

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de
Ingénieur d'état

Filière

Electromécanique

Spécialité

Mécatronique

- Thème

**Automatisation et diagnostic de Circuit Rm de la centrale électrique de Cap
Djinet**

Réalisé par

Lounis Aymen**Henneb Kassi****Les membres de Jury :**

BOUSSOUFA Ahmed	Président
REZGUI Wail	Promoteur
REZGUI Nafissa	Co-Promoteur
DJEGHRI Nouredine	Examineur

Alger, le 06/07/2022

Dédicace

“

Je dédie ce modeste travail à : À Ma chère mère et mon cher père qui m'ont toujours soutenu et encouragé durant toute ma période d'études.

À Mon frère et Ma Chère sœur.

*À Mon binome **HENNEB Kassi** et Mes collègues et mes amis d'enfance **Aymen** et **Dhia** et **Youcef** et **Nouh** et à tout mes amis de l'ensh et l'ens.*

ET Enfin à tous les enseignants de département Génie industriel et maintenance et toute la promotion 2022,

Merci.

”

- **AYMEN**

Dédicace

“

Je dédie ce modeste travail à

A . A

*À Ma grand-mère, mon oncle **HASSANE**, mes frères **MOULOUD** et **ZINO**, mes chères sœurs **SAMIA**, **AMEL** et **AHLEM**, et le reste de toute ma famille, aucune dédicace ne serait vous remercier pour votre soutien et présence, vos nobles sacrifices vos conseils et assistance dans ma vie. Que ce modeste travail puisse être l'expression de mon éternelle gratitude.,*

*À mon Binôme **LOUNIS Aymen**, et ma famille a L'ENSH **AIMEN**, **YASSINE**, **ILYESS**, **AYOUBE** et **ABDEL AZIZ** ainsi que ma famille a L'ENST **ABDELLAH**, **AMMAR**, **FAROUK**, **IMAD**, **MOUNSIF**, **MONCEF**, **MAROUANE**, **YASSINE**, **DINA**, **KAHINA**, **NESRINE** et mes amis intimes **HAKIM**, **ISMAIL**,, **AREZKI RIYAD**, **FATHI** et **FAROUK** pour leurs encouragements permanents, leur soutien moral, leur aide et support dans les moments difficiles,*

*À ma mère, à mon père et à mon oncle **HOCINE**, que dieu leur accorde miséricorde, que j'aurais tant voulu qu'ils puisèrent être témoins de ce petit succès,*

Merci.

”

- KASSI

Remerciements

Tout d'abord, nous tenons à remercier Allah le tout puissant de nous avoir donné le courage et la patience nécessaires à mener ce travail à son terme.

nous tenons à remercier tout particulièrement notre encadreur **Mr.Rezgui Wail** et co-encadreur **Mme.Rezgui Nafissa**, pour l'aide compétente qu'il/elle nous a apportée, pour leur patience et leur encouragement. leur œil critique nous a été très précieux pour structurer le travail et pour améliorer la qualité des différentes sections.

Je tiens à remercier également mon promoteur **M. Haouas** pour son aide immense, la qualité de son suivie ainsi que pour tous les conseils et les informations qu'il m'a prodigués avec un degré de patience et de professionnalisme sans égal.

Nous remercions aussi toutes les personnes qui nous ont aidées de près ou de loin au sein de la centrale de Ras-Djinet lors de notre stage pratique en particulier **monsieur Nabil** et **monsieur Amine**.

Que les membres de jury trouvent, ici, l'expression de mes sincères remerciements pour l'honneur qu'ils me font en prenant le temps de lire et d'évaluer ce travail.

Nous présentons aussi nos sincères remerciements aux enseignants de département génie industriel et maintenance.

Je souhaite aussi remercier l'équipe pédagogique et administrative de l'ENST pour leurs efforts dans le but de nous offrir une excellente formation.

Nous remercions nos familles pour leurs aides, compréhensions, encouragements et soutiens le long de nos études.

Pour finir, je souhaite remercier toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Table des matières

Dédicace	I
Dédicace	II
Remerciements	III
Table des figures	VI
Liste des tableaux	IX
Introduction générale	1
1 Etat de l'art	3
1.1 Introduction	4
1.2 Partie théorique sur l'automatisation et la supervision	4
1.2.1 Objective de l'automatisation	4
1.2.2 Les automates programmables industriels	4
1.2.3 Choix d'un automate programmable industriel :	6
1.2.4 Présentation générale de l'automate S7-1200:	6
1.2.5 GRAFCET	7
1.2.6 Les types de Graftet	7
1.2.7 Programmation et développement	8
1.2.8 Supervision et développement	9
1.3 Partie théorique sur les techniques de l'apprentissage profond (deep learning) . .	11
1.3.1 Définition de la maintenance prédictive :	11
1.3.2 Objective la maintenance prédictive :	11
1.3.3 Modèle statistique pour la maintenance prédictive	11
1.3.4 Les modèles statistique utilisé dans maintenance prédictive	12
1.3.5 Les méthodes Apprentissage profond utilisé dans maintenance prédictive : .	12
1.3.6 étude comparative entre les méthodes Apprentissage profond utilisé dans maintenance prédictive	12
1.4 Conclusion	14
2 Étude de la pompe d'extraction	15
2.1 Introduction	16
2.2 Le circuit RM	16
2.3 Acheminement du condensât principal (RM)	16
2.4 Pompe d'extraction	18
2.4.1 Définition et rôle de la pompe d'extraction	18
2.4.2 Caractéristique	19

2.4.3	Description générale de la pompe d'extraction	19
2.4.4	Description mécanique	19
2.4.5	Organe d'isolement et de contrôle	20
2.5	Commandes du système d'eau de la pompe d'extraction	21
2.6	Démarrage et arrêt d'une pompe d'extraction	21
2.6.1	Les états des composants de signalisation optique	22
2.7	Conclusion	22
3	Automatisation et supervision du circuit RM	23
3.1	Introduction	24
3.2	Le logigramme fonctionnel séquentiel de la pompe d'extraction(Circuit RM) . .	24
3.3	GRAFCET de circuit RM	30
3.3.1	GRAFCET de démarrage de circuit RM	30
3.3.2	GRAFCET d'arrêt circuit RM	31
3.3.3	GRAFCET de sécurité	32
3.4	Programmation et développement	32
3.4.1	Configuration matérielle du projet	32
3.4.2	Programmation des Blocs	34
3.4.3	Simulation du programme	39
3.5	Supervision et développement	52
3.5.1	Création de liaison entre l'IHM (TP700 COMFORT) et l'API	52
3.5.2	Configuration des vues de l'interface	53
3.6	Conclusion	59
4	Application d'apprentissage profond pour la prédiction	60
4.1	Introduction	61
4.2	Le langage de programmation utilisé	61
4.3	Implémentation des méthodes	61
4.3.1	Modèle statistique SARIMAX.	61
4.3.2	Modèle de deep learning BI-LSTM	63
4.4	conclusion	66
	Conclusion et perspectives	67
	Bibliographie	69
	Annexes	70
A	présentation de la centrale électrique "Cap Djinet"	71
B	Etat de l'art	85
C	Étude de la pompe d'extraction	86
D	Automatisation et supervision du circuit RM	97
E	Application d'apprentissage profond pour la prédiction	110
	Résumé	141

Table des figures

1.1	Structure fonctionnelle de base d'un système API.[1]	5
1.2	API S7-1200.	7
1.3	Les niveaux de Graphcet.	8
1.4	Interface de TIA PORTAL V16.	8
1.5	Architecture générale d'un système de supervision.[2]	9
2.1	Schéma de conduite principale de condensat primaire simplifié.	18
2.2	Schéma de la pompe d'extraction.	20
2.3	La carte de commande d'organe de puissance AS11.	22
3.1	Logigramme du Circuit RM.	25
3.2	Logigramme du Circuit RM MARCHE.	26
3.3	Logigramme du circuit RM MARCHE	27
3.4	Logigramme du Circuit RM MARCHE.	28
3.5	Logigramme du circuit RM ARRÊT	29
3.6	GRAFCET de démarrage de circuit RM.	30
3.7	GRAFCET de l'arrêt de circuit RM.	31
3.8	GRAFCET de sécurité.	32
3.9	Fenêtre du projet.	33
3.10	L'ajoute les modules API E/S.	34
3.11	Configuration de l'API.	34
3.12	Les entrées (INPUT).	35
3.13	Les sorties (OUTPUT).	35
3.14	Les mémoires (Mémentos).	35
3.15	PROTECTION 1.	36
3.16	PROTECTION 5.	36
3.17	AUTOMATIQUE ARRÊT.	36
3.18	Fonction marche pompe d'extraction 1.	37
3.19	Étape 1 de Libération circuit RM.	37
3.20	Étape 6 de Libération circuit RM.	37
3.21	Étape 51.	38
3.22	Étape 51.	38
3.23	Présélection Pompe 1 et Pompe 2.	39
3.24	Déclaration de FC3 dans le bloc OB1.	39
3.25	Simulation étape 1.	40
3.26	Simulation étape 3.	40
3.27	Simulation étape 2.	41
3.28	Simulation étape 4.	42
3.29	Simulation étape 5.	43
3.30	Simulation étape 6.	43

