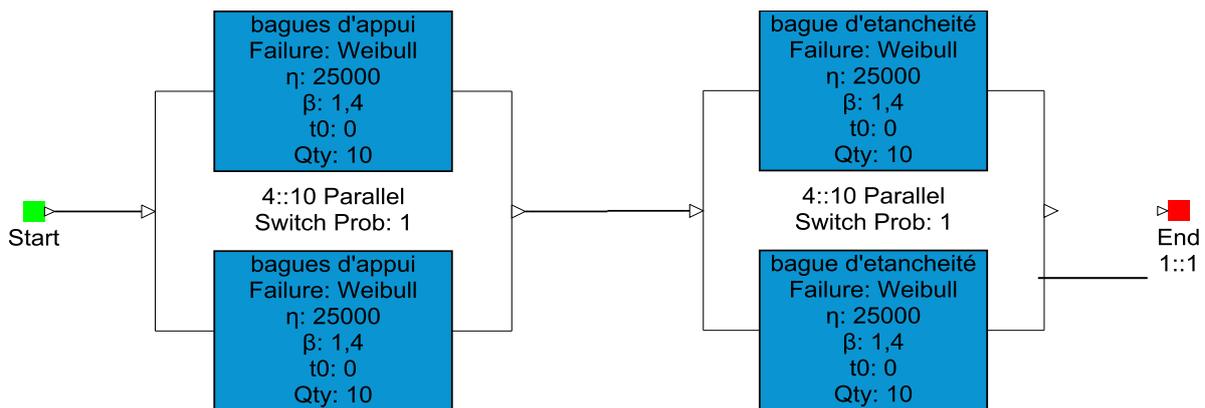


Figure 14: Modélisation de la partie: Corps de la pompe

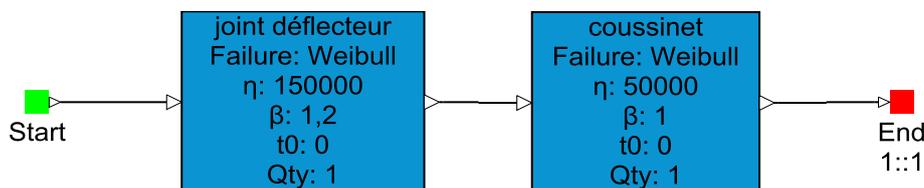


Figure 15: Modélisation de la partie: palier à coussinet

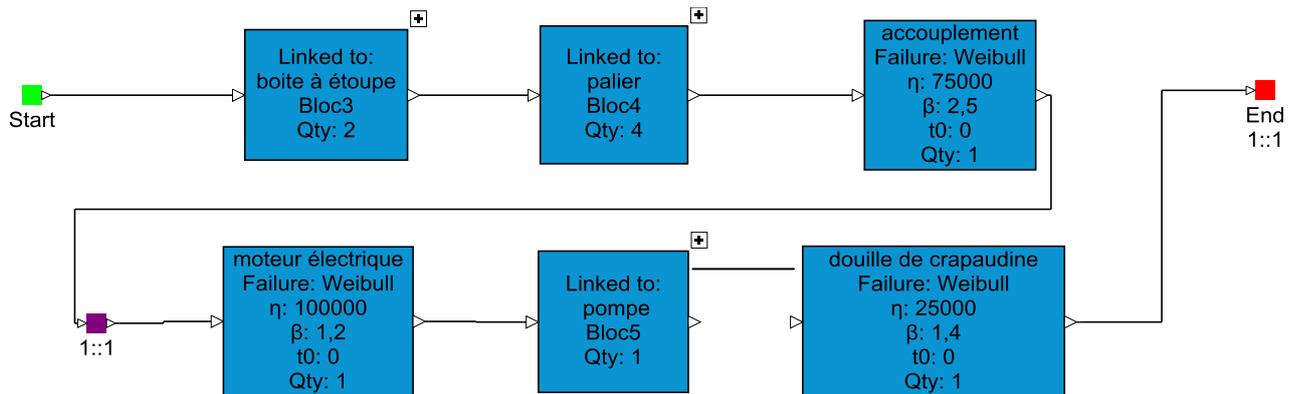


Figure 16: Modélisation de la pompe alimentaire

Les figures ci-dessus représentent une modélisation du système 'pompe alimentaire' dans le logiciel RBD. On a décomposé ce système en plusieurs sous-systèmes critiques et on a opté pour la configuration série puisque si l'un d'eux est en panne, le système entier le sera.

**IV.4. Calcul et résultats :**

La fiabilité de la pompe alimentaire est calculée en fonction des fiabilités des sept composants qui le constituent :

$$R(t) = \prod_{i=1}^6 Ri(t) \text{ où } Ri(t) = \exp\left(-\left(\frac{t}{\eta_i}\right)^{\beta_i}\right) \quad T \geq 0 \quad i = 1, \dots, 6$$

Les résultats sont représentés par plusieurs graphes (voir figure ci-dessous) construits à l'aide d'un logiciel RBD. Afin de déduire la loi de fiabilité de la pompe entière, on va déterminer les paramètres de la loi de Weibull :  $\beta$  et  $\eta$ .

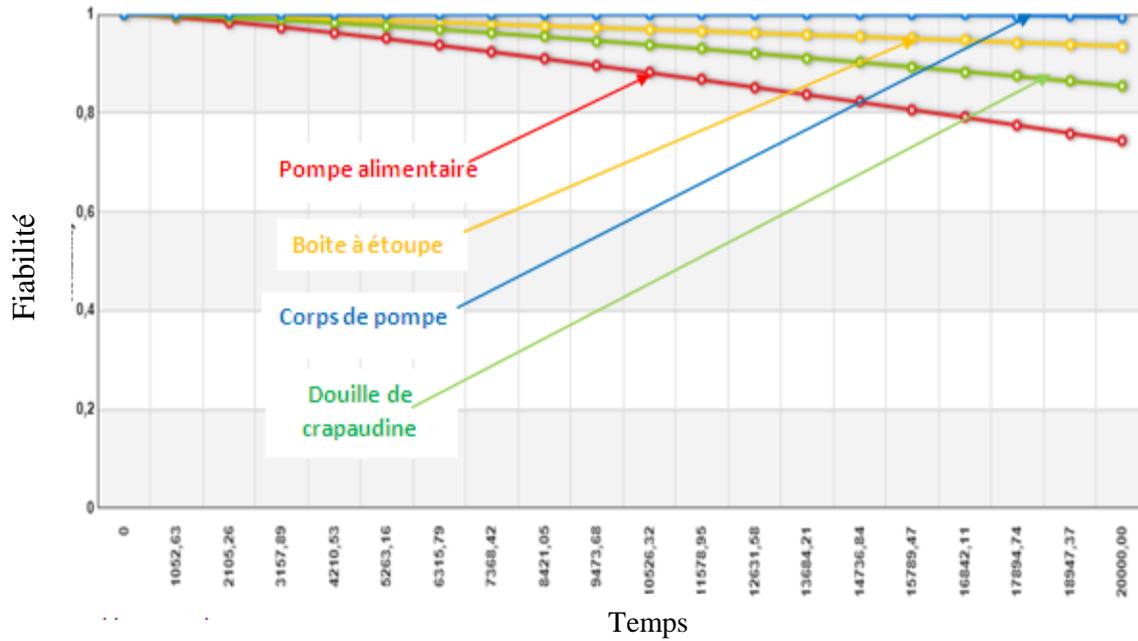


Figure 17: Courbes de la fiabilité de la pompe alimentaire et de ses Composants

La loi de fiabilité de la pompe s'écrit sous la forme :

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

On conclue les valeurs des paramètres  $\beta$  et  $\eta$  en considérant deux points de la courbe de fiabilité de la pompe :

$$\begin{cases} 0,92 = R(10000) = e^{-\left(\frac{10000}{\eta}\right)^\beta} \\ 0,74 = R(20000) = e^{-\left(\frac{20000}{\eta}\right)^\beta} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \ln 0,92 = -\left(\frac{10000}{\eta}\right)^\beta \\ \ln 0,74 = -\left(\frac{20000}{\eta}\right)^\beta \end{cases}$$

$$\begin{cases} \ln(-\ln 0,92) = \beta \ln\left(\frac{10000}{\eta}\right) \\ \ln(-\ln 0,74) = \beta \ln\left(\frac{20000}{\eta}\right) \end{cases}$$

$$\frac{\ln(-\ln(0,92))}{\ln(-\ln(0,74))} = k = \frac{\ln\left(\frac{10000}{\eta}\right)}{\ln\left(\frac{20000}{\eta}\right)} = 2,07$$

$$k(\ln 20000 - \ln 10000) = \ln 10000 - \ln \eta$$

$$\ln \eta (1 - k) = \ln 10000 - k \ln 20000$$

$$\ln \eta = \frac{\ln 10000 - k \ln 20000}{1 - k} = 10,55$$

Enfin on trouve :  $\eta = 38461$  et  $\beta = 1,9$

### *Conclusion:*

Lors de cette deuxième partie, nous étions à même d'effectuer une étude AMDEC à travers laquelle nous avons recensé les différentes pannes susceptibles de se produire dans chaque composant de la pompe alimentaire. Ensuite nous avons établi une modélisation des composants critiques ie, ceux qui engendrent forcément l'arrêt du système. Dans une étape ultérieure, nous avons modélisé les composants dits critiques dans l'ultime but de pouvoir en déduire la loi de fiabilité de la pompe qui servira par la suite dans le calcul du MTBF qui nous sera d'une grande utilité dans le chapitre suivant pour préconiser une périodicité de maintenance convenable.

## *Chapitre 3*

### *Politique de maintenance & Etude et conception de l'armoire de commande*

#### *Introduction*



*L'ultime objectif de ce chapitre est d'élaborer une politique de maintenance préventive au profit des pompes alimentaires tout en se basant sur les résultats du chapitre précédent. Pour assurer l'efficacité de la maintenance, nous allons également fournir des documents tels que la fiche de vie et la check-list. Il sera ensuite question de présenter une étude de conception de l'armoire de commande à travers une analyse fonctionnelle, qui nous a permis d'extraire les fonctions de service et de proposer des solutions. Convierait-il par la suite de désigner les différents composants de l'armoire et d'exposer un aperçu général de la solution adoptée.*

## **I. Elaboration d'une politique de maintenance préventive :**

### **II.2. Quelques concepts de la maintenance :**

#### **II.2.1. Les défaillances d'un système :**

Un système peut être défini comme un ensemble de composants interdépendants, conçus pour réaliser une fonction donnée, dans des conditions données et dans un intervalle de temps donné. Pour chaque système, il importe de définir clairement les éléments qui le caractérisent, à savoir : la fonction, la structure, les conditions de fonctionnement, les conditions d'exploitation et l'environnement dans lequel il est appelé à opérer.

La norme AFNOR définit la défaillance comme une altération ou une cessation d'un bien à accomplir une fonction requise. L'analyse de la défaillance est faite non seulement dans le but de réparer ou dépanner un système défaillant, mais également de chercher à éviter la réapparition du défaut. Une expertise doit permettre, à l'issue d'une défaillance d'un équipement, de déterminer les causes, qui peuvent être soit un processus intrinsèque ou une imputation externe (accident ou mauvaise utilisation). Elle doit aussi permettre d'identifier la nature de la défaillance, de la détecter, d'en déduire les conséquences, d'en déterminer l'amplitude et finalement, de comprendre le processus de manifestation qui est caractérisé par la vitesse de propagation ou le caractère.

Les principaux modes de défaillances sont divisés dans les trois catégories suivantes :

- La santé – matière : il s'agit de défauts pré-existants dans les pièces en service. Il apparaît suite à un défaut, soit lors de l'élaboration de la matière, soit lors de l'élaboration de la pièce finie, ou lors du montage;
- Les modes de défaillances mécaniques en fonctionnement : il s'agit de plusieurs types de défaillances mécaniques. Elles apparaissent suite à un choc, à une surcharge, à une fatigue mécanique ou thermique, à un fluage, à l'usure, à l'abrasion, à l'érosion ou à la corrosion;
- Les modes de défaillances électriques : ces défaillances surgissent suite à la rupture d'une liaison électrique, au collage, à l'usure de contact ou au claquage d'un composant.

Pour remédier à ces défaillances, les concepts de maintenance et de maintenabilité ont vu le jour [8].

II.2.2. Définition de la maintenance :

Les normes NF X 60-010 et 60 011 définissent la maintenance comme l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé [8].

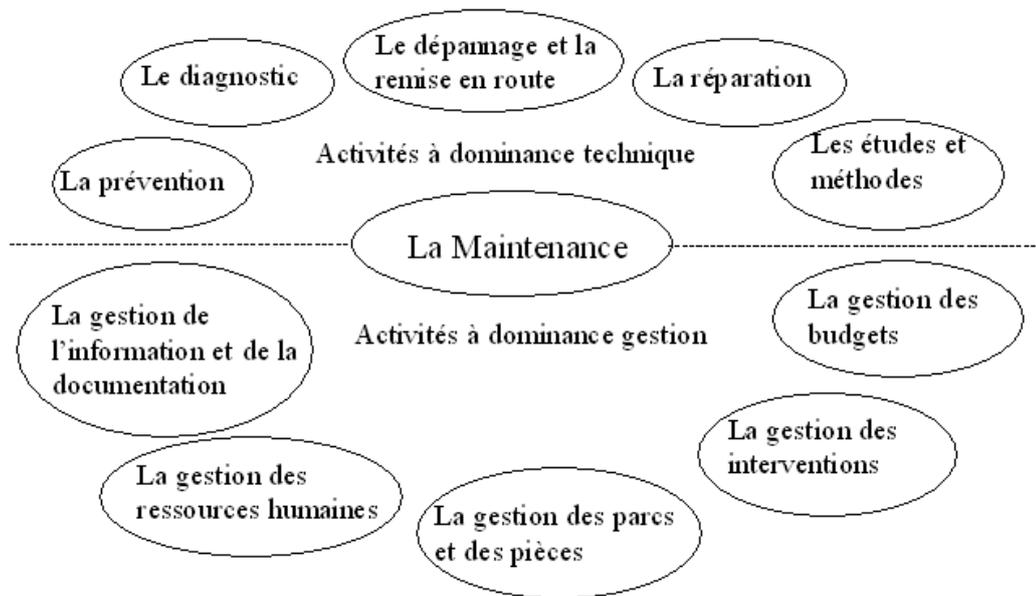


Figure 18: Contenu de la fonction maintenance [8]

Dans la définition de la maintenance, nous trouvons deux mots-clés : maintenir et rétablir. Le premier fait référence à une action préventive. Le deuxième fait référence à l'aspect correctif.

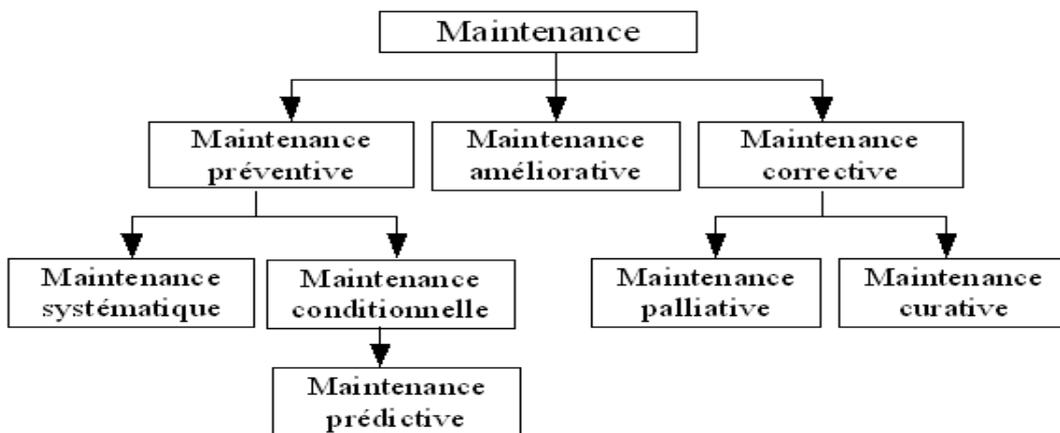


Figure 19: Les différents types de maintenance [8]

II.2.3. Maintenance corrective :

« Maintenance exécutée après détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise » (Extrait norme NF EN 13306 X 60-319 [9]).

II.2.4. Maintenance préventive :

« Maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinée à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien » (extrait norme NF EN 13306 X 60-319 [9]).