3.31	Simulation étape 51.	44
3.32	Simulation étape 52.	45
3.33	Simulation étape 53.	46
3.34	Simulation étape 54.	47
3.35	Simulation PROTECTION 1.	47
3.36	Simulation PROTECTION 2.	48
3.37	Simulation PROTECTION 3.	48
3.38	Simulation PROTECTION 4.	48
3.39	Simulation Arrêt pompe 1.	49
3.40	Simulation AUTOMATIQUE ARRÊT.	49
3.41	Simulation PROTECTION 4.	50
3.42	Simulation PRÉSÉLECTION POMPE 1 ET 2.	51
3.43	Interface de TIA PORTAL V16.	52
3.44	Liaison PROFINET API S7-1200/TP700 COMFORT.	52
3.45	vue principal arrêt + libération marche circuit RM.	53
3.46	vue principal arrêt d'urgence.	54
3.47	libération arrêt circuit RM.	54
3.48	Circuit RM en arrêt.	55
3.49	Circuit RM en marche.	55
3.50	Circuit RM en arrêt d'urgence.	56
3.51	Étape 4 en arrêt.	57
3.52	Étape 4 en marche.	57
3.53	Étape 4 en arrêt d'urgence.	58
3.54	Étape 51 en arrêt.	58
3.55	Étape 51 en marche.	59
3.56	Étape 51 en arrêt d'urgence.	59
4.1	Model statistique SARIMAX :	61
4.2	L'adaptation du model.	61
4.3	Résultats de prédiction	62
4.4	les résultats du test	62
4.5	Le calcul de MAE (mean absolute error) et le RMSE (Root Mean Squared Error).	62
4.6	Modèle d'apprentissage profond (DL) BI-LSTM.	63
4.7	Les couches de notre modèle	63
4.8	Les paramètres d'entraînement	63
4.9	L'évaluation de model.	64
4.10	Les résultat de prédictions	64
4.11	Plottage des résultats BI-LSTM	64
4.12	MAE et le MSE	65
4.13	l'erreur en fonction du nombre d'époques	65
4.14	le RMSE (Root Mean Squared Error)	66
A.1	La structure générale d'un condenseur à surface.	75
A.2	La bache alimentaire.	75
A.3	Corps haut pression (HP).	77
A.4	Corps Base pression (BP).	77
A.5	Corps Moyenne Pression (MP).	78
A.6	Réchauffeur(Vue de face).	79

A.7	Salle de controle.	83
A.8	Shéma synoptique du central.	84
C.1	catégorisation des pompes.	86
C.2	une pompe centrifuge	88
C.3	pompe centrifuge connectée à un moteur.	88
C.4	Rôle d'un capteur	91
C.5	Capteur de pression	92
C.6	détecteur de niveau	93
C.7	Capteur de température	93
C.8	Capteur de position	94
C.9	Relais	94
C.10	contacteur	95
C.11	Vannes motorisées électriques	96
C.12	Pompe	96
D.1	Logigramme de la pompe d'extraction 1	100
D.2	Table mnémonique.	101
D.3	Table mnémonique.	102
D.4	Table mnémonique.	103
D.5	Étape 1 en état de marche.	103
D.6	Étape 3 en état de marche.	104
D.7	Étape 5 en état de marche.	104
D.8	Étape 6 en état de marche.	105
D.9	Étape 51 en état de marche.	105
D.10	Étape 52 en état de marche.	106
D.11	Étape 53 en état de marche.	106
D.12	Étape 54 en état de marche.	107
D.13	Étape 51 en arrêt d'urgence.	107
D.14	Étape 52 en arrêt d'urgence.	108
D.15	Étape 53 en arrêt d'urgence.	108
D.16	Étape 54 en arrêt d'urgence.	109
E.1	GRAFCET de démarrage de circuit RM.	119

Liste des tableaux

1.1	Méthodes d'apprentissage profond pour l'ingénierie des fonctionnalités utilisées dans la maintenance prédictive	13
2.1	Organes d'isolement de la pompe.	21
2.2	Organes de contrôle de la pompe.	21
D.1	Désignation des codes alphanumériques.	97
D.2	Désignation des codes alphanumériques.	98
D.3	Désignation des codes alphanumériques.	99

Liste des sigles et acronymes

API	<i>Automate Programmable Industriel</i>
CPU	<i>Unité Centrale</i>
CP	<i>Precesseurs de communication</i>
BP	<i>Base Pression.</i>
DB	<i>Bloc de Données.</i>
FM	<i>Modules de fonction.</i>
FB	<i>Bloc Fonctionnel.</i>
FC	<i>Fonction</i>
HP	<i>Haute Pression.</i>
IHM	<i>Interface Homme Machine.</i>
MP	<i>Moyenne Pression.</i>
MPI	<i>Interface Multipoint.</i>
OB	<i>Bloc d'Organisation.</i>
RM	<i>l'eau d'extraction (condensât principal).</i>
RQ	<i>vapeur auxiliaire.</i>
RH	<i>soutirages basse pression.</i>
RN	<i>condensât secondaire.</i>
U D	<i>système eau déminéralisée</i>
VC	<i>eau de refroidissement.</i>
Win CC	<i>Centre de contrôle Windows.</i>
GTA	<i>groupe turbo alternateur</i>
RL	<i>circuit alimentation</i>
RC	<i>circuit de condensation. .</i>

DSP	<i>processeur de signal numérique.</i>
SFB	<i>blocs systèmes avec mémoire.</i>
SFC	<i>blocs systèmes sans mémoire.</i>
PLCSIM	<i>Simulation d'automate programmable..</i>
TOR	<i>Tout ou Rien.</i>
DI	<i>Entrée numérique..</i>
DQ	<i>Sortie numérique..</i>
CONT	<i>C'est un langage de programmation graphique 'contacte', 'LEADER' .</i>
LOG	<i>C'est langage de programmation graphique qui utilise des portes logiques.</i>
LIST	<i>Langage de base du logiciel STEP7. .</i>
DL	<i>Apprentissage profond. .</i>
BI-LSTM	<i>Mémoire bidirectionnelle à long court terme. .</i>
SARIMAX	<i>Moyenne mobile intégrée autorégressive saisonnière avec facteurs exogènes. .</i>

Introduction générale

Contexte

La **mécatronique** est le domaine du génie qui inclut le génie mécanique, le génie électronique et le génie informatique. L'objectif principal de la **mécatronique** consiste à automatiser les machines. Pour ce faire, l'industrie de l'automatisation a mis au point des systèmes électromécaniques et informatisés pour exercer un contrôle optimal sur ses processus industriels. Des modèles mathématiques pour développer des systèmes aux comportements désirés sont obtenus par commande électronique.

Entre-temps, les systèmes **mécatroniques** sont devenus plus complexes. Ils nécessitent désormais un processus de développement de systèmes basé sur des modèles pour garantir la fonctionnalité et la performance des attributs de conception. Les applications **mécatroniques** telles que les robots, les machines de production et les voitures électriques sont devenues indispensables dans notre société moderne. On a de plus en plus recours à des modèles de systèmes précis qui peuvent prédire le comportement complexe de ces applications mécatroniques.

Problématique

Pour cela, nous avons focalisé notre projet de fin d'études sur une problématique qui concerne l'automatisation d'un système **mécatronique** sous le titre du circuit RM de la pompe d'extraction au scène de la central électrique de CAP-DJINET. Notre travail repose sur la reconstruction d'une ancienne commande classique existante à la centrale par une autre commande plus évoluée et l'utilisation d'une technique d'apprentissage profond dans le cadre de prédire le comportement de la pompe d'extraction.

Objectifs

Nous comme futurs ingénieurs, nous allons essayer de développer un nouveau système de commande et de supervision du circuit RM en remplaçant les cartes électronique par un automate programmable industriel et on ajoute une interface de supervision. En se basant sur un automate programmable de type SIEMENS S7-1200, l'émigration sera faite à l'aide du logiciel d'automatisation TIA PORTAL. Notre deuxième objectifs c'est de faire une prédiction de notre système **mécatronique** (pompe d'extraction) en utilisant deux techniques d'apprentissage profond (DL) à base d'une base de données existante.

Organisation du mémoire

Ce mémoire est organisé en quatre chapitres :

Le premier chapitre “**État de l’art**” est consacré pour une partie théorique d’où nous allons définir les principaux éléments d’automatisation et de la supervision et nous décrivons les techniques d’apprentissage profond pour l’appliquer par la suite.

Le deuxième chapitre “**Étude de la pompe d’extraction**” est dédié à la description d’acheminement du circuit RM et la description de la pompe d’extraction elle-même, ses caractéristiques, composants et son cycle de fonctionnement.

Le troisième chapitre “**Automatisation et supervision du circuit RM**” est réservé pour la partie pratique de l’automatisation et la supervision d’où nous présenterons les étapes de programmations et l’interface de supervision .

Le quatrième chapitre “**Application d’apprentissage profond pour la prédiction**” traitera la partie programmation à l’utilisation de langage python pour but de prédire le comportement de la pompe d’extraction à base d’une base de donnée réel.

Enfin, on termine par une conclusion générale et quelques perspectives.

Chapitre 1

Etat de l'art

1.1 Introduction

La **mécatronique** est le domaine du génie qui inclut le génie mécanique, le génie électronique et le génie informatique. L'objectif principal de la **mécatronique** consiste à automatiser les machines. Pour ce faire, l'industrie de l'automatisation a mis au point des systèmes électromécaniques et informatisés pour exercer un contrôle optimal sur ses processus industriels. Des modèles d'intelligence artificiel son aussi utilisé pour améliorer le performance des systèmes **mécatronique**.

Dans ce chapitre, nous l'avons divisé en deux partie théoriques, la premier a pour but de donner les descriptions principal de l'automatisation et la deuxième a pour but de donnés des définitions générale sur la prédiction avec l'utilisation de l'apprentissage profond.

1.2 Partie théorique sur l'automatisation et la supervision

1.2.1 Objective de l'automatisation

Dans l'industrie, l'automatisation est devenue incontournable : elle peut être effectuée quotidiennement. les tâches les plus ingrates, répétitives et dangereuses. Il arrive que ces automatismes soient si rapides, et tellement précis qu'ils accomplissent des actions qui sont impossibles pour un être humain. L'automatisme est par conséquent. est le synonyme de la productivité et la sécurité.[3]

Le système automatisé de production industrielle doit aussi satisfaire aux exigences économiques et dans une certaine mesure, la flexibilité.[3]

Il existe deux concepts technologiques :[3]

- Les automatismes séquentiels.
- Les asservissements, la régulation ou « feedback control ».

Cependant, dans les systèmes complexes les plus modernes, ces deux types d'automatisation sont imbriqués. Ces éléments sont exprimables en termes d'objectif pour :

- Une meilleure rentabilité et compétitivité.
- L'amélioration de la flexibilité de production ainsi que la qualité du produit.
- Faciliter la traçabilité, l'intervention et la maintenance par un diagnostic rapide.
- Adaptation à des taches physique ou intellectuelles pénibles pour l'homme.

1.2.2 Les automates programmables industriels

1.2.2.1 Définition d'un API :

Système électronique à fonctionnement numérique, destiné à être utilisé dans un environnement industriel, qui utilise une mémoire programmable pour le stockage interne d'instructions orientées vers l'utilisateur pour la mise en œuvre des fonctions spécifiques telles que la logique, le séquençage, la synchronisation, le comptage et l'arithmétique, afin de commander, par des entrées et des sorties numériques ou analogiques, divers types de machines ou de processus.

L'API et ses périphériques associés sont destinés à être facilement intégrés dans un système de contrôle industriel et être utilisés facilement dans toutes leurs fonctions prévues.

1.2.2.2 Structure fonctionnelle de base d'un système API

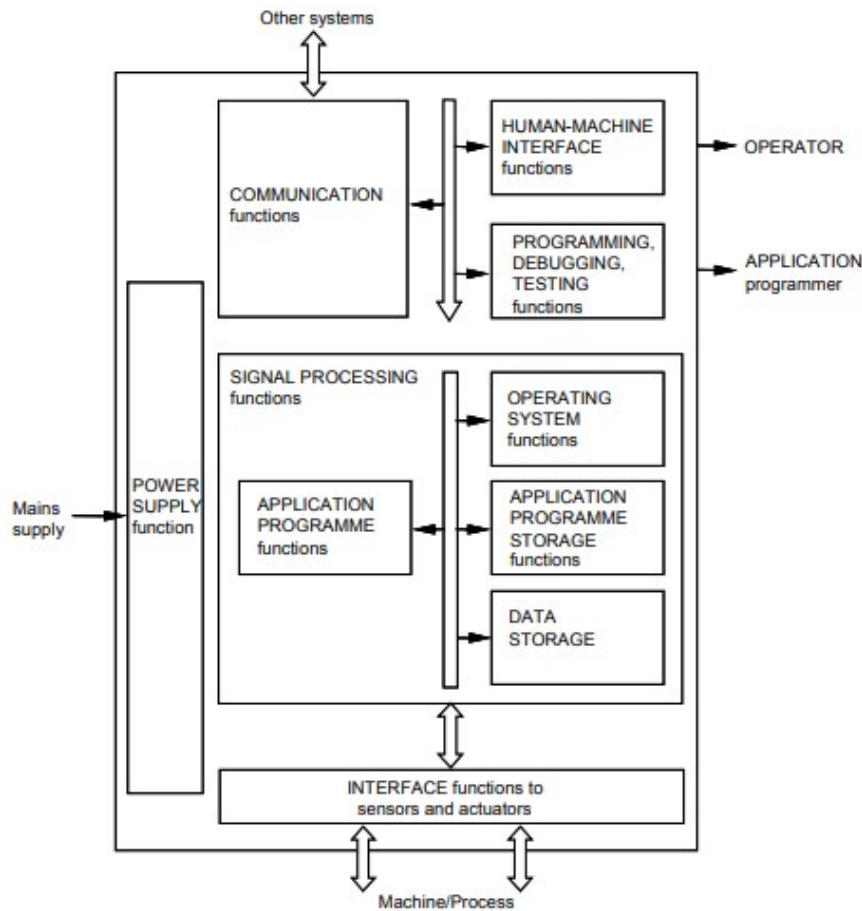


FIG. 1.1 : Structure fonctionnelle de base d'un système API.[1]

Description : La fonction de CPU comprend le stockage du programme d'application, le stockage des données, le système d'exploitation et l'exécution de la fonction du programme d'application.[1] Conformément au programme d'application, l'unité centrale analyse les signaux provenant des capteurs ainsi que de la mémoire de données interne et crée des signaux à destination des actionneurs ainsi que de la mémoire de données interne.[1] Fonction d'interface avec les capteurs et les actionneurs : La fonction d'interface avec les capteurs et les actionneurs convertit

- les signaux d'entrée et/ou les données obtenus de la machine/du processus en niveaux de signaux appropriés pour le traitement appropriés pour le traitement ;
- les signaux et/ou les données de sortie de la fonction de traitement des signaux en niveaux de signaux appropriés pour commander des actionneurs et/ou des affichages. Appropriés pour commander des actionneurs et/ou des écrans.[1]

Les modules spéciaux qui pré-traitent les entrées de capteurs externes selon les fonctions prescrites incluses dans les modules spéciaux eux-mêmes peuvent fournir des signaux d'entrée/sortie aux fonctions d'interface. Les modules PID, les modules de contrôle flou, les modules de compteur à grande vitesse, les modules de mouvement et d'autres modules uniques en sont des exemples.[1] Fonction de communication La fonction de communication échange des données avec d'autres systèmes (dispositifs tiers) tels que d'autres systèmes PLC, des contrôleurs de robot, des ordinateurs, etc.[1] Fonction d'interface homme-machine (IHM) L'interaction entre l'opérateur, la fonction de traitement du signal et la machine/le processus est rendue possible

par la fonction IHM.[1] Fonctions de programmation, débogage, test et de documentation Ce fonction permettent la création et le chargement de programmes d'application, ainsi que la surveillance, le test et le débogage des programmes d'application, ainsi que la documentation et l'archivage des programmes d'application.[1] Fonctions d'alimentation en énergie Les fonctions d'alimentation électrique permettent de convertir et d'isoler l'alimentation du système PLC de l'alimentation du réseau.[1]

1.2.3 Choix d'un automate programmable industriel :

Les critères de choix d'un API sont :Le nombre et la nature des entrée/sorties. La nature de traitement (temporisation, comptage...etc). Les capacités de traitement du processus (vitesse, taille du programme, opérations, temps réel ... etc). Le dialogue (la console détermine le langage de programmation). Les moyens de sauvegarde du programme (disquettes, cassettes.). La fiabilité et la robustesse. L'immunité aux parasites.

1.2.4 Présentation générale de l'automate S7-1200:

L'unité centrale S7-1200 est un contrôleur complexe avec une alimentation intégrée et une gamme de circuits d'entrée et de sortie embarqués. Après avoir téléchargé votre programme, l'unité centrale surveille les entrées et modifie les sorties en fonction de la logique de votre programme utilisateur, qui peut être simple ou complexe.

La logique booléenne, les compteurs, les horloges et les opérations mathématiques complexes en sont des exemples.

Pour communiquer avec un dispositif de programmation de programmation, l'UC fournit un port port PROFINET intégré. Avec le réseau PROFINET la CPU peut communiquer avec des panneaux IHM ou une autre CPU.

1.2.4.1 Caractéristiques de l'automate s7-1200 :

- **Flexibilité** : Prendre le contrôle de la communication
Les modules de communication augmentent la polyvalence de SIMATIC S7-1200 offrant plusieurs protocoles de communication ouverts comme la communication série, PROFIBUS, IO-Link, AS-Interface, PROFINET, Ethernet industriel, Télécontrôle ainsi que des protocoles verticaux et horizontaux innovants comme MQTT et OPC UA offrant d'énormes possibilités de stockage et d'analyse de données. Ces attributs sont la meilleure base pour la numérisation et sont les moteurs de nouvelles applications et modèles d'affaires tels que la maintenance prédictive ou Machine Learning.
- **Fonctionnalités** : Extensible individuellement :
SIMATIC S7-1200 dispose de modules dédiés qui augmentent la valeur ajoutée CPU offrant des tâches d'automatisation spécifiques :
 - Compteur d'énergie
 - Système de surveillance de l'état CMS
 - Systèmes de pesage SIWAREX
- **Intégration Edge** : La vision de l'analyse intelligente des données
La collecte, l'analyse, le traitement et la transmission des données dans un système automatisé sont de plus en plus importants. Basé sur SIMATIC Industrial OS, une plate-forme de commande multifonctionnelle et des dispositifs Industrial Edge sont déjà préparés aujourd'hui pour ces applications au niveau de la commande. Ils sont connectés via Ethernet

et peuvent être mis à l'échelle pour une utilisation avec n'importe quel processeur SIMATIC S7-1200. Ces appareils combinent les avantages d'un cloud avec les atouts d'une solution locale et permettent différents concepts d'acquisition et d'optimisation des données : local, cloud et hybride.