Cette définition est générale. L'objectif de la maintenance préventive demeure de réduire la probabilité de défaillance.

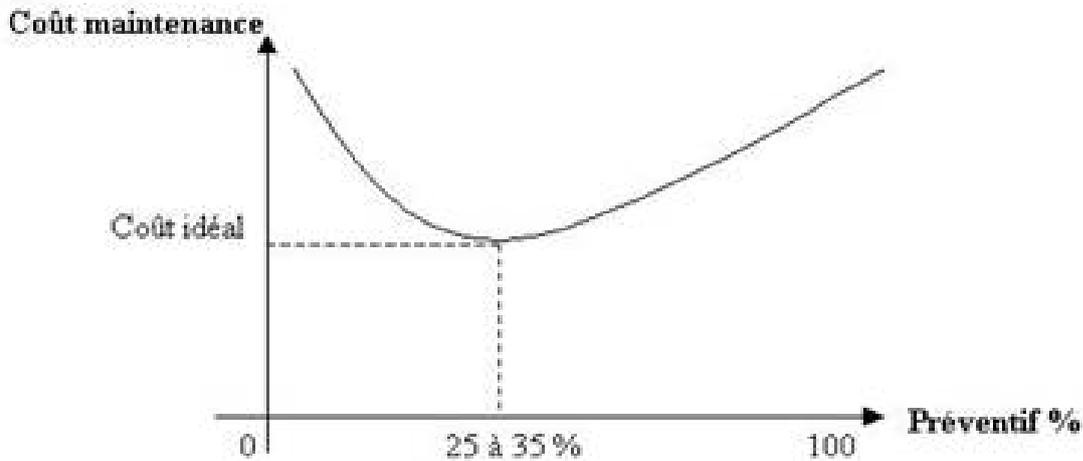


Figure 20: Evolution du coût de la maintenance en fonction du % du préventif

Attention : trop de maintenance préventive n'est souvent pas économiquement viable. Chaque industrie doit trouver le niveau à atteindre.

A quel moment pratique-t-on une maintenance préventive ?

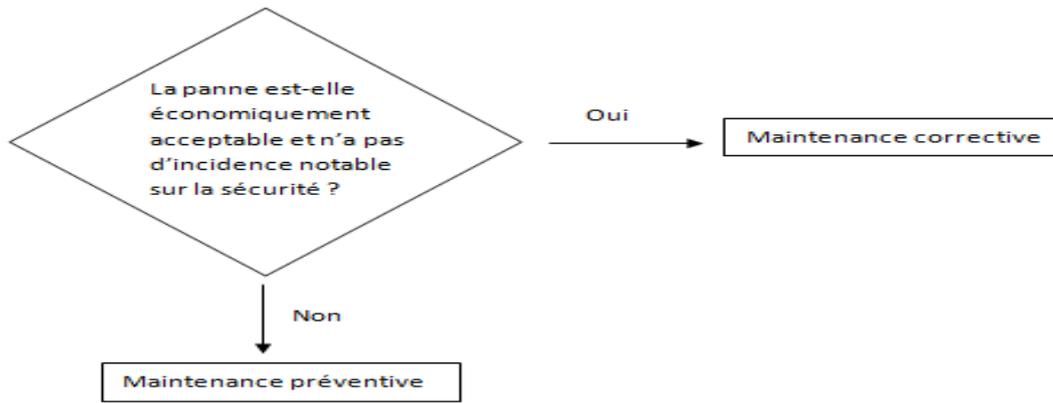


Figure 21: Choix de la maintenance [9]

#### *II.2.4.a La maintenance programmée :*

« Maintenance préventive exécutée selon un calendrier préétabli ou selon un nombre défini d'unités d'usage » (extrait norme NF EN 13306 X 60-319 [9]).

#### *II.2.4.b La maintenance systématique :*

« Maintenance préventive exécutée à des intervalles de temps préétablis ou selon un nombre défini d'unités d'usage mais sans contrôle préalable de l'état du bien » (extrait norme NF EN 13306 X 60-319 [9]).

#### *II.2.4.c Le matériel sous surveillance :*

Par observation visuelle, contact mécanique (vibration, qualité de l'huile, analyse non destructive...) ou par retour d'information électronique (alarmes, électronique, retour défauts sur régime de neutre...) vous pouvez anticiper une intervention de maintenance. Vous intervenez afin d'éviter une intervention. La première démarche majeure consiste à exploiter l'historique des pannes afin de mettre en place la surveillance [9].

#### ➤ **Maintenance conditionnelle :**

« Maintenance préventive basée sur une surveillance du fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement intégrant les actions qui en découlent »

(Extrait norme NF EN 13306 X 60-319 [9]).

➤ **Maintenance prévisionnelle :**

« Maintenance conditionnelle exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation de paramètres significatifs de la dégradation du bien » (*Extrait norme NF EN 13306 X 60-319* [9]).

II.2.5. **Maintenabilité :**

« Dans des conditions données d'utilisation, aptitude d'un bien à être maintenu ou rétabli dans un état où il peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, en utilisant des procédures et des moyens prescrits » (*extrait norme NF EN 13306 X 60-319*). C'est la probabilité que la maintenance d'un système S accomplie dans des conditions données, soit effectué sur l'intervalle  $[0, t]$  sachant qu'il est défaillant à l'instant  $t = 0$ .

$$M(t) = P \{S \text{ est réparé sur l'intervalle } [0, t] \}$$

II.2.6. **Fiabilité :**

« Aptitude d'un bien à accomplir une fonction requise, dans des conditions données, durant un intervalle de temps donné » (*extrait norme NF EN 13306 X 60-319*)

$$R(t) = P \{S \text{ non défaillant sur l'intervalle } [0, t] \}$$

II.2.7. **MTBF :**

MTBF : moyenne des TBF (temps de bon fonctionnement) :

$$MTBF = \frac{\sum_i^n TBF_i}{n}$$

II.2.8. **Disponibilité :**

« Aptitude d'un bien à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données, à un instant donné ou durant un intervalle de temps donné, en supposant que la fourniture des moyens extérieurs nécessaires est assurée » (*Extrait norme NF EN 13306 X 60-319*).

$$A(t) = P \{S \text{ non défaillant à l'instant } t\}$$

$$\text{Disponibilité} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

➤ **Problématique :**

La problématique est comment déterminer la périodicité de la maintenance préventive.

En général, la période d'intervention se détermine à partir :

- ❖ Des préconisations du constructeur ;
- ❖ De l'expérience acquise lors du fonctionnement ;
- ❖ De l'exploitation fiabiliste réalisée a partir d'un historique, d'essais ou des résultats fournis par des visites préventives initiales ;
- ❖ D'une analyse prévisionnelle de fiabilité (quantification d'un arbre de défaillance et diagramme RBD).

Par principe, la visite systématique est déclenchée juste avant l'apparition de la défaillance. La périodicité de visite est alors :

$$T = k \cdot \text{MTBF}$$

Avec k le coefficient d'optimisation ou paramètre économique. Plus qu'on choisit k petit, moins qu'il y a de maintenance corrective résiduelle. Mais si on intervient plus souvent, on augmente les coûts directs et le gaspillage.

Dans notre projet, on a choisi le facteur économique  $k = 0.8$ . Ce choix est justifié par notre intérêt à intervenir juste avant l'occurrence de la panne. Notre politique est basée également sur l'optimisation des coûts de maintenance et minimisation de la maintenance corrective résiduelle ainsi que la programmation de l'intervention juste avant la défaillance.

Calculons maintenant le temps moyen de bon fonctionnement : MTBF.

Notons bien que le MTBF n'est que l'espérance mathématique de la loi de fiabilité. Dans notre cas c'est la loi de Weibull de paramètres :  $\eta=38461$  et  $\beta=1,9$ .

Le MTBF est calculé par la formule suivante [9] :

$$\text{MTBF} = \left(1 - \frac{1}{\beta}\right)\eta$$

Donc :  
MTBF = 18250 Heures  
MTBF = 2ans 1 mois 10 jours

Et la périodicité de la maintenance préventive des pompes est de :  $T= 0,8 \times 18250$

$$T= 16425 \text{ Heures}$$
$$T= 1\text{an } 10 \text{ mois } 19 \text{ jours}$$

**II.3. Check-list de maintenance :**

La check-list est un élément permettant une plus grande efficacité, notamment de la maintenance préventive en assurant qu'aucune tâche à effectuer ne sera oubliée. Il faut concevoir les check-lists avec une grande rigueur de façon à n'oublier aucun élément pour assurer par la suite que tous les éléments soient inclus et qu'il n'y aura pas de dérives, particulièrement dans le cadre de vérifications de routine. Cependant le facteur humain fait que pour véritablement éviter les dérives, il est conseillé de changer régulièrement les procédures et de contrôler que les changements sont suivis afin de forcer les opérateurs à suivre la liste et ne pas exécuter la maintenance de façon routinière [10].

✓ **Check-list de la pompe :**

Equipement : POMPE ALIMENTAIRE

Code :

Date:

Partie: Pompe

Responsable :

<b>Point à examiner</b>	<b>Etat constaté</b>	<b>Commentaire</b>
Moyeu de labyrinthe		
Couvercle d'aspiration		
Couvercle de refoulement		
Roue directrice d'aspiration		
Roue directrice du 1er aux 9 ième étages		
Arbre de la pompe		
Les roues Mobiles		
Bague d'étanchéité		
Plateau de décharge		
Disque d'équilibre		
Manchon à dent d'accouplement		
Les coussinets		
Les vis de la chambre de refoulement		
Boulonnerie diverses		
Ecrou de serrage chemise avant		
Ecrou de serrage chemise arrière		
Filtre d'aspiration		

Tuyauterie et robinetterie circuit de refroidissement		
Chemise avant		
Chemise arrière		
Plateau d'accouplement		
Doigt d'accouplement		
Couronne d'accouplement		
Tuyauterie d'huile		
Flasques		
Fourreau		
Pompe en bout d'arbre		
pompe à huile de démarrage		
Jeu axial		
Réfrigérant d'huile		

Tableau 12 : Check-list de la pompe

✓ **Check-list du moteur :**

Equipement : POMPE ALIEMNTAIRE

Code :

Date :

Partie : Moteur

Responsable :

Point à examiner	Etat constaté	Commentaire
Isolement stator		
Bobinage statorique		
Isolement câble 6.6 kV		
Cales d'encoche		
Plaque à bornes		
Barre rotor		
Faisceau tubulaire		

Tableau 13: Check-list du moteur

**II.4. Fiche de vie :**

Elle permet d'enregistrer toutes les informations relatives à l'équipement en question telles que le nom du fournisseur, son numéro de série, ses caractéristiques techniques, les instructions techniques correspondantes, toutes les actions de maintenance etc [10]

Equipement : Pompe Alimentaire

Référence :

Date de fabrication :

Affectation :

Caractéristiques techniques :

Date de la mise en marche :

Document associé :

Historique des actions majeures :

Date	Action	Responsable	Durée	PDR	Motif d'action	Commentaire

**Tableau 14: Fiche de vie de la pompe alimentaire**

**II.5. Planification de la maintenance :**

A travers le calcul du MTBF, nous avons conclu que la périodicité de la maintenance préventive est d'environ 22 mois, et après avoir élaboré les check-lists de maintenance ainsi que la fiche de vie relative à l'équipement, il reste maintenant à définir le temps d'exécution de la maintenance. Après une discussion avec le chef de service Mécanique, responsable de la maintenance, nous avons adopté une période de 2 mois comme étant un temps de révision totale de la pompe, une durée dans laquelle on doit régler tous les problèmes relatifs à l'alignement et au réglage des jeux.

Voir la fiche de planification en annexe A2.

### **Conclusion :**

Nous sommes arrivés à définir une politique de maintenance basée sur la fiabilité en suivant le cheminement suivant :

- Nous avons mené tout d'abord une étude AMDEC qui a débouché sur la décomposition du système et l'identification des modes de défaillance et de leurs criticités en termes de chaque composant.
- Ensuite, nous avons procédé à la modélisation du système pour pouvoir en dégager la loi de fiabilité afin de calculer le MTBF puisqu'on ne dispose d'aucun historique des pannes.
- Le MTBF nous a par la suite servi à la déduction de la périodicité de maintenance. Après, on a défini le temps de révision de chaque pompe qui nous a servi à établir le planning de la maintenance.
- On a finalement dressé les fiches qui vont nous aider pour le suivi de la maintenance à savoir les check-lists et la fiche de vie de l'équipement pompe.

Après avoir détaillé la solution d'élaboration d'une politique de maintenance préventive, on va détailler la deuxième solution qui est l'automatisation des pompes.

### **III. Etude de l'armoire de commande :**

Dans cette deuxième partie, nous allons présenter une étude de l'armoire de commande.

En premier lieu, on a procédé par la description des armoires qui existent dans la société pour justifier le besoin de penser à une solution d'automatisation, ensuite, nous avons analysé la solution tout en commençant par une analyse fonctionnelle, une méthode qui nous a permis d'extraire les fonctions de service et de proposer des solutions pour ensuite procéder au choix convenable pour désigner les différents composants de l'armoire (l'unité de traitement, le type de relais ).

#### **III.1. Description de l'armoire de commande :**

##### **Situation et rôle :**

L'armoire de commande est placée dans une salle de commande, dans un milieu qu'on peut juger bon, mais on a remarqué tout de même qu'il y a un problème au niveau de l'installation, celle-ci étant très ancienne et puisqu'il arrive parfois qu'un relais qui doit déclencher à un

moment bien donné, ne fonctionne pas. D'autant plus, l'installation présente de l'encombrement à l'intérieur, ce qui est traduit par des problèmes de déclenchement intempestifs de la pompe ( un court-circuit phase-terre à cause de la poussière) .

On a remarqué également qu'il y a une absence d'un système de signalisation efficace des défauts (elles rassemblent les défauts en une seule sortie de signalisation) ce qui induit des temps d'indisponibilité excessifs dus à la recherche de la cause de défaut.

En ce qui concerne son rôle, elle recueille les informations issues des capteurs, afin de commander les actionneurs, et ceci à travers des composants appelés « pré actionneurs ».

L'actionneur est la pompe alimentaire multicellulaire, alors que le pré actionneur est représenté par un interrupteur qui contient trois bobines pour commander et contrôler la pompe sachant qu'il ya deux pompes, une en service et l'autre en réserve et que chaque pompe possède son propre armoire de commande et que entre ces deux pompes, il existe un circuit de verrouillage automatique de réserve.

Ceci dit, les problèmes qui sont bel et bien observés à l'intérieur de l'armoire sont :

- Câbles non repérés.
- Encombrement.
- Absence des normes de câblage et de sécurité.

La conception de la nouvelle armoire doit tenir compte de toutes les contraintes d'environnement, mais surtout remédier aux problèmes rencontrés dans l'ancienne installation.

#### ***III.2. Analyse fonctionnelle :***

L'analyse fonctionnelle est utilisée au début d'un projet pour créer (conception) ou améliorer (reconception) un produit. Elle est un élément indispensable à sa bonne réalisation. On détermine, par exemple, les fonctions principales, les fonctions secondaires et les fonctions contraintes d'un produit. Il est important de faire ce recensement afin d'effectuer un dimensionnement correct des caractéristiques du produit. Lors de l'analyse fonctionnelle, chaque fonction doit être recensée, caractérisée, ordonnée, hiérarchisée et valorisée.

III.2.1. Mise en évidence du but :

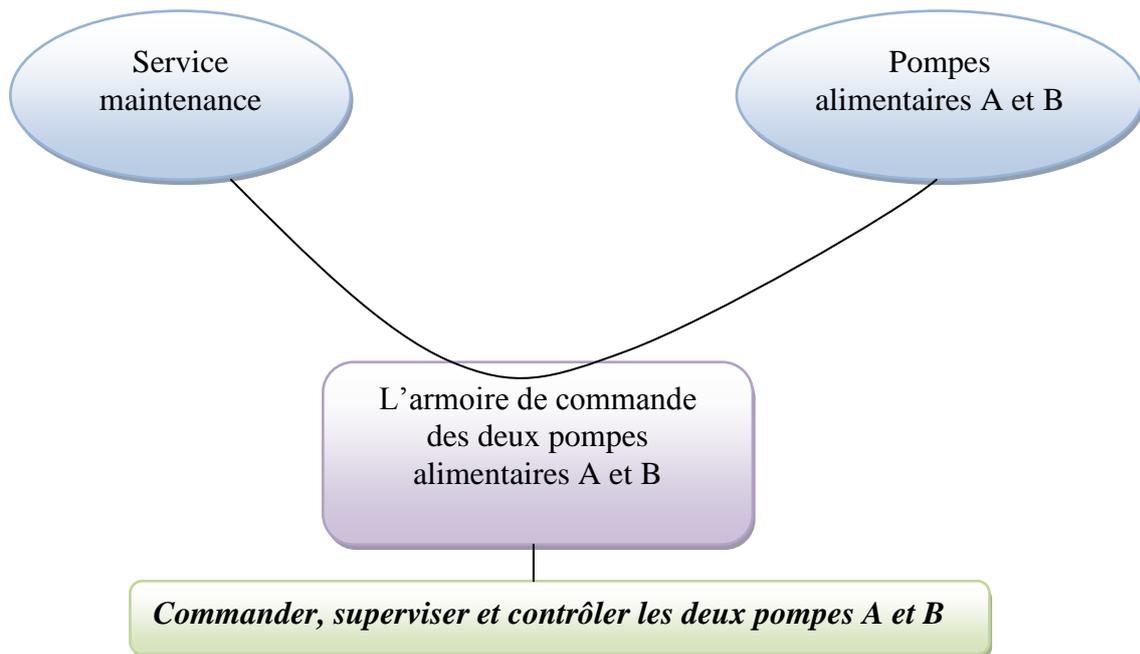


Figure 22: Expression du besoin d'automatiser les pompes

III.2.2. Définition des milieux extérieurs :

III.2.2.a Diagramme de Pieuvre

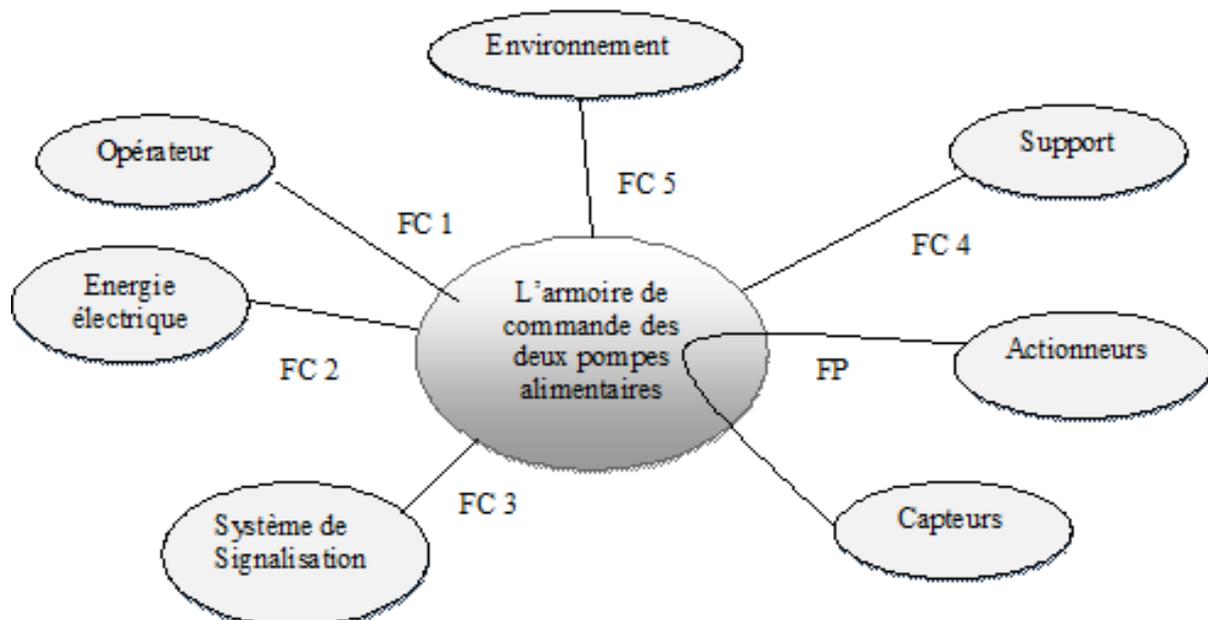


Figure 23: Diagramme de Pieuvre relatif à l'automatisation des pompes

*III.2.2.b Nomenclature des fonctions :*

- FP** : Permettre de commander et de contrôler les actionneurs à partir des informations issues des capteurs.
- FC1** : S'interagir avec l'opérateur.
- FC2** : S'alimenter par l'énergie électrique
- FC 3** : Permettre le contrôle et la surveillance de l'installation
- FC4** : Être bien placé sur le support
- FC5** : Résister à l'environnement

<b>Fonction</b>	<b>Critères</b>	<b>Niveau</b>	<b>flexibilité</b>
<b>FP</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temps de réponse</li> <li>• Temps d'acquisition des données</li> <li>• Facilité de commande et de contrôle</li> <li>• Aptitude de recevoir des informations en même temps</li> <li>• Aptitude d'exécuter plusieurs actions en même temps.</li> </ul>	_____	
<b>FC1</b>	Facilité de manipulation		
<b>FC2</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tension, puissance</li> </ul>	<b>6.6 KV AC</b> <b>50 HZ</b>	
<b>FC3</b>	_____	_____	
<b>FC4</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adaptabilité</li> </ul>	_____	
<b>FC5</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Etanchéité</li> </ul>	_____	

**Tableau 15: Appréciation des fonctions de service de l'automatisation du système**

III.2.3. Analyse du besoin :

**« Commander et contrôler les deux pompes alimentaires »**

***Pourquoi le produit existe-t-il ?***

Pour permettre la commande et le contrôle des deux pompes alimentaires avec leurs propres pompes de graissage

***Qu'est ce qui permet l'évolution du produit ?***

La nécessité de contrôler et de commander des machines.

***Qu'est ce qui permet la disparition du produit ?***

- Apparition des systèmes de commande et contrôle plus performant.
- Disparition du besoin de commander et de contrôler.

III.2.4. Diagramme FAST :

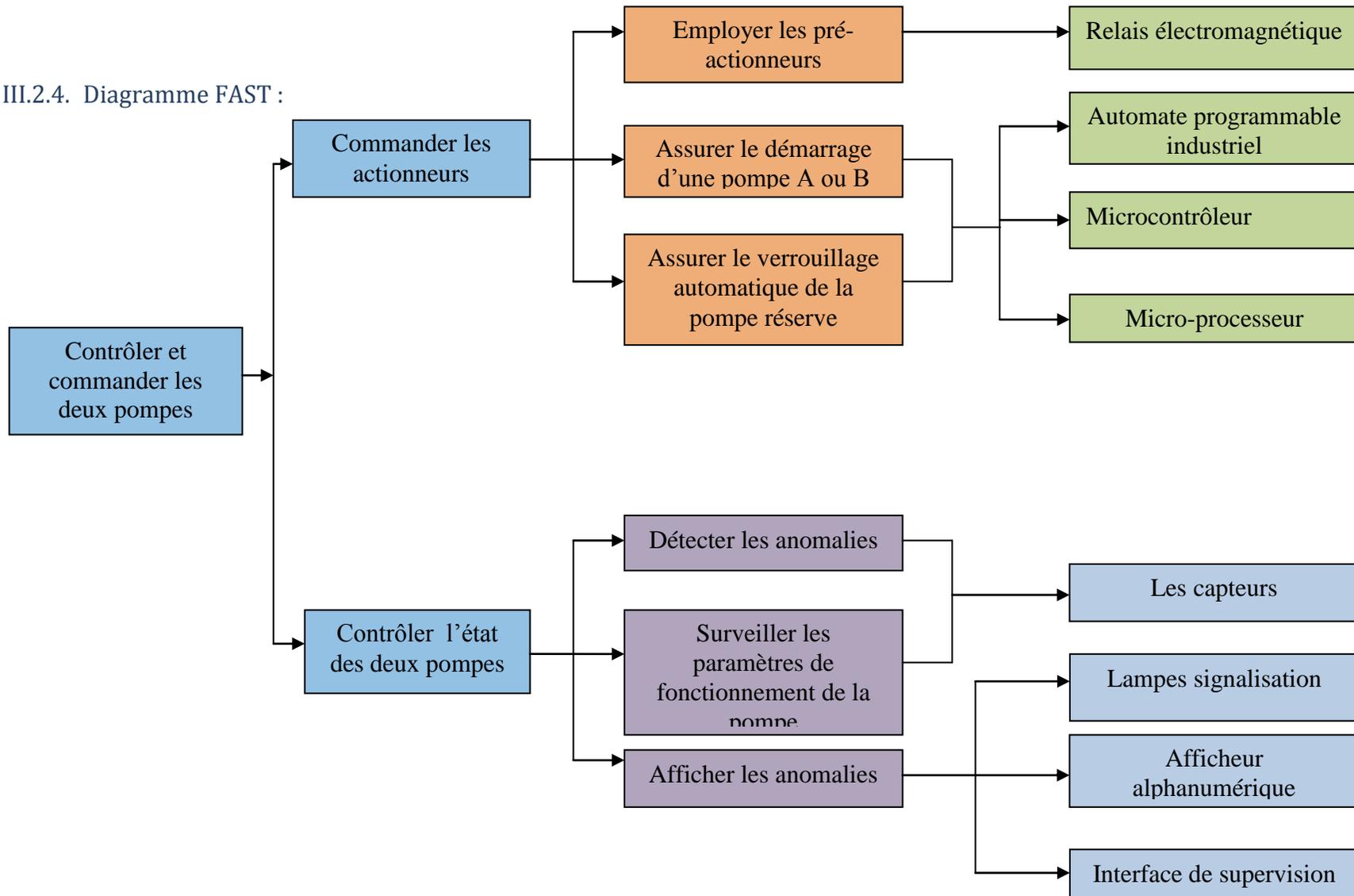


Figure 24: Diagramme FAST

### III.3. Proposition et choix des solutions :

Rappelons que l'armoire de commande qu'on a conçue pour la commande des deux pompes alimentaires récupère les informations en provenance des capteurs et des clés de commande et envoie les ordres de commande aux prés actionneurs.

La méthode d'analyse fonctionnelle nous a permis d'extraire les solutions techniques internes de l'armoire de commande.

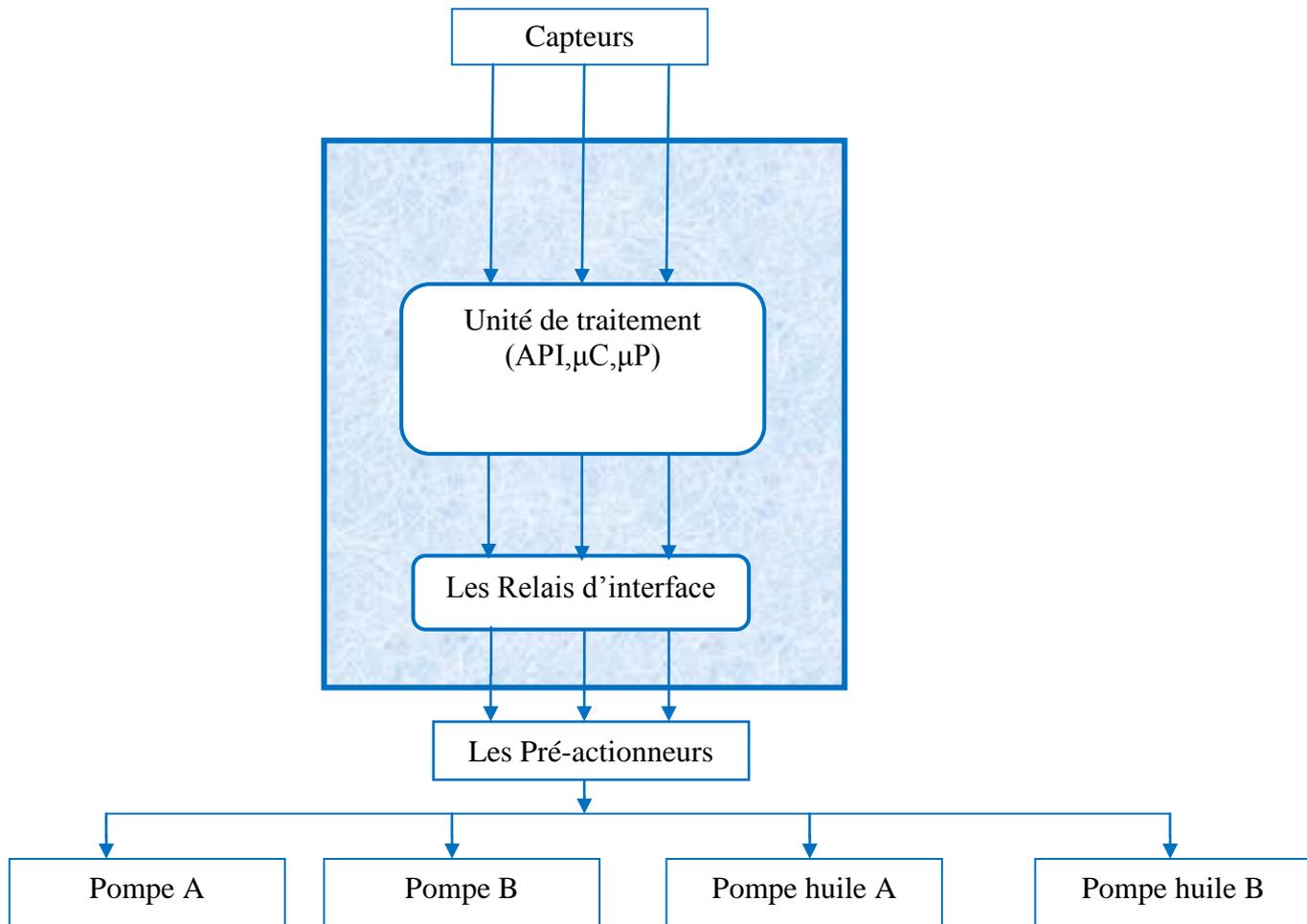


Figure 25: Architecture des solutions possibles

### III.4. Dimensionnement et choix des composants :

#### III.4.1. Choix du système d'affichage des défauts :

Le système d'affichage des défauts permet à l'opérateur de visualiser les défauts de la pompe à partir des informations issues des capteurs.

Trois solutions sont envisagées pour ce système :

- Des afficheurs alphanumériques ;
- Les lampes de signalisation ;
- Une Interface de supervision sur ordinateur.

Ce tableau montre les avantages et les limites des solutions proposées :

Solution	Avantages	Inconvénients
Afficheurs Alphanumériques	-Coût faible  -Possibilité d'avoir un historique des défauts. -Extension facile (possibilité d'ajouter d'autres défauts)	-Un problème dans l'afficheur provoque - l'indisponibilité du système. -Difficulté de manipulation par les opérateurs. -Maintenance délicate.
Lampe de signalisation	-Coût faible. -Facilité de mise en œuvre -Utilisation facile. -Disponibilité. -Facilité de maintenance -Consultation des défauts sur place.	Extension difficile. Encombrement.
Interface sur ordinateur	Possibilité d'archivages d'information.	-Nécessite l'utilisation d'un matériel spécial (réseaux, carte de communication) -Coût relativement élevé. -Nécessite une formation pour le personnel.

Tableau 16: Avantages et inconvénients de chaque élément de la solution

La CTJ possède des afficheurs alphanumériques ABB pour l'affichage de température, de pression et de débit, et elle dispose sur des lampes de signalisation dans le but d'afficher les anomalies. Dans notre cas nous allons nous concentrer sur l'interface de supervision qui va nous permettre de surveiller les pompes en continu car elles présentent le cœur de l'usine.

III.4.2. Choix de l'unité de traitement :

Définition des entrées et des sorties :

Afin de contrôler le fonctionnement des organes de la pompe, un ensemble de capteurs est mis en disposition dans l'armoire de commande.

Pour un choix judicieux de l'unité de traitement et de commande, il paraît logique de déterminer la nature et le nombre des capteurs et des actionneurs.