- **Extensibilité** : Compatibilité de programmation
SIMATIC S7-1200 et S7-1500 partagent le même cadre technique TIA Portal, donc en cas d'atteinte des possibilités maximales de SIMATIC S7-1200, il est possible de faire une simple mise à niveau du contrôleur vers SIMATIC S7-1500, aucun effort de migration n'est nécessaire.
- **Technologie intégrée** : Prêt pour la numérisation
SIMATIC S7-1200 possède des fonctions technologiques intégrées telles que HSC, PTO/PWM et Motion Control.

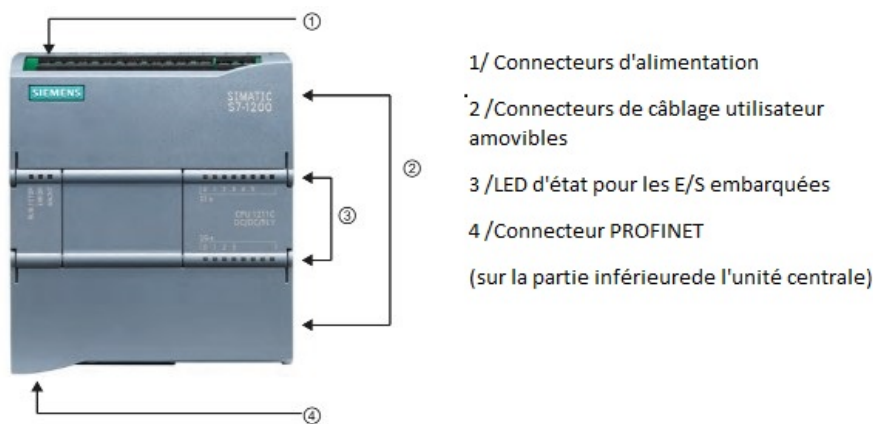


FIG. 1.2 : API S7-1200.

1.2.5 GRAFCET

1.2.5.1 Définition de Grafcet

Le GRAFCET (graphe fonctionnel de commande par étapes et transitions) est un outil visuel permettant de décrire les exigences d'un automate séquentiel. Il est construit sur les concepts d'étapes, qui sont liés aux activités et aux transitions. Il décrit les commandes envoyées par la partie commande au composant opérationnel en soulignant les actions qui sont créées et les circonstances qui les provoquent. Cette représentation est inextricablement liée au concept de progression du processus.

1.2.6 Les types de Grafcet

- **GEAFCET niveau 1 (fonctionnel)** : interprète la solution choisie pour une situation spécifique en décrivant la coordination des tâches opérationnelles. Il permet une connaissance globale du système.
- **GEAFCET niveau 2 (technique)** : fournit une interprétation qui prend en compte les décisions technologiques liées à la partie commande de l'automatisme.
- **GEAFCET niveau 3** : à la suite du second, il est possible d'introduire le programme de l'automate.

La figure 1.3 montre les niveaux de Graphcet :

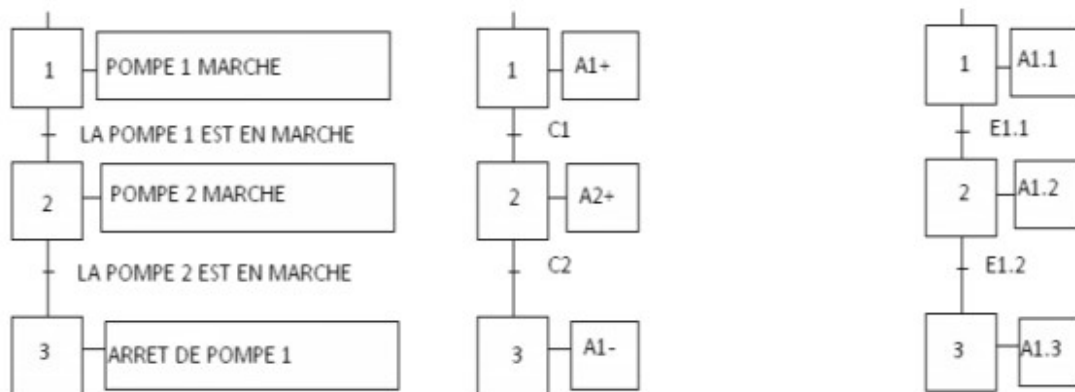


FIG. 1.3 : Les niveaux de Graphcet.

1.2.7 Programmation et développement

1.2.7.1 Définition de logiciel TIA PORTAL V16

TIA Portal est le logiciel qui vous donne accès au TIA (completely integrated automation) de Siemens. TIA Portal permet d'optimiser chaque machine d'exploitation et chaque procédure de processus. Siemens intègre tous ses nouveaux développements et ses technologies d'avenir dans le portefeuille de matériel TIA et intègre les fonctions correspondantes dans le TIA portail. Cela vous donne un accès illimité à la gamme complète de services d'automatisation numérisés, de la planification numérique à l'ingénierie intégrée et à l'exploitation transparente. Réduisez les délais de mise en service grâce aux outils de simulation, augmentez la productivité de l'usine grâce à des diagnostics supplémentaires et à des capacités de gestion de l'énergie, et augmentez la flexibilité en vous connectant au niveau de la gestion. La figure 3.11 montre l'interface de TIA PORTAL V16.

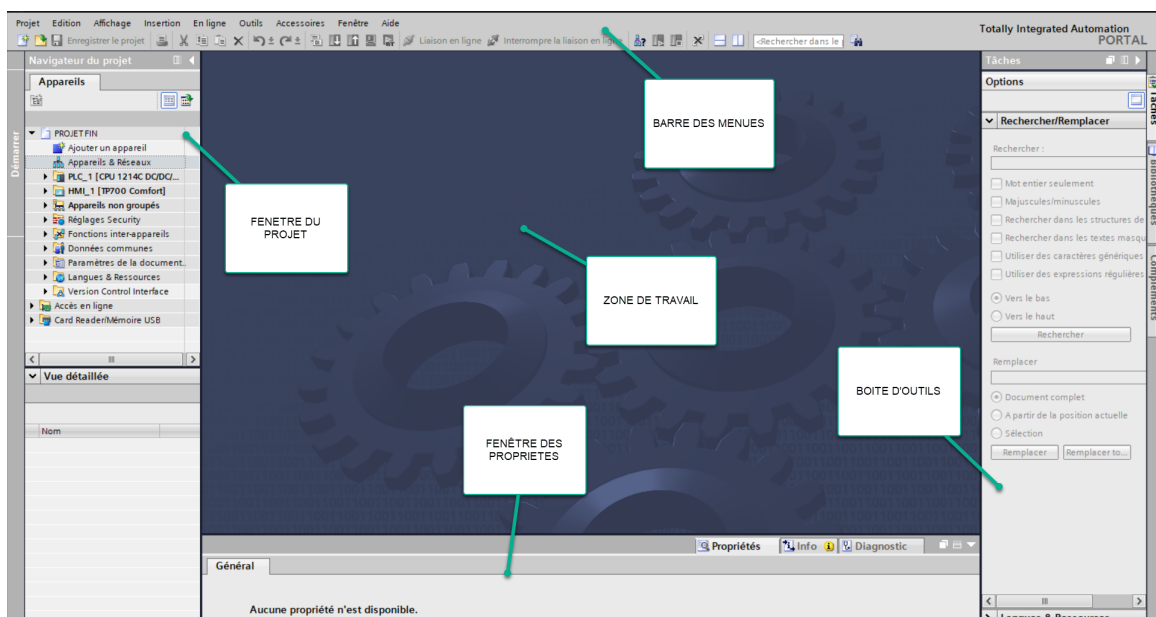


FIG. 1.4 : Interface de TIA PORTAL V16.

1.2.7.2 Les langages de programmation API

Pour créer un programme sous TIA portal, on dispose de quatre langages de programmation CONT, LIST, LOG et LD :

- **Programmation par diagrammes logiques (LOG)** : est un langage de programmation graphique qui utilise les boîtes de l'algèbre de Boole pour exprimer des opérations logiques et des fonctions compliquées.
- **Programmation à liste (LIST)** : Il s'agit d'un langage de programmation textuel convivial pour les machines. Les différentes instructions de cette programmation correspondent, pour une part importante, aux phases par lesquelles l'unité centrale traite le programme. LIST a été enrichi de certaines constructions linguistiques sophistiquées (paramètres de bloc et accès structuré aux données) pour faciliter la programmation.
- **Programmation à langage ladder (LD)** : Ladder Diagramme (LD) où Langage Ladder où schéma à contacts est un langage graphique très populaire auprès des automaticiens pour programmer les automates programmables industriels. Il ressemble un peu aux schémas électriques, en plus il est facilement compréhensible.
Dans notre projet nous avons utilisé le langage Ladder(LD) pour la programmation de l'API.

1.2.8 Supervision et développement

1.2.8.1 Définition de la supervision

L'opération de surveillance d'un processus consiste à recueillir en permanence ses signaux et ses directives afin de reconstruire le processus et de recréer son état réel de fonctionnement. La surveillance représente donc l'état réel de fonctionnement à partir des données du système. données du système pour représenter son état de fonctionnement actuel (normal ou anormal). L'objectif du diagnostic est d'identifier l'origine d'un ensemble de symptômes (écarts par rapport au fonctionnement normal) qui indiquent la détérioration ou la défaillance d'un composant du système, qui entraîne à son tour un comportement anormal d'autres composants du système.[4][2]

la figure 1.5 montre l'architecture générale d'un système de supervision.

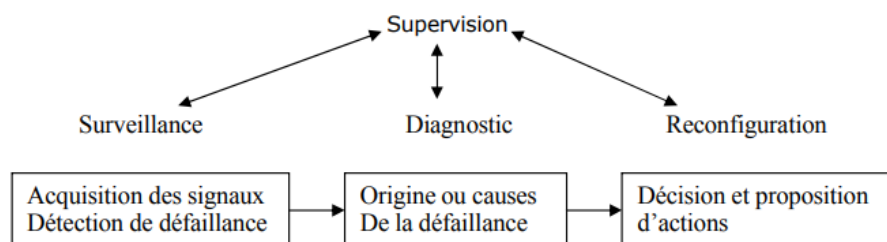


FIG. 1.5 : Architecture générale d'un système de supervision.[2]

1.2.8.2 Avantages de la supervision

- Contrôler la disponibilité de la fonctionnalité et des services.[4]
- Contrôler l'utilisation des ressources.[4]
- Localisation et détection des défauts.[4]
- Diagnostic des pannes.[4]

- Suivi les variables.[4]
- Traitement des alarmes.
- Surveiller le processus à distance.

1.2.8.3 La commande par supervision

Elle consiste à donner des instructions au processus pour le faire évoluer. et l'acquisition des données qui permettent de vérifier que les instructions données au processus créent précisément les résultats attendus.ainsi que paramétrage davantage les dispositifs de contrôle.

1.2.8.4 Choix de l'IHM (TP700 COMFORT)

Définition d'une IHM Interface Homme Machine est un dispositif qui permet le dialogue entre l'opérateur et la machine[5].Une IHM réalise deux fonctionnalité :[5]

- Opérateur peut voir des information à partir de l'IHM.
- Permettant à l'opérateur de soumettre des commandes ou des instructions pour affecter le système des directives ou des consignes.

Selon le respect des qualités physiques et psychophysiologiques, les lignes directrices pour la conception d'une IHM sont les suivantes :[5]

- Lisibilité suffisante, aucune information donnée sur la seule base d'un changement de couleur.[5]
- Les informations les plus souvent consultées doivent être situées dans des zones[5] régulièrement vues par l'œil.
- Des signaux sonores de fréquence suffisamment basse (inférieure à 800 Hz).[5]

Caractéristique technique de la TP700 COMFORT Voici quelques caractéristiques techniques de la TP700 COMFORT :

- **Écran** : TFT 7.0°
- **Nombre du couleur** : 16M.
- **Résolution** : 800*480 pixel.
- **Exécution à écran tactile** : OUI.
- **Position de montage** : Vertical.
- **Type de tension d'alimentation** : CC.
- **Valeur nominal (CC)** : 24V.
- **Courant d'entrée** : 0,5A
- **Puissance active absorbée** : 12W.
- **Type de processus** : X86.
- **Nombre d'interfaces Industrial Ethernet** : 1; 2ports (commutateur).
- **PROFINET,PROFIBUS,MPI** : OUI.
- **TCP/IP,DHCP,SNMPO,DCP,LLDP** : OUI.

1.3 Partie théorique sur les techniques de l'apprentissage profond (deep learning)

1.3.1 Définition de la maintenance prédictive :

Il s'agit plus que d'une simple maintenance préventive destinée à surveiller l'état de l'équipement et à effectuer des évaluations périodiques pour identifier la progression de la dégradation de l'équipement et la durée de l'intervention. Comme les actions ne sont effectuées que lorsqu'elles sont appropriées, cette stratégie offre des réductions de coûts par rapport à la maintenance préventive régulière ou basée sur le temps. Par conséquent, elle est considérée comme une maintenance conditionnelle effectuée conformément aux évaluations de l'état de détérioration d'un élément.[6]

1.3.2 Objective la maintenance prédictive :

L'idée de la maintenance prédictive est de projeter l'état actuel d'un système dans le futur, afin d'en estimer sa durée de vie restante (i.e., durée de fonctionnement avant défaillance), d'éliminer les temps d'arrêt imprévus, d'améliorer la disponibilité/fiabilité globale des systèmes et de réduire les coûts d'exploitation, ou de calculer sa probabilité pour qu'il fonctionne durant un certain temps ainsi que le risque d'existence ou d'apparition ultérieure d'un ou de plusieurs modes de défaillance.[7] Établir une stratégie de maintenance basée sur l'état d'usure réelle des équipements, et non sur une durée de vie théorique (maintenance préventive). Pour cela, il y a différents niveaux de surveillance : inspections visuelles, relevées instrumentées, mais ces mesures restent ponctuelles, et donc insuffisantes pour connaître l'état des équipements en continu. Avec les capteurs connectés, on peut aller un cran plus loin pour suivre en temps réel le fonctionnement et être alerté lorsqu'un seuil défini est dépassé. Toutes ses actions permettent donc de réduire la fréquence des pannes tout en optimisant la fréquence des interventions préventives.[8] Lorsque la maintenance prédictive fonctionne efficacement comme stratégie de maintenance, elle n'est effectuée sur les machines qu'en cas de besoin. C'est-à-dire, juste avant qu'une panne ne soit susceptible de se produire. Cela va produire grandes économies de coûts :

- Réduction du temps d'entretien de l'équipement.
- Réduction des heures de production consacrées à la maintenance.
- Réduction du coût des pièces de rechange et des équipements.[8]

1.3.3 Modèle statistique pour la maintenance prédictive

C'est une approche qui utilise des formules mathématiques et des techniques exploitées dans l'analyse statistique pour résoudre des tâches d'apprentissage machine. L'application de méthodes statistiques extrait des informations à partir de données de recherche brutes et fournit une variété de méthodes d'évaluation de la robustesse des résultats de la recherche. Cette approche permet, en particulier, l'évaluation de la fiabilité et l'efficacité de modèles en phase de conception. Détermination des tendances et l'établissement des pronostics. Elle utilise deux méthodes, la première est le système expert et la deuxième méthode est la corrélation qui se concentre sur le calcul du coefficient de corrélation ainsi que le concept de la corrélation linéaire afin de déterminer la fiabilité des prévisions.

1.3.4 Les modèles statistique utilisé dans maintenance prédictive

- Moyenne mobile intégrée auto régressive (ARIMA).
- Moyenne mobile intégrée auto régressive Saisonnier(SARIMA).
- SARIMAX(Modélisation SARIMA avec facteur exogène).

1.3.5 Les méthodes Apprentissage profond utilisé dans maintenance prédictive :

- Réseau neuronal convolutif (CNN).
- Machine de Boltzmann restreinte (RBM).
- Les réseaux de neurones récurrents (RNN).
- Auto-encodeurs
- Long- and Short-Term Memory Networks (LSTM)

1.3.6 étude comparative entre les méthodes Apprentissage profond utilisé dans maintenance prédictive

Le tableau suivant illustre une étude comparative entre ces différentes méthodes.

TAB. 1.1 : Méthodes d'apprentissage profond pour l'ingénierie des fonctionnalités utilisées dans la maintenance prédictive

techniques d'apprentissage profond	Principe	Avantages	Limites
CNN	prend les données, entraîne le modèle par convolution des filtres d'entrée, puis extrait les caractéristiques automatiquement pour une meilleure classification, combiné avec des méthodes de pooling pour réduire la dimension	Robuste et évolutif, Plus rapide que les modèles ML traditionnels en production et Moins de temps d'entraînement et de données.	La structure nécessite des calculs complexes, Entraînement plus lent en raison du grand nombre de poids.
RNN	La régression modélise les séries temporelles et les données séquentielles en propageant l'information d'état à travers le temps.	Présente la corrélation temporelle pour une série de données temporelles, des architectures spéciales comme LSTM	Il est difficile de maintenir les dépendances à long terme par la formation.
AE	Réduction de la dimensionnalité et encodage via l'apprentissage non supervisé de données variables	Faible complexité,	Nécessite plus de ressources : données de calcul et d'apprentissage.
DBN	formé de manière non supervisée pour réduire la dimension. Ensuite, il peut être entraîné à nouveau avec des données classées pour effectuer la classification des données.	peut effectuer diverses tâches	Entraînement très lent et inefficace.
RBN	Les variables de la couche cachée relient l'entrée et la sortie.	ne nécessite pas d'apprentissage d'étiquettes	coût de calcul élevé
LSTM	Il s'agit d'un type de réseau neuronal récurrent avec des connexions de rétroaction, ce qui signifie qu'il peut traiter des séquences complètes de données, en particulier dans le cadre de la prédiction, en plus de points de données uniques	résoudre le problème du gradient évanescant et explosif rencontré dans un réseau neuronal récurrent classique.	nécessitent plus de mémoire pour l'entraînement et un coût de calcul élevé

1.4 Conclusion

Après avoir présenté la partie théorique sur l'automatisation du circuit RM et la prédiction avec l'utilisation de l'apprentissage profond, d'où nous avons défini les principaux équipements pour réaliser notre démarche, ainsi que présenter l'environnement d'où nous avons effectuer notre programmation pour objectif de simplifie et organiser la circulation des informations à propos de notre projet.

Dans le prochain chapitre nous présenterons les composants de la pompe d'extraction, et l'acheminement du circuit RM.

Chapitre 2

Étude de la pompe d'extraction

2.1 Introduction

Les pompes sont des dispositifs qui modifient la pression dans les directions d'entrée et de sortie des tuyaux. Selon les circonstances d'utilisation. Dans ce chapitre, nous étudierons la pompe de la centrale électrique Ras-Djanet afin de comprendre son fonctionnement et son influence sur le système de la centrale thermique.