Les Capteurs :

Capteur	Nature de signal de sortie	quantité
Capteur de température des paliers(RTD)	Analogique	8
Manocontact à cadran de pression	TOR	10
les relais pour minimum de tension	TOR	2
Capteur de débit	Analogique	2
Relais de sécurité	TOR	3
Capteur de vibration	Analogique	20
Fin de course des vannes	TOR	2
Les arrêts d'urgence	TOR	4
Les clés de commande	TOR	6
Le commutateur	TOR	4

Tableau 17: Liste des entrées

Les actionneurs :

Les actionneurs	Caractéristiques	quantité
Moteur asynchrone pour pompe alimentaire	P=2MW U=6.6 KV	2
Moteur asynchrone pour pompe a huile	P=kW U=0.4 KV	2
Vannes motorisées recirculation	P=KW U=0.4 KV	2

Vannes motorisées refoulement	P=KW U=0.4 KV	2
Lampes de signalisation	P=4W U=220V	16

Tableau 18: Liste des actionneurs

Nous remarquons que les actionneurs n'ont pas les mêmes caractéristiques, c.-à-d. des tensions de fonctionnement différentes. Pour cela l'armoire de commande va agir sur des prés actionneurs comme il est illustré dans la figure ci-dessous :

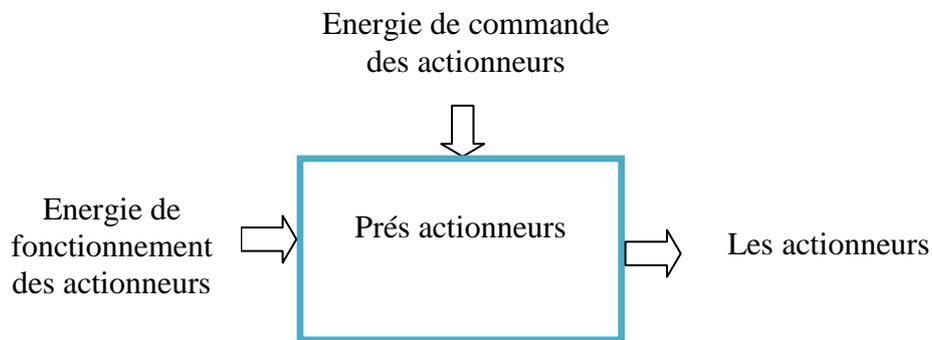


Figure 26: Fonctionnement des pré-actionneurs

Les critères de choix :

Le choix de l'unité de traitement et de commande repose sur plusieurs critères.

Dans notre cas, le choix sera basé sur les critères suivants :

- Le coût d'investissement ;
- L'adaptation au milieu industriel ;
- L'extensibilité ;
- La facilité de la mise en œuvre et à la maintenance.

Choix de l'unité :

III.4.3. Analyse multicritères :

C'est une analyse qui vise à expliciter une famille cohérente de critères pour permettre de concevoir, justifier et transformer les préférences au sein d'un processus de décision dans le but d'aider à prendre une décision ou à évaluer plusieurs options dans des situations où aucune possibilité n'est parfaite et aussi Permettre de concilier les aspects économiques, de design, technologiques, environnementaux, sociaux.

Exemples d'application :

- Choix d'un site d'aménagement
- Choix d'un moyen de transport
- Décision d'investissement
- Choix de l'utilisation d'une
- technologie ou d'un système d'information
- Sélection de fournisseurs

Pour le choix de l'unité de traitement, nous utilisons la méthode WSM en se basant sur les critères décrits précédemment.

Méthode WSM (Weight Sum Method) :

**Étape 1** : Établir une liste des critères à considérer pour évaluer chaque alternative.

**Étape 2** : Un poids est assigné à chaque critère pour refléter son importance relative.

**Étape 3** : À partir d'une échelle d'évaluation, chaque décision est assignée d'une valeur qui reflète le degré avec lequel l'option répond au critère.

$e_{ij}$  = évaluation du critère  $i$  pour l'alternative  $j$ .

**Étape 4** : Le pointage de chaque alternative est calculé.

$s_j$  = pointage de l'alternative  $j$

**Étape 5** : Ordonner les alternatives du pointage le plus élevé au moins élevé.

Maintenant, nous allons appliquer cette méthode sur notre sujet et nous allons commencer à partir de l'étape 2 car les critères ont été déjà évoqués.

Poids des critères :

Critère	Importance	Poids ( $p_i$ )
▶ <b>Coût</b>	moyennement important	3
▶ <b>Adaptation au milieu industriel</b>	Très important	5
▶ <b>Extensibilité</b>	Très important	5
▶ <b>La facilité de la mise en œuvre et</b>	assez	4

à la maintenance important

Tableau 19: Poids relatifs à chaque critère de l'analyse multicritères

Évaluation des critères :

Critère	Alternatives		
	API	$\mu C$	$\mu P$
➤ Coût	5	9	7
➤ Adaptation au milieu industriel	9	4	3
➤ Extensibilité	8	3	3
➤ La facilité de la mise en œuvre et à la maintenance	7	4	3

Tableau 20: Evaluation des critères par rapport à chaque solution

Tableau des choix :

Le tableau ci-après présente les différentes solutions envisagées pour notre unité de traitement, la solution retenue est celle qui a obtenu le score maximal.

Critères	Poids	Alternatives					
		API		$\mu C$		$\mu p$	
		Évaluation	Score	Évaluation	Score	Évaluation	Score
	$P_i$	$e_{ij}$	$P_i e_{ij}$	$e_{ij}$	$P_i e_{ij}$	$e_{ij}$	$P_i e_{ij}$
le coût	3	5	15	9	27	7	21
l'adaptation au milieu	5	9	45	4	20	3	15

industriel							
L'extensibilité	5	8	40	3	15	3	15
La facilité de mise en œuvre et à la maintenance	4	7	35	4	16	3	15
pointage			135		78		66

Tableau 21: Tableau des scores pour les solutions

Ce tableau du choix nous a permis de choisir l'API comme unité de traitement et de commande puisqu'il répond le mieux à nos critères.

### III.5. *Choix du type d'automate :*

#### *Généralités sur les automates :*

Voir Annexe A6.

#### *Choix de la marque :*

Dans notre cas, nous avons opté pour la marque SIEMENS pour les raisons suivantes :

- Après avoir questionné le personnel de l'entreprise, il s'est avéré qu'il préfère la marque Siemens et cela est dû au fait que Siemens est le leader mondial en tout ce qui concerne les technologies d'automatisation ;
- On peut dire aussi que l'automate Siemens est plus performant parce qu'il offre une plateforme universelle pour des applications avec des architectures centralisées et décentralisées, orientée sécurité motion control, aussi il peut également s'intégrer dans des solutions compactes avec HMI ou dans des têtes de station pour traitement intelligent décentralisé.
- On peut dire qu'il se caractérise par sa simplicité de montage et sa grande densité d'implantation avec des modules au modulo 32 permettent un gain de place appréciable dans les armoires électriques.

- La raison principale qui justifie ce choix réside dans le fait que le personnel possède une expérience en termes d'automates Siemens parce que la compagnie a déjà automatisé la turbosoufflante à l'aide d'un automate Siemens.

**Choix des composants :**

**Automate programmable industriel : (Figures 28 et 29)**

L'unité centrale est le cœur de l'automate programmable industriel, elle comporte un microprocesseur et de la mémoire qui permettent de définir sa capacité.

Les critères essentiels de choix d'une unité sont :

- La capacité de traitement du processeur.
- Le besoin ou non d'un port de communication réseau.
- Le type des entrées et des sorties : les entrées et les sorties peuvent être :
  - Logiques : entrées ou sorties tout ou rien (TOR)
  - Analogiques : entrées ou sorties (4 à 20 mA ou -10 à +10V).
  - Numérique : comptage rapide sur un codeur.
- le nombre des entrées/sorties : c'est un paramètre primordiale à prendre en compte pour choisir un automate, il y pourra avoir un bloc de base et des extensions ; ou une unité et des cartes des entrées/sorties.

Les caractéristiques exigées par la partie commande sont :

- Capacité de traitement du processeur : unité de traitement moyenne, mémoire de sauvegarde du programme de type EEPROM.
- Types et nombre des entrées/sorties :
  - Les entrées : 32 entrées TOR et 30 entrées analogiques
  - Les sorties : 25 sorties TOR

En se basant sur ces critères, on a décidé de choisir la référence suivante :

***CPU314C-2 DP(1)/6ES7 314-6CF00-0AB0***

Aussi, nous allons ajouter des cartes d'entrées, et des cartes de sorties.

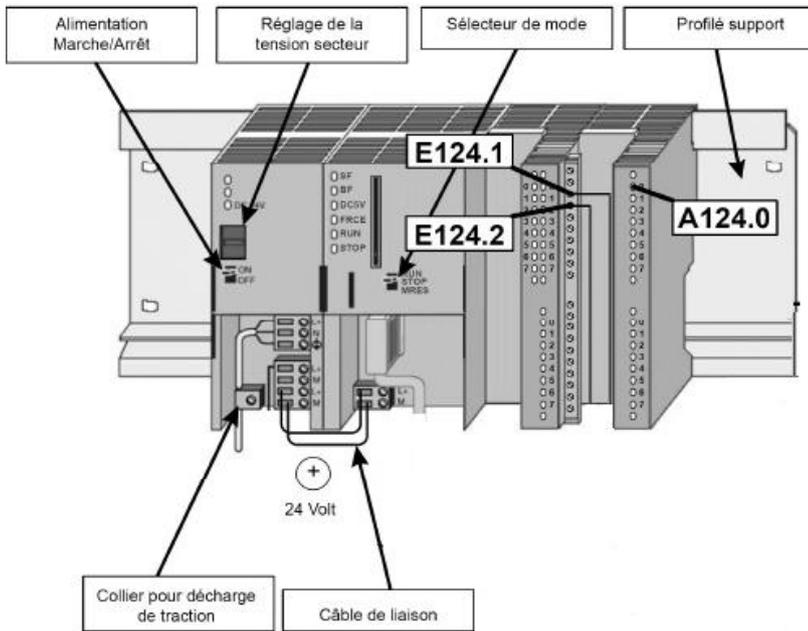


Figure 27: CPU 314 C-2DP [11]



Figure 28: CPU 314C de la marque Siemens [11].

Le tableau 22 montre le nombre et les caractéristiques de chaque bloc :

BLOC	quantité	Référence	Caractéristiques
unité	1	6ES7 314-6CF00-0AB0	24 entrées TOR 16 sorties TOR 5 entrées analogiques 2 sorties analogiques Mémoire de travail 48 ko multi-rangées jusqu'à 31 modules Ports intégrés de communication MPI+ DP
Carte d'entrées/sorties	1	6ES7327-1BH00-0AB0	8 entrées et 8 sorties TOR
CARTE d'entrée analogique	6	6ES7 331-7RD00-0AB0	6 entrées 4-20 mA

Tableau 22: Références des éléments d'API choisie

**Relais électromagnétique d'interface :**

Le relais électromagnétique d'interface permet une isolation électrique entre les entrées et les sorties de l'automate et ceux du système.

Il permet de protéger l'automate lors d'un problème dans un capteur ou bien un actionneur.

Pour cette raison nous allons utiliser ce composant dans le câblage de l'armoire de commande.

La partie commande nécessite :

- 24 relais d'interface embrochables 24V, utilisés pour la protection des sorties d'API,

On choisit la référence suivante : RT42042 de la marque siemens.

**Bloc d'alimentation :**

Nous choisissons un module d'alimentation, qui peut supporter la charge maximale des modules d'automate. Le courant absorbé par un relais d'interface est  $I_1 = 0.5 \text{ A}$

Seul dans le cas d'essai lampes, nous aurons tous les relais en service, le courant absorbé par les relais sera :  $I_t = 0.5 * 24 = 12 \text{ A}$

Donc le courant maximal qui peut être absorbé par les composants de l'API est  $I_t = 16.5 \text{ A}$ .

Donc nous aurons besoin d'une alimentation stabilisée de caractéristiques suivantes :

Tension d'entrées : 230V AC 50Hz

Tension de sortie : 24V CC/16A

**Armoire de commande :**

Dans cette partie, nous allons choisir une armoire qui va contenir tous ces composants.

La gamme des coffrets de la société INGELEC nous offre une armoire de dimensions 1200\*800\*380, celle-ci est suffisante pour contenir les composants de l'armoire.

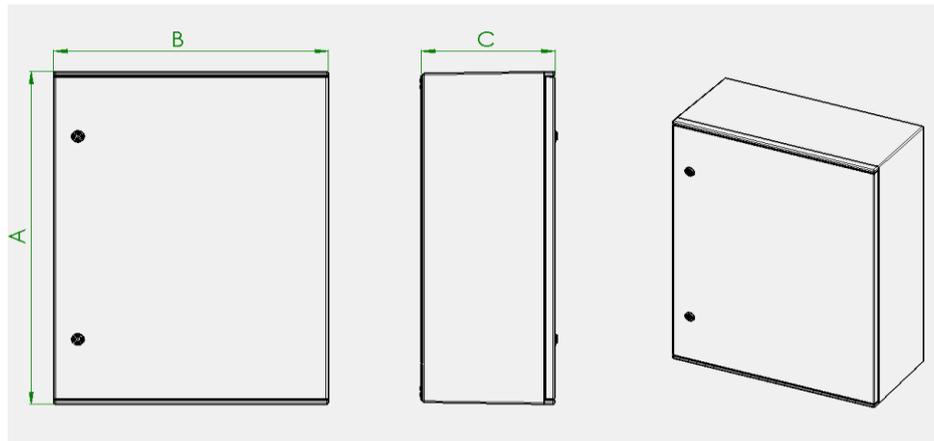


Figure 29: Dimensions de l'armoire de commande

Référence Produit	Désignation produit	A	B	C
CPR86300	Coffret Polybox 800x600x300 avec clé Ronis	820	610	297

Figure 30: Caractéristique armoire de commande

### III.5.1. Aperçu sur la solution :

#### Schémas électriques :

Dans cette partie, nous allons présenter un aperçu général de la solution envisagée. D'après l'étude précédente, notre armoire va comporter :

- Des relais électromagnétiques d'interfaces (Entrées et sorties) ;
- Une alimentation ;
- Un automate programmable industriel ;
- Des lampes de signalisations;
- Des disjoncteurs ;
- Des câbles de connexion entre ces composants.

III.5.2. Conception 3D de la solution :

**Dessin de l'armoire de commande :**

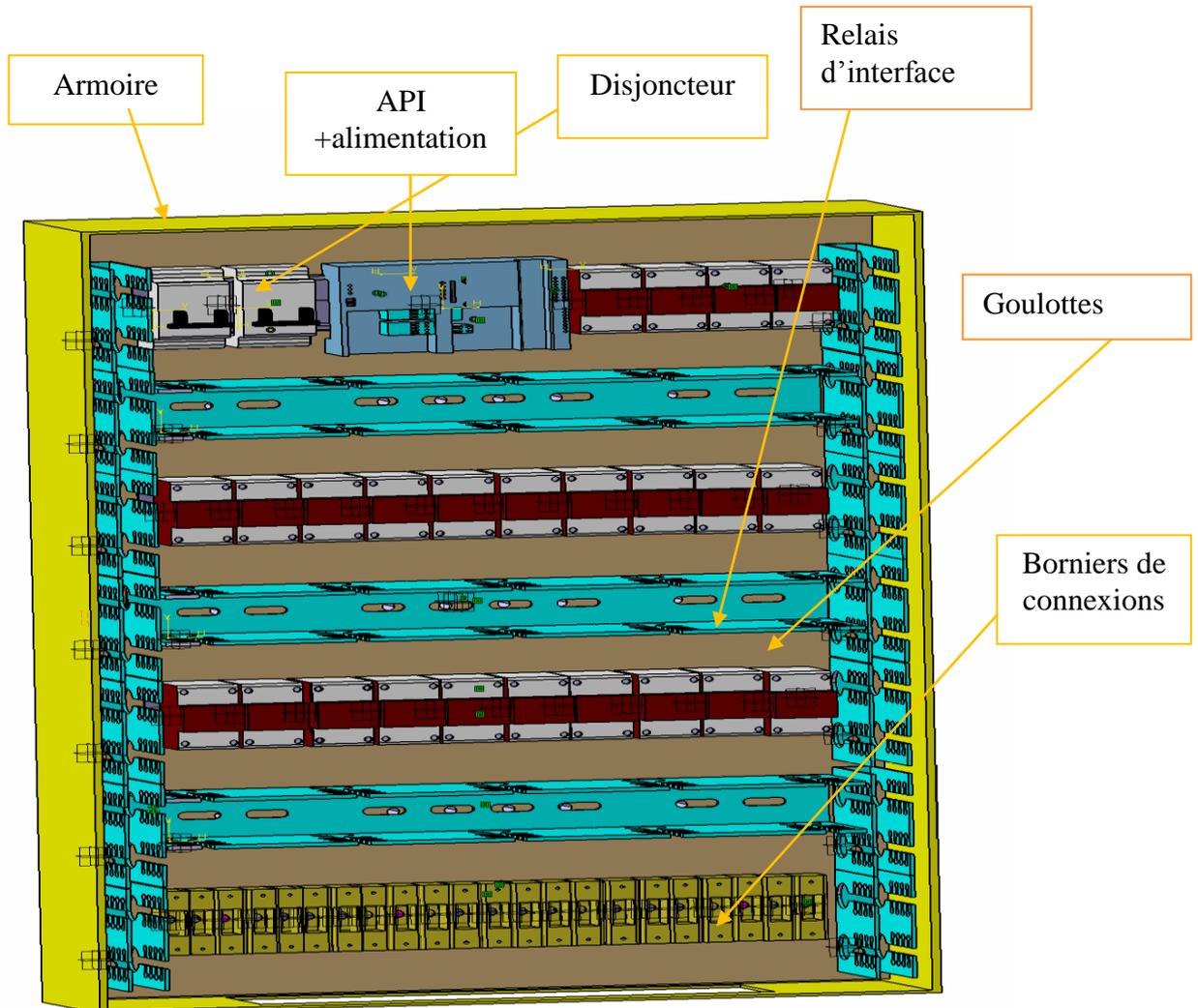


Figure 31: Vue en 3D de l'armoire de commande

La porte de l'armoire contient les lampes de signalisation et les boutons poussoir ainsi que les afficheurs de température.