2.2 Le circuit RM

Ce circuit commence à la sortie du condenseur et passe par les pompes d'extraction, les refroidisseurs d'été, les refroidisseurs d'alternateur, les refroidisseurs de vapeur, les refroidisseurs de vapeur de service, les éjecteurs de vapeur de service et les réchauffeurs basse pression avant d'arriver au dégazeur du système.

Appartiennent aussi le au système RM les conduites menant à la station de contournement basse pression, au poste de contournement vapeur auxiliaire de l'alimentation secours dans le système Noria ainsi que celles menant à la bache tampon.[9]

2.3 Acheminement du condensât principal (RM)

Le condensât s'échappe de la sortie du condenseur par une des pompes d'extraction, chacune prévue pour 100%. Ces pompes sont construites sur le type pompe centrifuge à 3 étages.

La pompe d'extraction RM 21 D001 et la pompe d'extraction RM 22 D001 acheminent le flux de condensât à travers les organes d'arrêt et les clapets de retenue, dans le collecteur RM 32. Celui-ci alimente le réfrigérant d'alternateur avec une partie de l'écoulement (à peu près 50 %), qui peut être amenée directement à travers les réfrigérants d'été VC 53 W001 au VC 54 W001, au choix.

L'autre partie de l'écoulement s'achemine par la conduite RM 30, munie d'une soupape de réglage, dans la conduite RM 32, Puis ramène le condensât du réfrigérant de l'alternateur.

Plus loin dans la conduite RM 30 est placé le réfrigérant des buées avec robinet terrie. Le condensât traverse après cela les condenseurs, monté en parallèle, des éjecteurs de vapeur de service SL 13 B001 et SL 14 B001 par les conduites RM 37 et RM 38. Le collecteur RM 40 amène le flux de condensât, en passant par un orifice de mesure, des soupapes de réglage et des clapets de retenue, jusqu' à l'entrée du réfrigérant de condensât RH 10 W002. De la sortie de celui-ci les conduites RM 51/52/53 mènent aux réchauffeurs basse pression RH 10 W001, RH 20 W001, RH 30 W001. le condensât réchauffé arrive, par la vanne à moteur RM 50 S003 et des organes d'arrêt, dans la bache alimentaire RH 40 B001 avec une température de 114°C. Ici se passe encore un dégazage complet « STORK ».

Les réchauffeurs basse pression peuvent être verrouillés par une vanne actionnée par moteur et peuvent être contournés par le by-pass RM 50.

Du collecteur RM 32 part l'alimentation RM 31 du ballon de détente appartenant au by-pass basse contournement moyenne pression du système vapeur auxiliaire RQ avec du condensât d'injection, pour la régulation de la température.

Le raccordement avec le ballon de détente de condensât de la turbine SD a lieu par la conduite RM 42, qui, au besoin, alimente aussi le système de condensât secondaire RN. Une quantité de condensât, réglée suivant le niveau dans la bache alimentaire, est retransportée, par la conduite RM 61, dans la bache tampon RM 60 B001.

Cette bache tampon est maintenue à faible surpression. Le réservoir est équipé avec un filtre

CO2. Une mesure de niveau commande l'arrivée d'eau déminéralisée venant du système UD. Si le niveau de la bache alimentaire baisse, le condensât va alors être conduit dans le condenseur par la soupape de réglage RM 60 S002 et la conduite RM 62.

Si la turbine est déclenchée, la vapeur va alors être soufflée dans le condenseur par le poste de contournement. L'eau de refroidissement nécessaire va être repiquée de la conduite RM 63 et injectée dans le condenseur pour refroidissement.

La quantité de condensât dans la pompe est réglée au moyen de la soupape de réglage RM 40 S001 et ce en rapport avec le niveau dans le condenseur. La soupape de réglage RM 61 S001 sert à la régulation du niveau de la bache alimentaire et ouvre, si le niveau monte, Le parcours RM 61 jusqu' à la bache tampon RM 60 B001.

Si le niveau de la bache alimentaire baissée, le condensât de la bache tampon va être dirigé dans le condenseur par la soupape de réglage RM 62 S002. De cette manière le niveau du condensât s'élève et la soupape de réglage RM 40 S001 amène plus de condensât dans la bache alimentaire. Si le débit de la pompe baisse, le diaphragme de mesure placé en aval commande la soupape RM 40 S001 et assure le débit minimal d'écoulement grâce à une ré-injection dans le condenseur.

Le circuit de refroidissement de l'alternateur est réglé par la soupape RM 30 S001. La mise en marche des pompes de condensât s'appuie sur les critères suivants :

- Le niveau du hotwell est au-dessus du niveau minimal.
- La conduite est fermée par la soupape de réglage RM 40 S001 du condensât et la soupape de réglage du contournement RM 40 S001 est ouverte.
- Le niveau des réchauffeurs basse pression est faible que le niveau maximal.
- Le niveau de la bache alimentaire est plus que le niveau maximal.

Ce réglage a, pour but de maintenir dans les limites données le niveau de la bache alimentaire. Si le niveau monte au-dessus d'une valeur donnée, la soupape RM 60 S001 s'ouvre et une partie du condensât s'écoule dans le réservoir de condensât. De ce fait le niveau dans la bache alimentaire diminue. Au contraire si le niveau dans la bache alimentaire est trop petit, la soupape RM 62 S002 s'ouvre et le condenseur est ré-alimenté. De ce fait le niveau dans la bache alimentaire monte.

L'alternateur SP dispose en propre d'un réfrigérant d'alternateur SS alimenté en hydrogène.

Le réfrigérant H2 est réfrigéré par un écoulement partiel du condensât (100-210 t/s). Pression SF de la turbine. [9]

Du condensât peut être soutiré de la conduit RM 40, selon les besoins, par l'intermédiaire de la soupape RM 41 S001 et retransporté dans le condenseur afin de garantir un débit minimal de circulation dans la pompe. La conduite RM 36 alimente le poste de Le réglage pour but de maintenir la valeur de température donné.[9]

Les températures d'entrée et de sortie de H2, ainsi que l'indication du débit dans le flux de condensât servent de paramètres.

Si la température de l'hydrogène s'élève, la soupape de réglage RM 30 S001 se ferme et une plus grande quantité de condensât est amenée par le réfrigérant d'alternateur.[9]

Si la température s'écarte en dessous de la valeur de consigne, la soupape de réglage s'ouvre. la position de la soupape (0-100%) est saisie par la régulation et indiquée au pupitre de commande. [2] Voir figure 2.1.

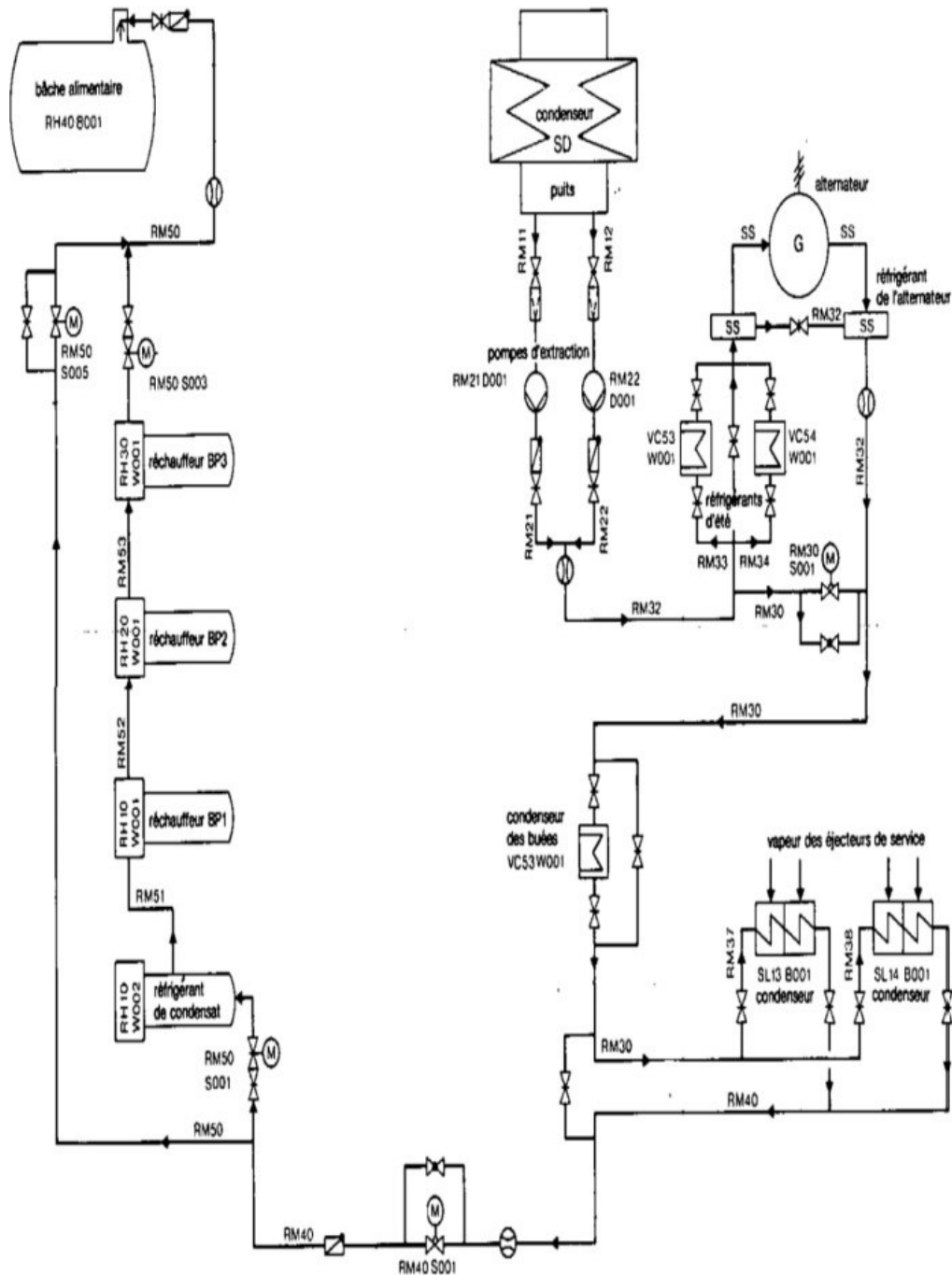


FIG. 2.1 : Schéma de conduite principale de condensat primaire simplifié.