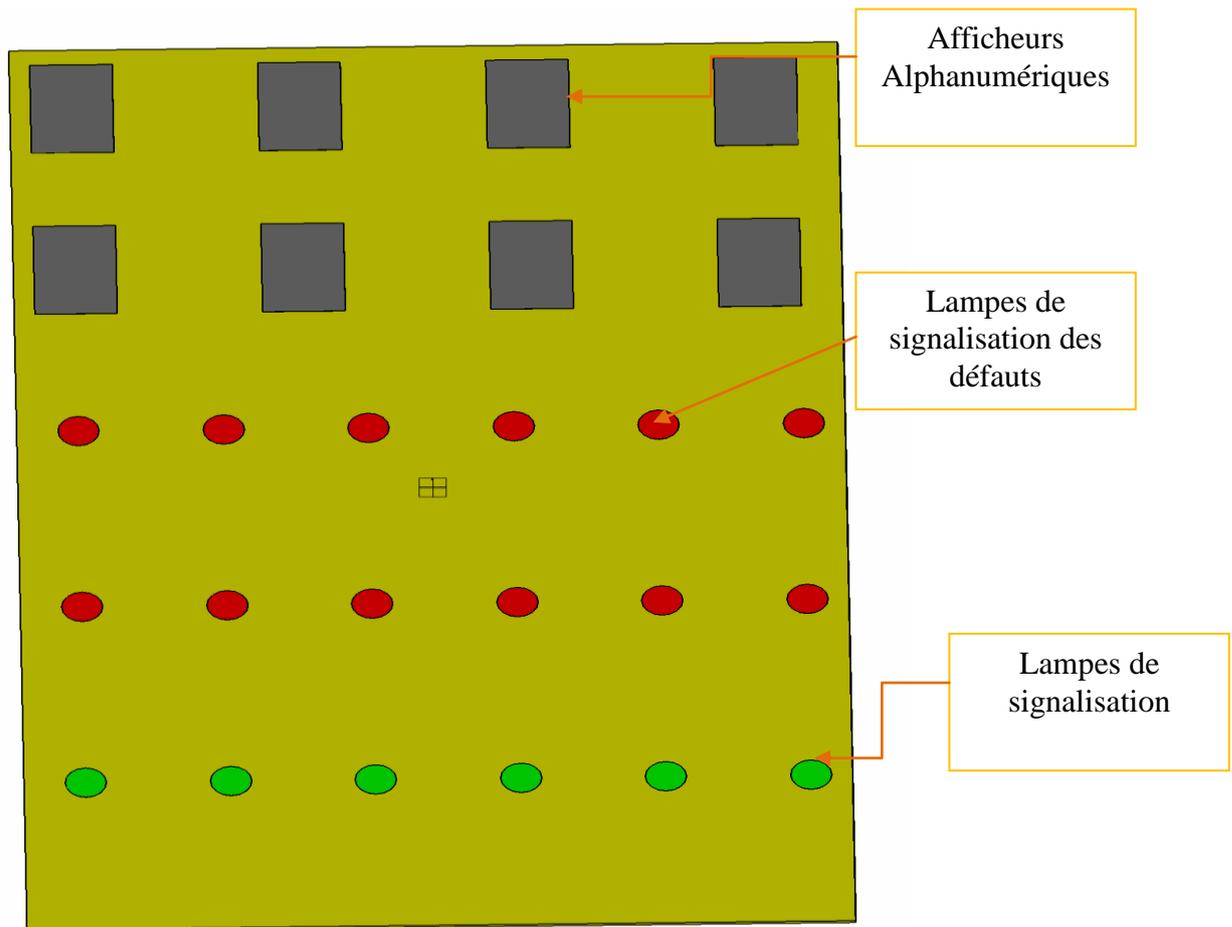


Figure 32: La porte de l'armoire de commande

### *Conclusion :*

L'analyse fonctionnelle nous a ramené à reconcevoir l'armoire de commande en renouvelant l'automatisme actuellement câblé par un automatisme programmable et plus précisément l'utilisation d'un automate programmable industriel.

A cette étape, nous arrivons à concevoir la partie matérielle par un choix judicieux des composants de l'armoire de commande, et l'élaboration des schémas de câblage.

Le chapitre suivant sera consacré à la programmation de l'automate et à la conception de l'interface de supervision.

## Chapitre 4

### *Automatisation et Interface de supervision*



*Dans ce chapitre, il sera question d'expliciter la solution d'automatisation. A noter que nous avons choisi l'automate programmable industriel comme étant un outil d'automatisation, et la programmation va donc consister à traduire le cycle de fonctionnement en un enchainement d'événements temporels, et en un langage bien spécifique. Il s'agit donc pour nous, d'établir les Graficets niveau un de l'automatisme des pompes alimentaires complétés par le programme de l'automate en langage LADDER, ainsi que d'élaborer une interface de supervision des pompes alimentaires.*

## **I. Expression du Cahier des charges :**

Dans le but de faciliter la compréhension du processus donné dans le cahier des charges, on va le représenter à l'aide d'un langage normalisé fonctionnel graphique destiné à décrire les différents comportements d'un automatisme séquentiel : il s'agit du **GRAFCET** (Graphe Fonctionnel de Commande, Etapes Transitions). Cet outil aide à la réalisation et il apporte une aide appréciable lors de l'exploitation de la machine pour les dépannages et les modifications.

Le **GRAFCET** représente l'évolution d'un cycle comprenant des étapes et des transitions. Il comporte deux types de représentations :

La représentation fonctionnelle ou niveau 1.

La représentation technologique ou niveau 2.

### **I.1. GRAFCET niveau 1 :**

La représentation fonctionnelle donne une interprétation de la solution retenue pour un problème posé, en précisant la coordination des tâches opératives. Elle permet une compréhension globale du système.

### **I.2. Grafcet niveau 2 :**

La représentation technologique ou de niveau 2 donne une interprétation en tenant compte des choix technologiques relatifs à la partie de commande de l'automatisme ; le type et la désignation des appareillages (S1, KM, Ka...).

- Dans l'automatisme de système de fonctionnement des pompes alimentaires, nous allons élaborer le GRAFCET niveau 1 du système, après, nous allons transformer les schémas de commande des pompes en langage LADDER (langage à contact), ainsi nous allons assurer le fonctionnement normal de notre installation tout en respectant les consignes d'exploitation des pompes alimentaires.

### **I.3. Cahier des charges :**

Pour les actionneurs, on a deux ensembles A et B ;

Ensemble A : Pompe alimentaire A, pompe de graissage A.

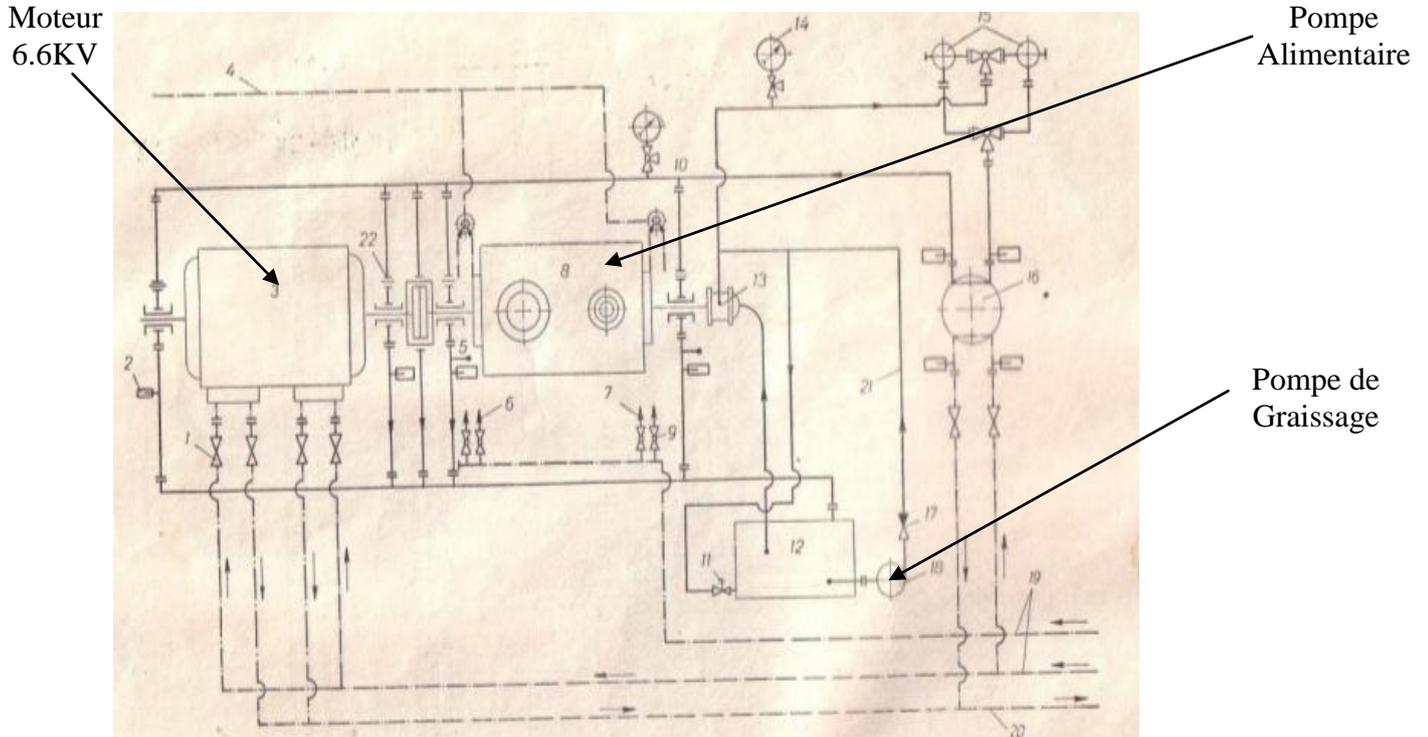
Ensemble B : Pompe alimentaire B, pompe de graissage B.



Nous remarquons que les ensembles sont identiques, c'est pour cette raison qu'on va exploiter un seul ensemble A ou B car le fonctionnement de chaque ensemble est indépendant de

l'autre. Mais cela n'est pas toujours vrai, car il existe un verrouillage automatique entre les deux ensembles en cas de chute de pression d'eau ou de panne dans la pompe alimentaire qui est en service.

La figure ci-dessous explique notre installation :



**Figure 33: Circuit de graissage de la pompe**

Au départ, les deux ensembles sont en arrêt.

- On choisit de démarrer l'ensemble A, alors, nous démarrons la pompe à huile A via une clé de commande ;
- Si la vanne de recirculation A est ouverte, et si la pression de graissage atteint 0.5 bar, nous démarrons la pompe alimentaire A via une clé de commande .La pompe à huile A doit s'arrêter après 5min juste après le démarrage de la pompe alimentaire A ;
- Si la pression de graissage chute au-dessous de 0.3 bar, c'est le même cycle pour l'ensemble B.

I.3.1. Verrouillage automatique :

L'ensemble B se met en état de marche s'il y a eu un déclenchement intempestif dans la pompe alimentaire A suite à un défaut ou dans le cas de chute de pression au refoulement au-dessous de 135 bar et on aura le même cycle pour l'ensemble B.

Le Grafcet suivant montre les différentes phases de fonctionnement global du système :

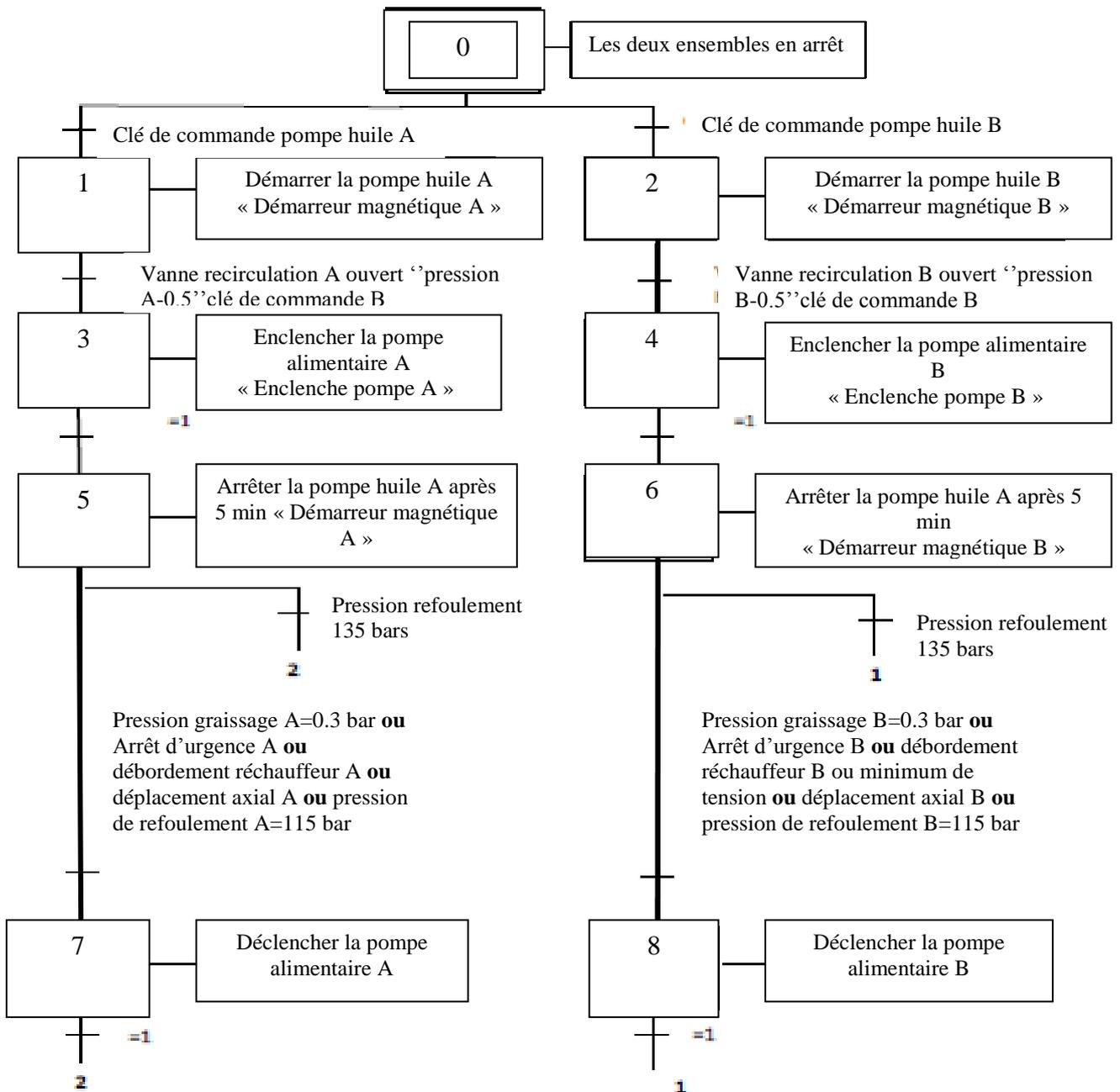


Figure 34: Grafcet de fonctionnement des pompes

#### *I.4. Programmation de l'automate :*

La programmation de l'automate nécessite l'utilisation du matériel suivant :

- Un ordinateur ou console de programmation ;
- Un logiciel de programmation ;
- Un câble de transferts de données.