2.4 Pompe d'extraction

2.4.1 Définition et rôle de la pompe d'extraction

Sont des pompes de type centrifuge, pour rôle d'acheminer le condensât principal à la sortie du condenseur jusqu'à la bâche alimentaire en passant par les réchauffeurs basse pression, les réfrigérants d'été, les réfrigérants d'hydrogène et le condenseur des buées ainsi que les éjecteurs de service. Les réfrigérants d'hydrogène est-elle alimente la bâche alimentaire à 16.8 bars.[9]

2.4.2 Caractéristique

- **Hauteur totale (pression de service) :** 16.8 bars.
- **Hauteur à débit nul :** 19.7 bars.
- **Débit nominal :** 414 m³/h.
- **Puissance :** 300KW.
- **Tension :** 6.3 KV.
- **Vitesse de rotation :** 1479 tr/min.[9]

2.4.3 Description générale de la pompe d'extraction

Les pompes d'extraction constituent un groupe de machines particulièrement exposées à la cavitation.

En effet, d'un côté elles doivent aspirer l'eau condensée sous un vide de quelques pour cent seulement au-dessus du vide absolu, de l'autre, ce qu'est encore plus défavorable, elles reçoivent à l'aspiration un mélange d'air et de vapeur lorsque le débit d'eau condensée diminue et devient inférieur à celui de la pompe. Le corps et les tuyauteries de raccordement doivent donc être établis de telle sorte que ces pièces ne comportent pas de poche d'air, c'est-à-dire que l'air et la vapeur existant dans la pompe puissent s'échapper vers le haut. Dans le cas des pompes verticales par exemple, si la pompe n'est pas en charge dans une cuve sous vides et si la roue ne comporte qu'une ouïe, ces derniers doit être diriger vers le haut pour que les bulles de vapeur et d'air qui peuvent se dégager dans l'ouïe sous l'effet de la dépression remontent sans difficulté à la partie haute de la chambre d'aspiration, d'où elles sont évacuées par une tuyauterie reliée au condenseur. Cette partie haute de la chambre d'aspiration est désignée dans la littérature technique américaine et anglaise sous le nom (d'air-trap).

2.4.4 Description mécanique

Un corps cylindrique fixe communique avec les orifices d'aspiration et de refoulement à l'intérieur se trouve un cylindre. Le rotor, tangent intérieurement au corps de la pompe et dont l'axe est excentré par rapport à celui du corps. Le rotor est muni de 2 à 8 fenêtre diamétralement opposées deux à deux, dans lesquelles glissent des palettes que des ressorts différents capacités comprise entre les cylindres et les palettes en créant ainsi une aspiration du liquide d'un coté de refoulement de l'autre.[9] voir figure 2.2.

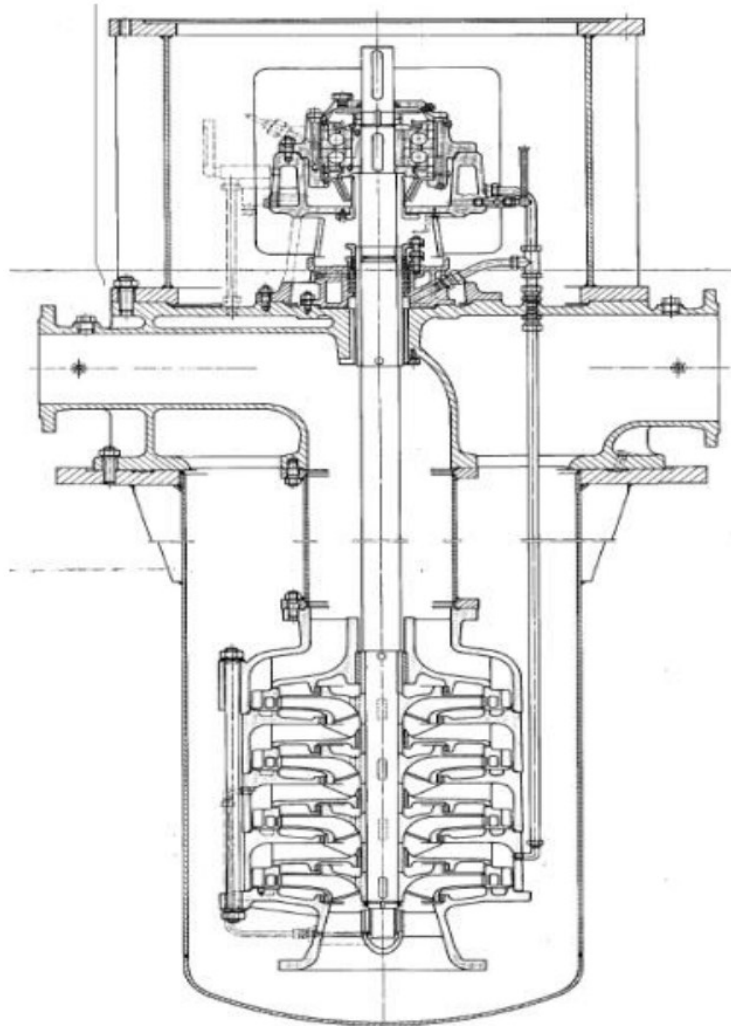


FIG. 2.2 : Schéma de la pompe d'extraction.

2.4.5 Organe d'isolement et de contrôle

La pompe d'extraction contient des organes d'isolement et de contrôle qui possèdent un rôle très important dans son fonctionnement. Voir les tableaux 2.1 et 2.2.

Repère	Désignation
RM11/12 S001	Vanne d'isolement amont
RM21/22 S001	Vanne d'isolement aval

TAB. 2.1 : Organes d'isolement de la pompe.

Repère	Désignation
RM21/22 POO1	Pression de refoulement de la pompe d'extraction.
RM11/12 P002	Pression d'aspiration de la pompe d'extraction.
RM21/22 L001	Niveau huile palier
RM21/22 T001	Température eau d'extraction sortie de la pompe.
RM21/22 T002	Température eau réfrigération palier.
RM21/22 T003	Température palier de la pompe.

TAB. 2.2 : Organes de contrôle de la pompe.

2.5 Commandes du système d'eau de la pompe d'extraction

Avant d'entamer la disposition du système d'eau de la pompe d'extraction et la séquence de démarrage d'une pompe d'extraction, il est nécessaire, pour le futur chef de bloc, d'avoir certaines notions de technique de commande ISKAMATIK utilisés dans la centrale de Ras-Djanet ci-joint un schéma de la commande de la centrale. La disposition du système d'eau de la pompe d'extraction fait partie de la commande de groupes fonctionnels (programme progressif).[9]

2.6 Démarrage et arrêt d'une pompe d'extraction

La séquence d'arrêt et de démarrage de la pompe d'extraction passe par une carte électronique appelée carte de commande d'organes de puissance (AS11). Figure 2.3 Elle reçoit des ordres actifs de protection (P) et des signaux de libération (L) et le cas échéant des ordres automatiques de la commande des groupes fonctionnels. Elle traite logiquement les ordres d'entrée d'après leur priorité et délivre des ordres aux organes de puissance pour la commande manuelle et la signalisation des organes de puissance, les organes de commande suivants, sont prévus au poste de commande (pupitre).

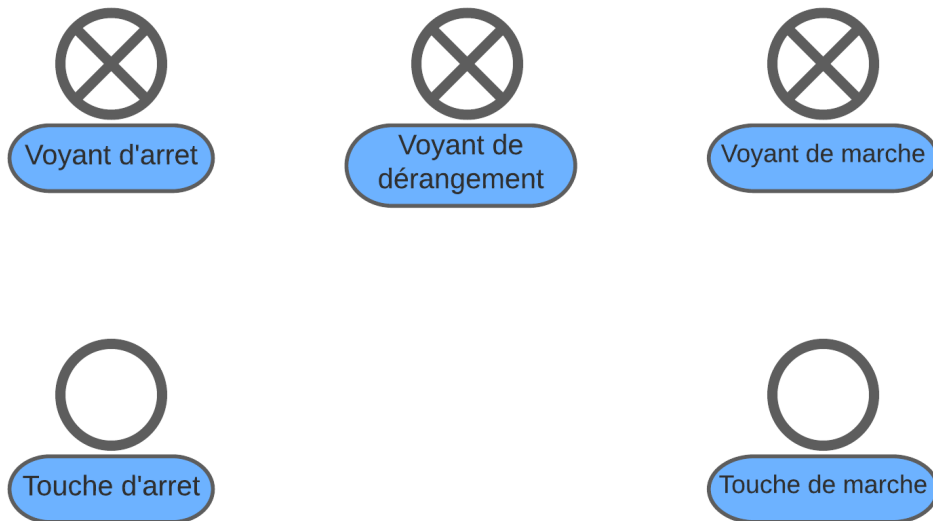


FIG. 2.3 : La carte de commande d'organe de puissance AS11.