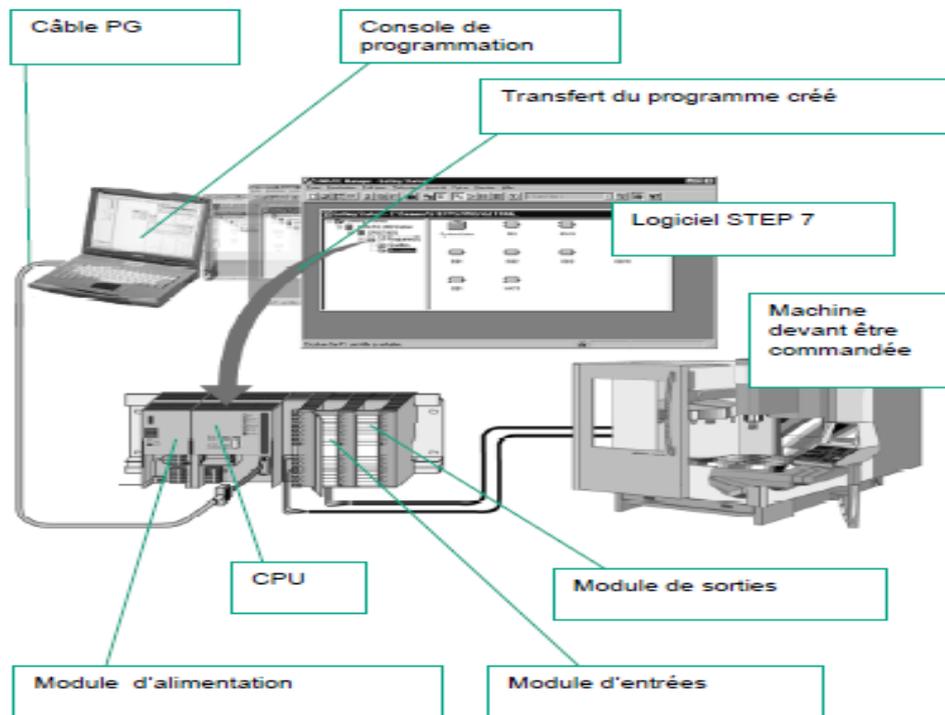


Figure 35: Les différents composants pour la commande d'une machine

#### *I.5. Logiciel de programmation STEP 7 :*

##### *I.5.1. Tâches fondamentales :*

La mise en place d'une solution d'automatisation avec STEP 7 nécessite la réalisation de tâches fondamentales. La figure 36 indique les tâches à exécuter dans la plupart des projets et les classes selon la marche à suivre.

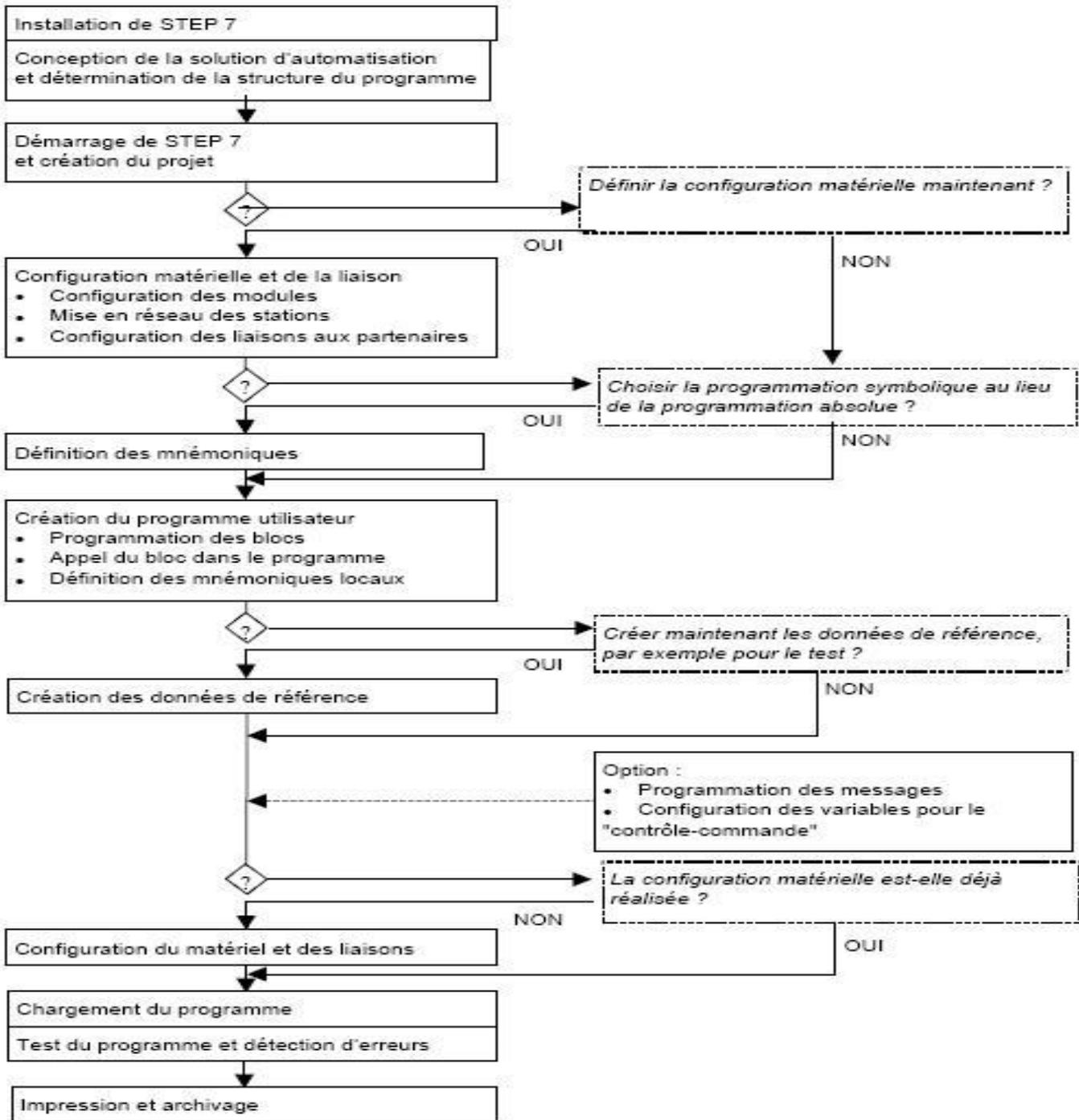


Figure 36: Tâches fondamentales pour la mise en place d'une solution d'automatisation avec STEP7

### I.5.2. Gestionnaire de projets SIMATIC :

Le gestionnaire de projets SIMATIC gère toutes les données relatives à un projet d'automatisation, quel que soit le système cible (S7/M7/C7) sur lequel elles ont été créées. Le gestionnaire de projets SIMATIC démarre automatiquement les applications requises pour le traitement des données sélectionnées ;

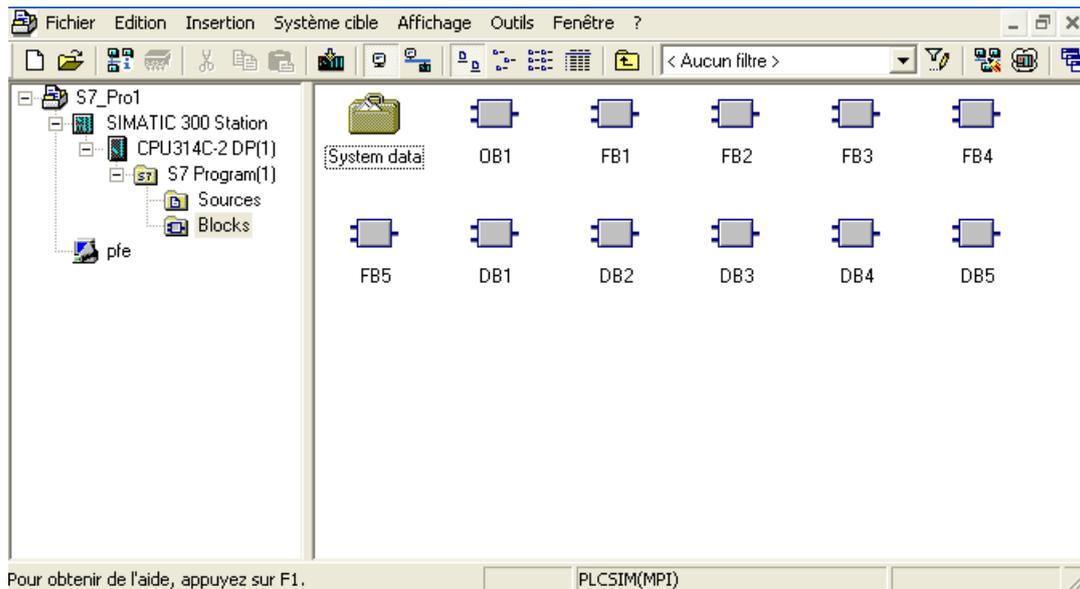


Figure 37: Logiciel STEP7

### I.5.3. Diagnostic et configuration du matériel :

Avant de commencer l'édition d'un programme dans le logiciel STEP7, nous allons débiter par la configuration matérielle, c'est une étape permettant de décrire les propriétés de l'API et de ces composants.

Le diagnostic du matériel fournit un aperçu de l'état du système d'automatisation. Dans une représentation d'ensemble, un symbole permet de préciser pour chaque module, s'il est défaillant ou pas. Un double clic sur le module défaillant permet d'afficher des informations détaillées sur le défaut. Les informations disponibles dépendent des différents modules :

- affichage d'informations générales sur le module et son état (p.ex. défaillant),
- affichage d'erreurs sur les modules de la périphérie centrale et des esclaves DP,
- affichage des messages de la mémoire tampon de diagnostic.

Dans le paragraphe « choix des composants », nous avons mis le choix sur un API de caractéristiques montrées dans la figure suivante :

La figure ci-dessous montre la configuration matérielle prise pour notre API :

Emplacement	Module	Référence	Firm...	Adress...	Adress...	A...	Commentaire
1	PS 307 5A	6ES7 307-1EA00-0AA0					
2	CPU314C-2 DP(1)	6ES7 314-6CF00-0AB0	V1.0	2			
X2	DP				1023*		
2.2	DI24/DO16				124...126	124...	E/S logiques
2.3	AI5/AO2				752...761	752...	
2.4	Count				768...783	768...	
2.5	Position				784...799	784...	E/S
3							
4	DI8/DO8	6ES7 327-1BH00-0AB0		0...1	0...1		
5	AI4x0/4...20mA, Ex	6ES7 331-7RD00-0AB0		272...279			
6	AI4x0/4...20mA, Ex	6ES7 331-7RD00-0AB0		288...295			
7	AI4x0/4...20mA, Ex	6ES7 331-7RD00-0AB0		304...311			
8	AI4x0/4...20mA, Ex	6ES7 331-7RD00-0AB0		320...327			E/S externes
9	AI4x0/4...20mA, Ex	6ES7 331-7RD00-0AB0		336...343			
10	AI4x0/4...20mA, Ex	6ES7 331-7RD00-0AB0		352...359			

Figure 38: Configuration matérielle du projet

#### I.5.4. Langages de programmation :

Les langages de programmation CONT, LIST et LOG pour S7-300/400 font partie intégrante du logiciel de base.

#### Langage LADDER :

Le schéma à contacts (CONT) est un langage de programmation graphique. La syntaxe des instructions fait penser aux schémas de circuits. CONT permet de suivre facilement le trajet du courant entre les barres d'alimentation en passant par les contacts, les éléments complexes et les bobines.

- Appui sur clé de commande pour démarrer la pompe en langage contact :



Figure 39: Schéma à contacts de démarrage de la pompe

### Langage LIST

C'est un langage de programmation à instruction.

- Appui sur clé de commande pour démarrer le moteur en langage List

```
U      "17 B"          M126.6      -- cle de commande
=      "1RK B"        M127.0      -- 1PK
```

Figure 40: Instructions de démarrage du moteur

### Langage LOG

Le logigramme (LOG) est un langage de programmation graphique qui utilise les boîtes de l'algèbre de Boole pour représenter les opérations logiques

- Appui sur clé de commande pour démarrer le moteur en langage LOG

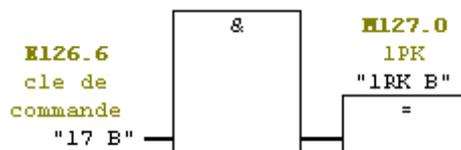


Figure 41: Logigramme de démarrage du moteur

Pour notre API, nous avons opté pour le langage à contacts en raison de sa simplicité d'utilisation.

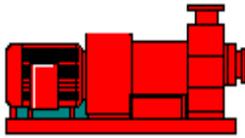
#### I.5.5. Le programme :

Le programme et la liste des variables correspondants à notre projet sont dans l'annexe A3 et le programme dans le CD joint au rapport.

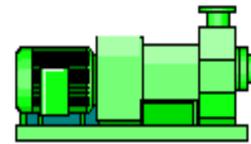
## II. Conception de l'interface de supervision :

L'interface de supervision est constituée d'un ensemble d'objets (images, champs de saisi et d'affichage, boutons, messages, variables), chaque objet est affecté à une variable.

Le changement d'état de ces objets (affichage, clignotement, changement de couleur, etc....) est conditionné par les valeurs de ses variables.



MP=0



MP=1

Les informations qui s'avèrent importantes pour être affichées dans notre interface sont :

- L'état des différents capteurs des pompes alimentaires.
- Les différentes informations de production (débit horaire, consommation d'énergie, le temps d'arrêt).

L'interface doit permettre la surveillance continue des paramètres de fonctionnement des pompes alimentaires, et aussi, elle doit nous donner des informations sur les causes de déclenchement des pompes alimentaires comme elle doit nous renseigner sur la valeur des différentes mesures effectuées lors du fonctionnement des pompes alimentaires.

Nous avons intégré dans cette interface un système de suivi des vibrations, ainsi nous aurons un stockage de 200 points par jour ce qui va nous permettre de suivre l'évolution des vibrations et de programmer un arrêt en cas de dépassement des valeurs limites.

### II.1. Logiciel de supervision :

Nous utilisons pour la supervision le logiciel SIMATIC WINCC HMI, qui permet de configurer l'interface de supervision par le module WINCC/CS, et de faire la simulation par son module WINCC/RT.

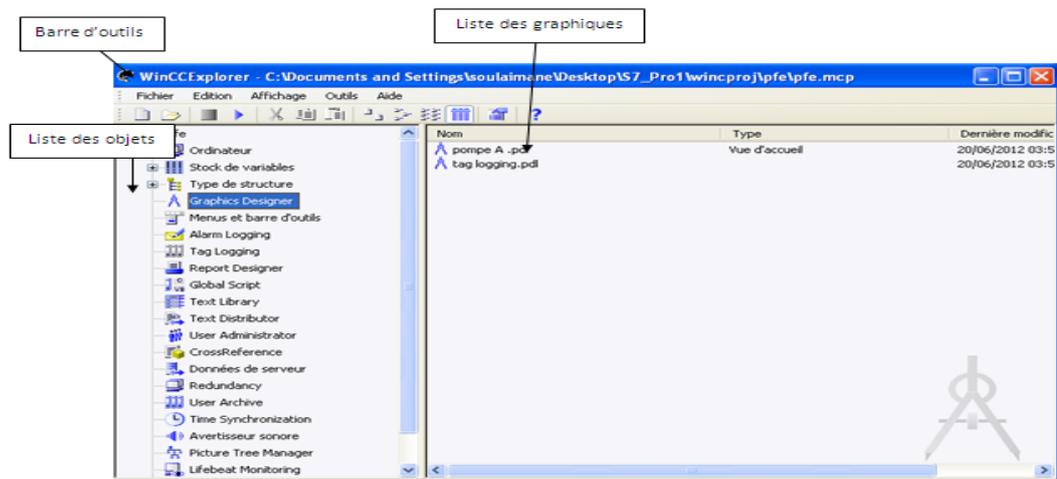


Figure 42: Ecran général du logiciel WINCC

La création du projet et la configuration de la communication avec l'API sont effectuées à l'aide du logiciel STEP 7 comme le montre la figure suivante :

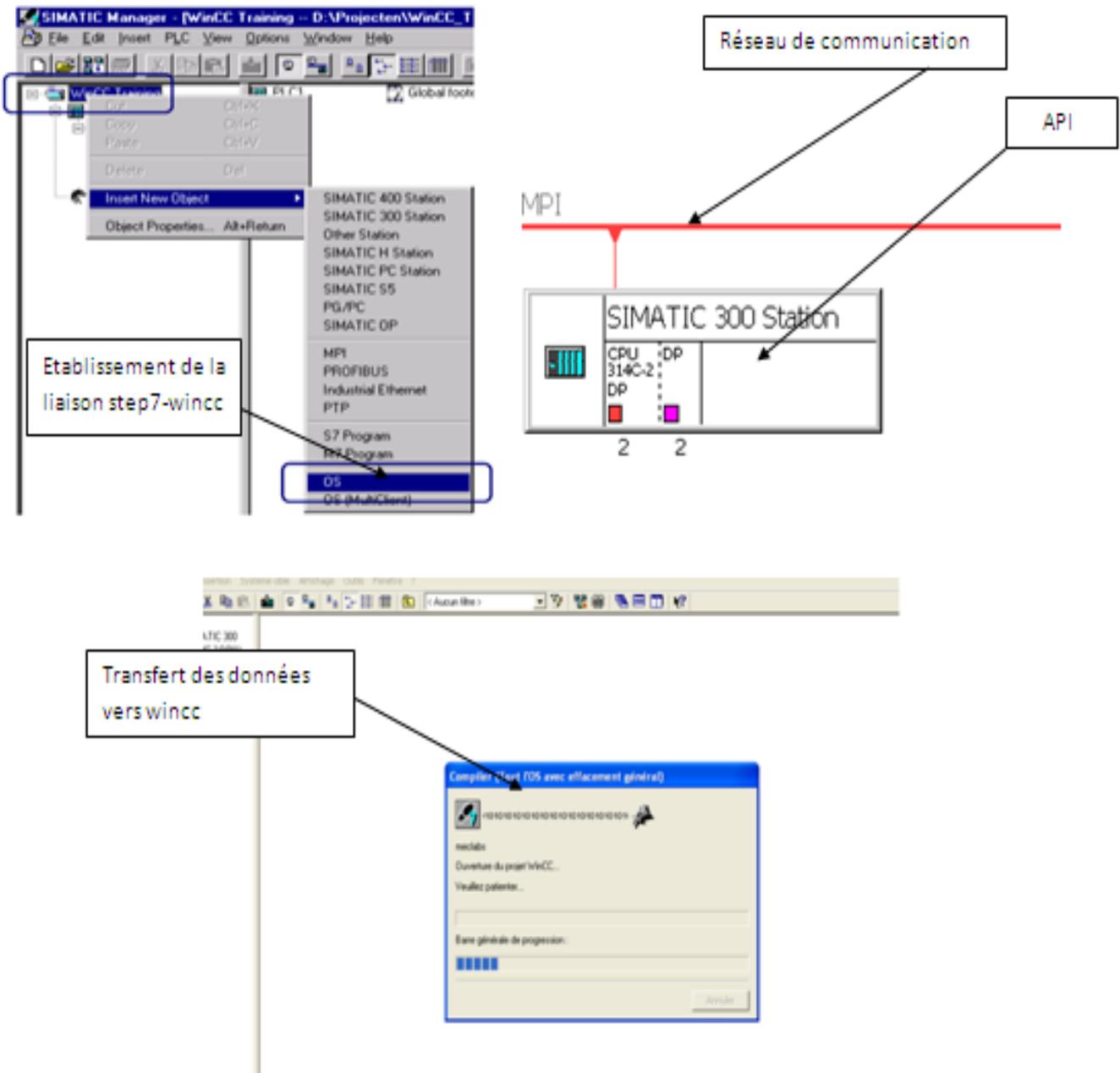


Figure 43: Etablissement de liaison avec Wincc

Conception de l'interface par la création des images, des champs de saisis et d'affichage, des boutons, qui représentent le processus de production.

- Assignation des variables aux objets (images, boutons, champs de saisi, etc..) créés.



Jusqu'à maintenant, nous avons effectué une étude technique de la réalisation de l'armoire de commande, en passant par le dimensionnement des composants (côté matériel), l'élaboration du programme de l'API et la création de l'interface de supervision (côté logiciel).

Il reste à justifier la rentabilité du projet sur le plan économique, c'est l'objet du prochain axe « Etude de rentabilité ».

### **III. Etude de rentabilité :**

Avant de se lancer dans un projet d'investissement, il faut juger et évaluer sa rentabilité. Pour ce faire et afin de faire un choix judicieux et prendre des décisions pertinentes adaptées aux objectifs stratégiques de l'entreprise, nous allons présenter dans cet axe, le manque à gagner suite à l'indisponibilité des pompes alimentaires, et aussi nous allons calculer le budget nécessaire à la réalisation du projet et son impact sur le chiffre d'affaire de la société.

#### **III.1. Disponibilité des pompes:**

##### **III.1.1. Taux de disponibilité :**

En se penchant sur le travail de la machine, on se rend compte qu'elle ne peut travailler durant toute la durée d'ouverture du poste. Il y a nécessairement des pannes ou des opérations de maintenance qui nécessitent son arrêt, pendant au moins une phase non productive.

La disponibilité d'un équipement ou d'un système est une mesure de performance qu'on obtient en divisant la durée durant laquelle le dit équipement ou système est opérationnel par la durée totale durant laquelle on aurait souhaité qu'il le soit. On exprime classiquement ce ratio sous forme de pourcentage.

En se basant sur les fiches des indisponibilités qui nous sont fournis par le service maintenance <sup>1</sup> et en prenant les données de l'année 2008 car c'est l'année la plus proche de l'année actuelle, on constate que le taux d'indisponibilité est de 4.03%.

##### **III.1.2. Manque à gagner en DH :**

- La production moyenne en électricité par heure est de 55MW.
- Le coût horaire est de 0.75DH/kWh

Donc le manque à gagner est de 13398 Kilo-DHs.

L'installation de la nouvelle armoire de commande va réduire le temps moyen de réparation MTTR. En effet l'affichage des défauts permet à l'opérateur de détecter facilement la panne et de suivre les vibrations, et alors réduire le MTTR, ce qui va augmenter la disponibilité.

---

<sup>1</sup> Voir tableau 3 , chapitre II.

### III.1.3. Budget d'investissement :

Le budget d'investissement est l'affectation des ressources au projet dans l'espoir d'en retirer des bénéfices futurs. Il consiste à confronter le capital investi (les dépenses que doit supporter l'entreprise pour la mise en œuvre du projet) avec le total des ressources prévues pour le financier. A cet effet nous allons présenter dans ce qui suit, une étude économique du budget dont nous aurons besoin pour réaliser ce projet.

Soient les données suivantes :

- ✓ Coût du matériel : comprend le coût de l'armoire de commande avec ses composantes (la liste du matériel est fournie en détail dans l'annexe A5). Le coût du matériel est de 68494 DH.

Pour connaître le coût réel du projet, il faut le réaliser car ce coût englobe les coûts suivants :

- Le coût du matériel ;
- Les frais d'installation ;
- Le coût de formation du personnel.

En Supposant que les frais d'installation représentent 60% du coût du matériel et que le coût de formation du personnel est estimé à 30% du coût de matériel = 41100 DH , le coût total sera de 150690 DH

On suppose que l'installation de la nouvelle armoire de commande va réduire le temps moyen de réparation MTTR, en effet l'affichage des défauts permet à l'opérateur de détecter facilement la panne, et alors réduire le MTTR de **60 %**.

La réduction du MTTR va augmenter la disponibilité des pompes, et réduire le manque à gagner suite à l'arrêt des deux pompes.

Le coût total de l'investissement est de 150,690 KDH. Cet investissement va générer un chiffre d'affaire annuel de 349272 KDH pour une disponibilité 98%.

Le coût du matériel est de : 68.494KDH, il est amortissable en mode linéaire sur 10 ans.

Les résultats sont représentés en KDH dans le tableau suivant :

Manque à gagner	0 ans	1 an	2 ans	3 ans	4 ans	5 ans
Chiffre d'affaire		349272	349272	349272	349272	349272
Charges décaissées		323373	323373	323373	323373	323373
EBE		25899	25899	25899	25899	25899
-Impôt sur bénéfices		8547	8547	8547	8547	8547
=Capacité d'autofinancement		17352	17352	17352	17352	17352
Valeur résiduelle						34.247
Récupération du BFR						9702
Coût d'acquisition	68.5					
Constitution du BFR	9702	0	0	0	0	0
Flux nets de trésorerie	-9770.5	17352	17352	17352	17352	27088

Tableau 23: Résultats de l'étude économique

Nous optons pour un taux

Avec 2.5% = *taux sans risque* ;

10% = *prime de risque*.

Pour justifier la rentabilité du projet, il faut calculer la VAN :

$$\text{VAN} = -9770.5 + 17352(1.125^{-1}) + 17352(1.125^{-2}) + 17352(1.125^{-3}) + 17352(1.125^{-4}) + 27088(1.125^{-5})$$

$$= +57415 \text{ KDH}$$

Puisque la valeur de la VAN est supérieure à 0, l'investissement est rentable.

Calcul du retour sur investissement :

Manque à gagner	0 ans	1 an	2 ans	3 ans	4 ans	5 ans
Flux nets de trésorerie actualisé (KDH)	-9770.5	5653	19363	31550	42382	57414

Durée précise = 0 ans + 12 \* 0.64 = 7 mois et 22 jours

Donc le retour sur investissement sera réalisé en 7 mois et 22 jours.

### *Conclusion :*

Ce chapitre ferme ce rapport par une étude de rentabilité du projet à travers laquelle on a pu justifier l'intérêt d'opter pour une solution d'automatisation. Ceci a été établi à travers une description des différents coûts à prendre en compte répartis entre les coûts de l'investissement, et les charges d'exploitation. On a ensuite déterminé le temps de retour de l'investissement, la valeur actuelle nette du projet et le taux de rentabilité.

## *Conclusion et Perspectives*

---

L'objectif principal de cette étude est de fiabiliser les pompes alimentaires, celles-ci étant situées sur une ligne de production critique, donc, si elles tombent en panne, il n'y aura pas de production de l'électricité pour le bloc concerné. C'est pour cette raison qu'on a effectué une décomposition fonctionnelle de notre système : les pompes alimentaires, pour pouvoir identifier ensuite tous les modes de défaillance des composants grâce à l'emploi des outils de sûreté de fonctionnement tels que l'AMDEC, et le RBD. Ainsi, nous nous sommes parvenus à déterminer les composants dits critiques pour pouvoir par la suite effectuer une modélisation globale de notre système qui a débouché sur l'estimation des paramètres Weibull de la pompe alimentaire pour déterminer la périodicité de maintenance préventive.

Dans le but d'améliorer la disponibilité des pompes alimentaires, nous avons également pensé à intégrer une solution d'automatisation avec une interface de supervision pour assurer le suivi continu des paramètres de fonctionnement des pompes alimentaires, c'est pour cela que nous avons commencé par une conception générale de l'armoire de commande, en choisissant l'API comme unité de traitement et plus particulièrement nous avons choisi la CPU 314 C -2DP de la société Siemens.

Une fois nous avons établi la liste des équipements à installer avec leurs caractéristiques techniques, nous avons passé à la mise en œuvre de la solution, ceci à travers l'établissement des schémas de câblage électriques, et la modélisation en 3D de la solution et son emplacement dans l'usine.

Après, nous avons conçu la commande afin de décrire le fonctionnement attendu de l'automatisme.

La méthodologie de la mise en œuvre d'un programme sur le logiciel de programmation STEP7, et d'une interface de supervision a été à son tour bien explicitée, cette étape nous a amenée à la traduction du GRAFCET de fonctionnement en programmes et à l'élaboration d'une interface de supervision et de commande des pompes alimentaires.

A la fin, la réalisation du projet nécessite une étude de rentabilité, basée sur une étude économique qui a montré que le projet va augmenter le taux de disponibilité des pompes ainsi que de l'usine, sachant que le budget d'investissement pourra s'amortir facilement.

---

## *BIBLIOGRAPHIE & WEBOGRAPHIE*

---

- [1] M. AMAJOUT, "Amélioration des performances des chaînes de broyage de la Centrale Thermique de Jerada," Jerada, 2004.
- [2] R. LAHLOU, «Régulation et graissage turbine de la Centrale Thermique de Jerada,» Jerada, 2002.
- [3] R. ERNOUL, Le grand livre de la qualité : Management par la qualité dans l'industrie, une affaire de méthodes.
- [4] «5M – Diagramme d'Ishikawa,» [En ligne]. Available: <http://www.logistiqueconseil.org/Articles/Methodes-optimisation/5m-ishikawa.htm>. [Accès le 25 Mars 2012].
- [5] M. RIDOUX, AMDEC-Moyen.
- [6] R. TASSINARI, Pratique de l'analyse fonctionnelle troisième édition.
- [7] J. BUFFERNE, Fiabiliser les équipements industriels, 2008.
- [8] I. MOUSAID, «La mise en place d'une gestion de maintenance assistée par ordinateur(GMAO)pour le parc des machines outils à commande numérique,» ENSAM,Meknès, 2008.
- [9] J. Héng, Pratique de la maintenance préventive mécanique .Pneumatique. Hydraulique. Electricité.froid.
- [10] G. LALOUX, Management de la maintenance selon l'ISO 9001 :2008.
- [11] «SIEMENS,» [En ligne].

---

## *ANNEXES*

---

**Annexe A1** : Fiches AMDEC ;

**Annexe A2** : Programme de planification de la maintenance ;

**Annexe A3** : Liste des variables du programme ;

**Annexe A4** : Le programme de l'installation (voir CD) joint ;

**Annexe A5** : Liste du matériel nécessaire à la réalisation du projet.

**Annexe A6** : Généralités sur les automates.

# ANNEXE A1

## *Fiches AMDEC*

<b>AMDEC machine</b>	<b>Analyse des Modes de Défaillance de leurs Effets et de leurs Criticités</b>	Date : 10/04/2012
----------------------	--	-------------------

Système : Pompe alimentaire		Nom : STAOUT Abderrahmane
Sous système : Arbre		HASSANI Soulaïmane

L'élément	Fonctions	Mode de défaillance	Causes	Effets	Détection	Criticité				Actions a engagées
						F	G	D	C	
Arbre	Transmettre le mouvement de rotation du moteur aux roues	-Usure -Flexion -Désalignement -Torsion et cisaillement	-Frottement -Vibration -Fatigue -Manque de lubrification dans les paliers	-Echauffement -Blocage de rotor -Vibration -Arrêt de la pompe	-Bruit (sonore) Echauffement -mesure de vibration	1	4	3	12	- Remplacement de l'arbre -Assurer le bon alignement de l'arbre de la pompe et l'arbre du moteur.
Roues	Augmenter la pression d'eau	-Usure	-Frottement entre les roue motrices et roues conductrices -Déplacement axial de l'arbre. -Vibration -Erosion -Usure	Chute de pression	Signalisation et lecture de manomètre	2	3	1	6	-Remplacement des roues. -Respecter le jeu entre les roues.
Accouplement	Assurer la transmission de puissance entre l'arbre moteur et l'arbre de la pompe	Usure des roues dentées	-problème de Lubrification -Vibration -Mauvais montage -fatigue	-Arrêt de la pompe  -Vibration	-Vibration -Echauffement -Bruit	1	4	3	12	-changement d'accouplement -Assurer la lubrification -Respecter les consignes de montage.

Pompe en bout d'arbre	Assurer le graissage de la pompe alimentaire durant son fonctionnement	-Usure de la clavette -chute de rendement	-La fatigue -Vibration	-Echauffement des paliers -Vibration -Arrêt de la pompe	-Vibration dans la pompe en bout d'arbre et l'échauffement -Chute de la pression d'huile	1	4	2	8	-Changement des roulements - assurer le bon montage sur l'arbre de la pompe.
-----------------------	--	--	---------------------------	---	---	---	---	---	---	---

<b>AMDEC machine</b>		<b>Analyse des Modes de Défaillance de leurs Effets et de leurs Criticités</b>							Date : 10/04/2012			
Système : Pompe alimentaire Sous système : Paliers											Nom : STAOUT Abderrahmane HASSANI Soulaïmane	
L'élément	Fonctions	Mode de défaillance	Causes	Effets	Détection	Criticité				Actions a engagées		
						F	G	D	C			
Coussinet	-C'est un appui de l'arbre de la pompe et l'arbre du moteur -Il permet le guidage en rotation.	-usure -Fatigue	-Frottement entre l'arbre et coussinet -Mauvais jeu coussinet-arbre -Lubrification insuffisante -Vibration -Echauffement des paliers	-Vibration -Echauffement des paliers	-Vibration des paliers - Echauffement	2	3	2	12	-Changement de coussinet -Respecter le jeu entre l'arbre et le coussinet		

AMDEC machine		Analyse des Modes de Défaillance de leurs Effets et de leurs Criticités				Date : 10/04/2012				
Système : Pompe alimentaire						Nom : STAOUT Abderrahmane				
Sous système : Corps						HASSANI Soulimane				
L'élément	Fonctions	Mode de défaillance	Causes	Effets	Détection	Criticité				Actions a engagées
						F	G	D	C	
Labyrinthe	Conduire l'eau de refroidissement	-Casse -Bouchage -Fuite	-Calcaire -Fatigue -Mauvais montage	-Echauffement de la chambre de refroidissement -Mélange entre l'eau d'alimentation et l'eau de refroidissement -Echauffement de la chemise -Détérioration de la tresse -Arrêt de la pompe	-Echauffement de l'eau de refroidissement	2	3	2	12	-Assurer le bon montage  -Assurer le bon traitement de l'eau
La tresse	Assurer l'étanchéité	Détérioration	-Durée de vie -Fuite ou cassure dans labyrinthe -Mauvais serrage de fouloir -Mauvais montage	-Mélange entre l'eau d'alimentation et l'eau de refroidissement -Echauffement de la chemise -Arrêt de la pompe	-Echauffement de l'eau de refroidissement	2	3	2	12	-Assurer le bon serrage du fouloir  -Assurer le bon montage

AMDEC machine		Analyse des modes de défaillance de leurs effets et de leurs criticités				Date : 10/04/2012				
Système : Armoire de commande						 Nom : STAOUT Abderrahmane HASSANI Soulaïmane				
L'élément	Fonctions	Mode de défaillance	Causes	Effets	Détection	Criticité				Actions a engagées
						F	G	D	C	
Armoire	Porter la partie commande des pompes alimentaires	-Coincement de la porte  -Dégradation	-Corrosion  -Corrosion	-accessibilité délicate  -élément à l'intérieur devient non protégés	Détection visuelle	1	4	4	16	- Traitement de surface de l'armoire - Changement de l'armoire et le type d'automatisme - changement de la logique câblée par la logique programmée.
Relais temporisé	Assurer la protection et Contrôler les séquences de démarrage, le verrouillage automatique des pompes alimentaires	-relais non activé	Relais défectueux	- Arrêt des pompes	Détection visuelle	2	3	1	6	- Remplacement du relais défectueux
		Temps de verrouillage, de démarrage, de protection des pompes erronée	-mauvais réglage			1	1	1	1	Effectuer le bon réglage

Câble	Conduire le courant électrique	-brûlure	surintensité -surcharge	-Arrêt des pompes	Détection visuelle	1	2	1	2	Remplacement de câble
		-détachement	-vibration -mauvais serrage	-Arrêt de la pompe		3	2	2	12	
Jeu de barre 220 CC	Dilatation du jeu de barre	Détérioration des roulements	-La fatigue -Vibration	-Echauffement des paliers -Détérioration de l'accouplement -Usure du coussinet -Vibration	-Vibration dans la pompe en bout d'arbre et l'échauffement					Changement des roulements
L'interrupteur 6.6 KV	Commander les pompes alimentaires	-Perte de contact	Poussière	Arrêt des pompes		1	3	4	12	Nettoyage
		-Coincement en une position	Courant	Arrêt des pompes		1	4	3	12	dépannage
		Interrupteur défectueux					1	4	3	12
Capteur de température des paliers		Mesures de température erronée	capteur défectueux	Pas de suivi de température des paliers		2	1	2	4	étalonnage du capteur

# ANNEXE 2

## *Programme de planification de la maintenance*

*Planning de la maintenance des pompes alimentaires :*

	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin
Pompe1A	■																					■								
Pompe2A			■																						■					
Pompe 1B					■																						■			
Pompe 2B							■																						■	
Pompe 1C									■																					
Pompe 2C											■																			

# ANNEXE A3

## Liste des variables du programme

Liste des variables du programme :

Etat	D	O	S	C	N	Mnémonique	Opérande	Type de données	Commentaire
		X				KM A	A 124.0	BOOL	enclenche pompe A
		X				co A	A 124.1	BOOL	déclenche A
		X				M3 A	A 124.4	BOOL	signal déclenche pompe A
		X				mc A	A 124.6	BOOL	panne dans la cellule A
		X				MP A	A 124.7	BOOL	démareur magnétique A
		X				chute pression huile A	A 125.0	BOOL	
		X				déplacement axial A	A 125.1	BOOL	
						palier 1 A	A 125.2	BOOL	
						palier 2 A	A 125.3	BOOL	
						palier 3 A	A 125.4	BOOL	
						palier 4 A	A 125.5	BOOL	
		X				pression refouie	A 125.6	BOOL	
						chute pression huile B	A 126.0	BOOL	
						co B	A 126.1	BOOL	déclenche B
		X				déplacement axial B	A 126.2	BOOL	
		X				KM B	A 126.3	BOOL	enclenche pompe B
		X				M3 B	A 126.4	BOOL	signal déclenche pompe B
						mc B	A 126.5	BOOL	panne dans la cellule B
		X				MP B	A 126.7	BOOL	démareur magnétique B
						palier 1 B	A 127.0	BOOL	
						palier 2 B	A 127.1	BOOL	
						palier 3 B	A 127.2	BOOL	
						palier 4 B	A 127.3	BOOL	
						signal sonnore reserve	A 127.4	BOOL	
						arrêt bloc	A 127.5	BOOL	
		X				17 A	E 124.0	BOOL	cle de commande
		X				RHP NF	E 124.1	BOOL	rechauf haut pression
		X				KB A	E 124.2	BOOL	recirculation A
		X				13KM1 A	E 124.3	BOOL	manoccontact huile NF
		X				13KM2 A	E 124.4	BOOL	manoccontact huile NO
		X				33KM A	E 124.5	BOOL	refoulement A
		X				RHP NO	E 124.6	BOOL	rechauf haut pression
		X				23KM A	E 124.7	BOOL	disque d'équilibre A
		X				pm	E 125.0	BOOL	pas tension minimale
		X				pkh	E 125.1	BOOL	pas tension minimale 6.6
		X				19+K1A A	E 125.2	BOOL	arrêt urgence +clé commande A
						mano renclinch pomhuileA	E 125.3	BOOL	34KM A
						enclenche A	E 125.4	BOOL	cle pompe huile A
		X				KA A+PB+CLE A	E 125.5	BOOL	déclencher pompe huile A
		X				les deux TC A	E 125.6	BOOL	thermique ou magnetique A
						33 KM B	E 125.7	BOOL	refoulement B
						automat A(5-8 et 12-9)	E 126.0	BOOL	comutateur A
						automat B(5-8 et 12-9)	E 126.1	BOOL	comutateur B
						dmp1	E 126.2	BOOL	pression est =145
		X				dmp2	E 126.3	BOOL	pression est < =135
		X				13KM1B	E 126.4	BOOL	manoccontact huile NF
		X				13KM2 B	E 126.5	BOOL	manoccontact huile NO
						17 B	E 126.6	BOOL	cle de commande
		X				19+K1A B	E 126.7	BOOL	arrêt urgence +clé commande
		X				23KM B	E 127.0	BOOL	disque d'équilibre B
		X				KA B+PB+CLE B	E 127.1	BOOL	déclencher pompe huile B
						enclenche H B	E 127.2	BOOL	cle de commande pompe huile
		X				KB B	E 127.3	BOOL	recirculation B
						entree auto reserve A	E 127.4	BOOL	
						entree auto reserve B	E 127.5	BOOL	
						mano renclinch pomhuileB	E 127.6	BOOL	34KM B
						les deux TC B	E 127.7	BOOL	thermique ou magnetique B
		X				OUVRIR VANNE A	E 128.0	BOOL	
		X				OUVRIR VANNE B	E 128.1	BOOL	
		X				thermo 1 B	EW 0	WORD	
		X				thermo 2 B	EW 2	WORD	

Etat	D	O	S	C	N	Mnémonique	Opérande	Type de données	Commentaire
		X				thermo 3 B	EW 4	WORD	
		X				thermo 4 B	EW 6	WORD	
		X				démbimetre B	EW 10	WORD	
		X				vib palier 1 A horizonta	EW 288	WORD	
		X				vib palier 2 A horizonta	EW 290	WORD	
		X				vib palier 3 A horizonta	EW 292	WORD	
		X				vib palier 4 A horizonta	EW 294	WORD	
		X				vib palier 1 A verticale	EW 304	WORD	
		X				vib palier 2 A verticale	EW 306	WORD	
		X				vib palier 3 A verticale	EW 308	WORD	
		X				vib palier 4 A verticale	EW 310	WORD	
		X				vib pompe A axiale	EW 320	WORD	
		X				vib moteur A axiale	EW 322	WORD	
		X				vib pompe B axiale	EW 324	WORD	
		X				vib moteur B axiale	EW 326	WORD	
		X				vib palier 1 B horizonta	EW 336	WORD	
		X				vib palier 2 B horizonta	EW 338	WORD	
		X				vib palier 3 B horizonta	EW 340	WORD	
		X				vib palier 4 B horizonta	EW 342	WORD	
		X				vib palier 1 B verticale	EW 352	WORD	
		X				vib palier 2 B verticale	EW 354	WORD	
		X				vib palier 3 B verticale	EW 356	WORD	
		X				vib palier 4 B verticale	EW 358	WORD	
		X				thermo 1 A	EW 752	WORD	palier 1
		X				thermo 2 A	EW 754	WORD	
		X				thermo 3 A	EW 756	WORD	palier 1
		X				thermo 4 A	EW 758	WORD	palier 3
		X				démbimetre A	EW 760	WORD	
						1RK A	M 124.0	BOOL	1PK
						RKV A	M 124.1	BOOL	PKB
						RKK A	M 124.2	BOOL	PKK
						RPO A	M 124.3	BOOL	MPO
						RPV A	M 124.4	BOOL	PMB A
						1RPV A	M 124.5	BOOL	1PMB
						RKO A	M 124.6	BOOL	PKO
						1RMD A	M 124.7	BOOL	1PMD
						pu	M 125.0	BOOL	relais de l'action d'impulsion de la pompe A
						PAB	M 125.1	BOOL	démarrag auto reserve à la baisse de pression
						2RK A	M 125.2	BOOL	2PK A
						RQ1 A	M 126.1	BOOL	
						RQ2 A	M 126.2	BOOL	
						PMB1 A	M 126.4	BOOL	
						1RK B	M 127.0	BOOL	1PK
						1PMO A	M 127.1	BOOL	
						programmeur A	M 127.2	BOOL	
						1RMD B	M 127.3	BOOL	1PMD
						programmeur 1 A	M 127.4	BOOL	
		X				débitmètre1	M 127.5	BOOL	
						1RPV B	M 127.6	BOOL	1PMB
						2RK B	M 127.7	BOOL	2PK B
		X				programmeur 1 B	M 128.0	BOOL	
						programmeur B	M 128.1	BOOL	
		X				débitmètre2	M 128.2	BOOL	
						RKK B	M 128.3	BOOL	PKK B
						RKO B	M 128.4	BOOL	PKO B
						RKV B	M 128.5	BOOL	PKB B
						RPO B	M 128.6	BOOL	MPO B
						RPV B	M 128.7	BOOL	PMB B
						RQ1 B	M 129.0	BOOL	
						RQ2 B	M 129.1	BOOL	
						PMB1 B	M 129.3	BOOL	
		X				ZGZA/GOA	M 130.0	BOOL	
		X				zigzagA	M 130.1	BOOL	
		X				zigzag1A	M 130.2	BOOL	
						1PMO B	M 131.2	BOOL	
		X				ZGZA/GOB	M 131.5	BOOL	
		X				zigzagB	M 131.6	BOOL	
		X				zigzag1B	M 131.7	BOOL	
		X				AFICHAGE 1	M 132.6	BOOL	
		X				AFICHAGE	M 132.7	BOOL	

# ANNEXE A4

*Le programme de l'installation (voir CD) joint*

# ANNEXE A5

## Liste du matériel nécessaire à la réalisation du projet

Liste du matériel nécessaire à la réalisation du projet :

Composante	Quantité	Prix unitaire en DH	Prix en DH
<b>CPU 314 C-2DP</b>	1	14714.37	14714.37
<b>Carte d'entrées/sorties</b>	1	3480 .345	3480 .345
<b>CARTE d'entrée analogique</b>	6	4669.83	28019
<b>Relais d'interface 24 V</b>	24	600	14400
<b>Lampe 220VCC Vertes</b>	4	18	72
<b>Lampe 220VCC rouges</b>	12	18	216
<b>Goulotte</b>	5m	47.25	236,25
<b>Bornier</b>	130	13 .00	1690
<b>Disjoncteur</b>	3	126,60	379.8
<b>Boulon de fixation</b>	40	0.14	5.6
<b>Alimentation Stabilisée 24V/16A</b>	1	4000	4000
<b>Repères</b>	1	140	140
<b>Armoire de commande</b>	1	1340.00	1340.00

**TOTAL**

**68 494DH**

# ANNEXE A6

## Généralités sur les automates programmables industriels

### Généralités sur les automates programmables industriels :

La définition est donnée par la norme **NFC 63-850**

« Appareil électronique qui comporte une mémoire programmable par un utilisateur automatique (et non informaticien) à l'aide d'un langage adapté, pour le stockage interne des instructions composant les fonctions d'automatisme comme par exemple :

- Logique séquentielle et combinatoire
- Temporisation, comptage, décomptage, comparaison
- Calcul arithmétique

Réglage, asservissement, régulation, etc., pour commander, mesurer et contrôler au moyen d'entrées et de sorties (logique, numériques ou analogiques) différentes sortes de machines ou de processus, en environnement industriel. »

### Les composants :

L'automate programmable industriel est constitué d'un ensemble de composants, ils sont illustrés dans la figure ci-après :

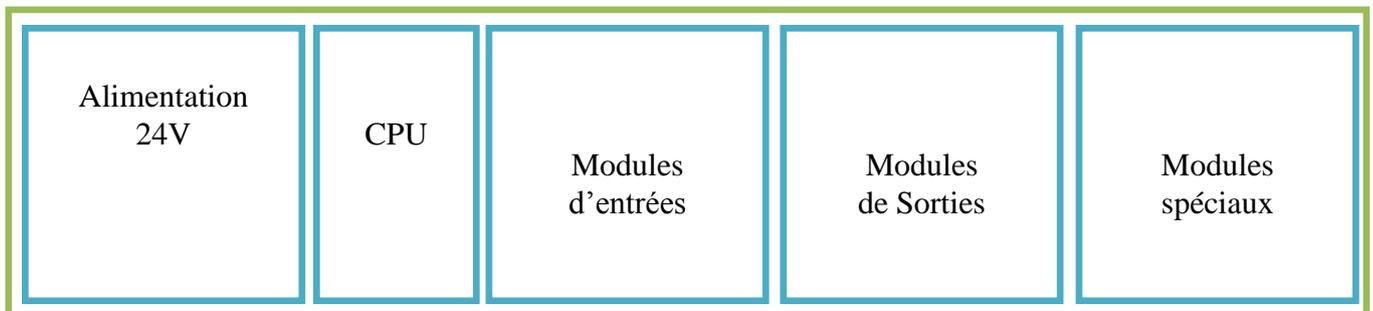


Figure 1 : Exemple d'un API

**L'alimentation** : elle assure l'alimentation des composants de l'API, son choix est basé sur la consommation totale des composants.

**CPU (central processing unit)** : c'est la partie de traitement des données, elle est composée d'un microprocesseur pour le traitement des données, et des mémoires pour le stockage du programme, le choix de ce composant dépend de la nature de l'application industriel.

**Modules d'entrée/sorties** : ce sont des cartes permettant à la CPU de communiquer avec l'extérieur, ils sont chargés d'adapter les signaux entre la CPU et les prés actionneurs (parfois des actionneurs).

**Les modules spéciaux** : ce sont des cartes électroniques ouvrent à l'automate des nouvelles fonctionnalités par exemple :

Des modules de communication : pour mettre les automates en réseau