2.6.1 Les états des composants de signalisation optique

Le voyant lumineux ont la signification suivante :

- **Etat de marche** : Lorsque le programme de la pompe d'extraction est en état de marche la lampe de validation de l'état de marche est allumée (voyant de marche).
- **Etat d'arrêt** : Lorsque le programme de la pompe d'extraction est en état d'arrêt la lampe d'arrêt est allumée (voyant arrêt).
- **Etat de défaut** : Si on a un problème dans le programme de la pompe d'extraction, la lampe de défaut est allumée (voyant dérangement).

2.7 Conclusion

Pour automatisé un dispositif, il faut identifier les capteurs qui nous donnent sont état à chaque instant et également ses actionneur avec lesquels on pourra agir sur son fonctionnement.

On a déduit que la pompe d'extraction joue un rôle très important et essentiel pour le fonctionnement de bloc de production électrique de la centrale de Ras-Djanet.

Le chapitre suivant sera consacré pour l'automatisation et la supervision de notre Circuit RM de la pompe d'extraction.

Chapitre 3

Automatisation et supervision du circuit RM

3.1 Introduction

Nous avons divisé ce chapitre en deux sous-chapitres d'où nous présentons la partie programmation pour établir un programme adéquat pour notre système, et la partie supervision pour surveiller l'état de circuit RM.

3.2 Le logigramme fonctionnel séquentiel de la pompe d'extraction(Circuit RM)

Dans cette partie on présente le logigramme séquentielle de notre système(Circuit RM),ce logigramme nous l'avons considéré comme le point de départ pour le traduire en langage Ladder :

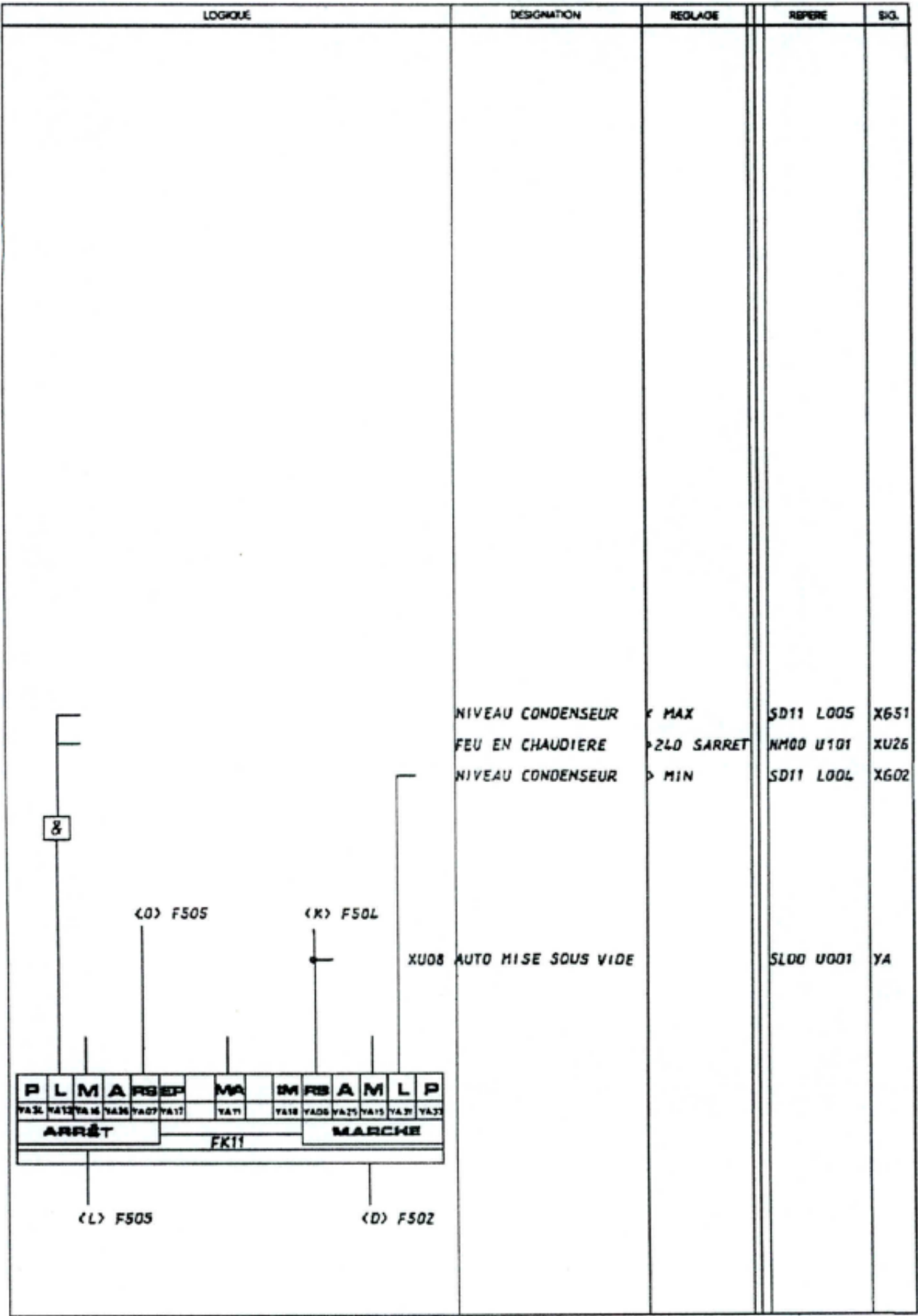


FIG. 3.1 : Logigramme du Circuit RM.

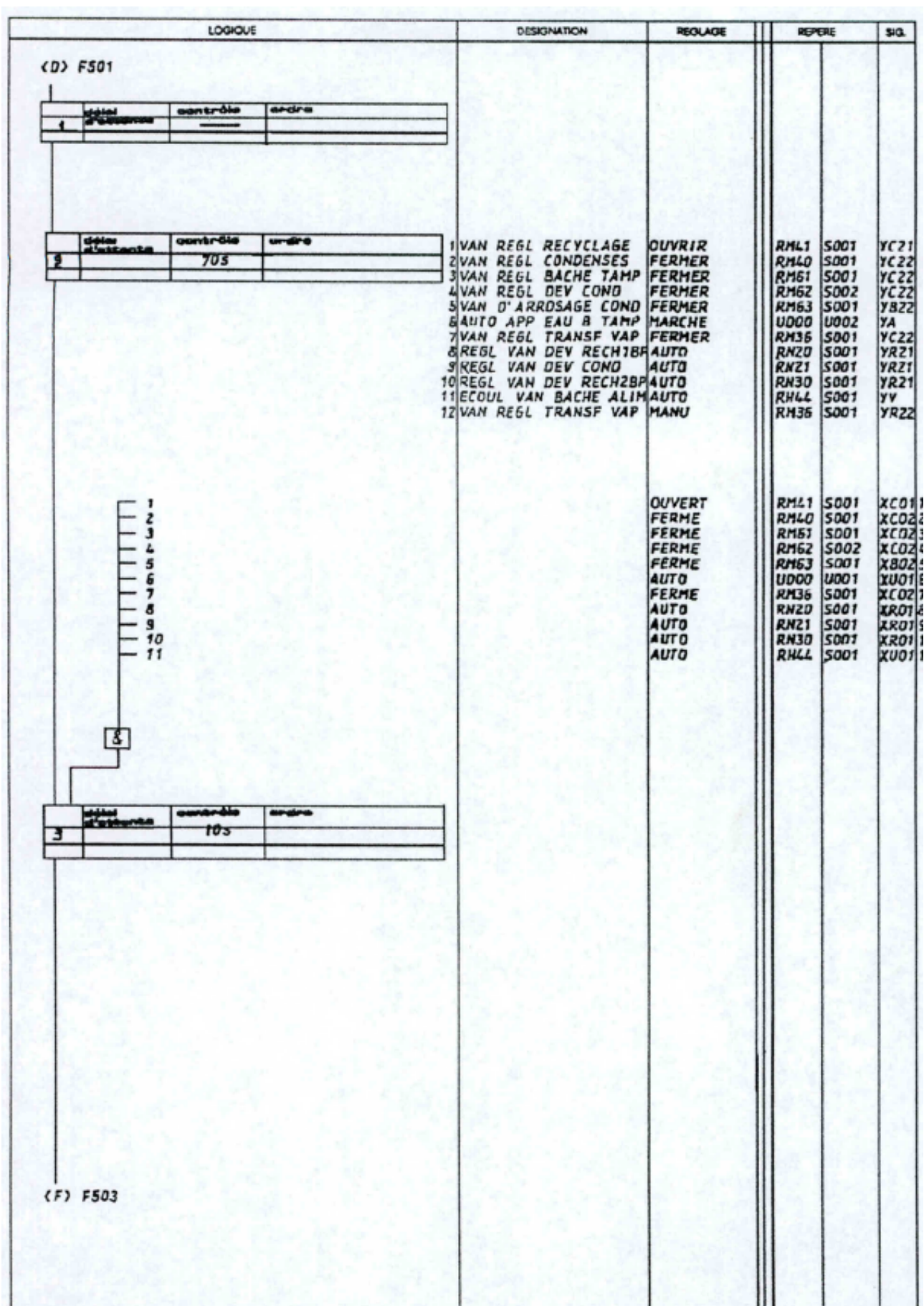


FIG. 3.2 : Logigramme du Circuit RM MARCHE.

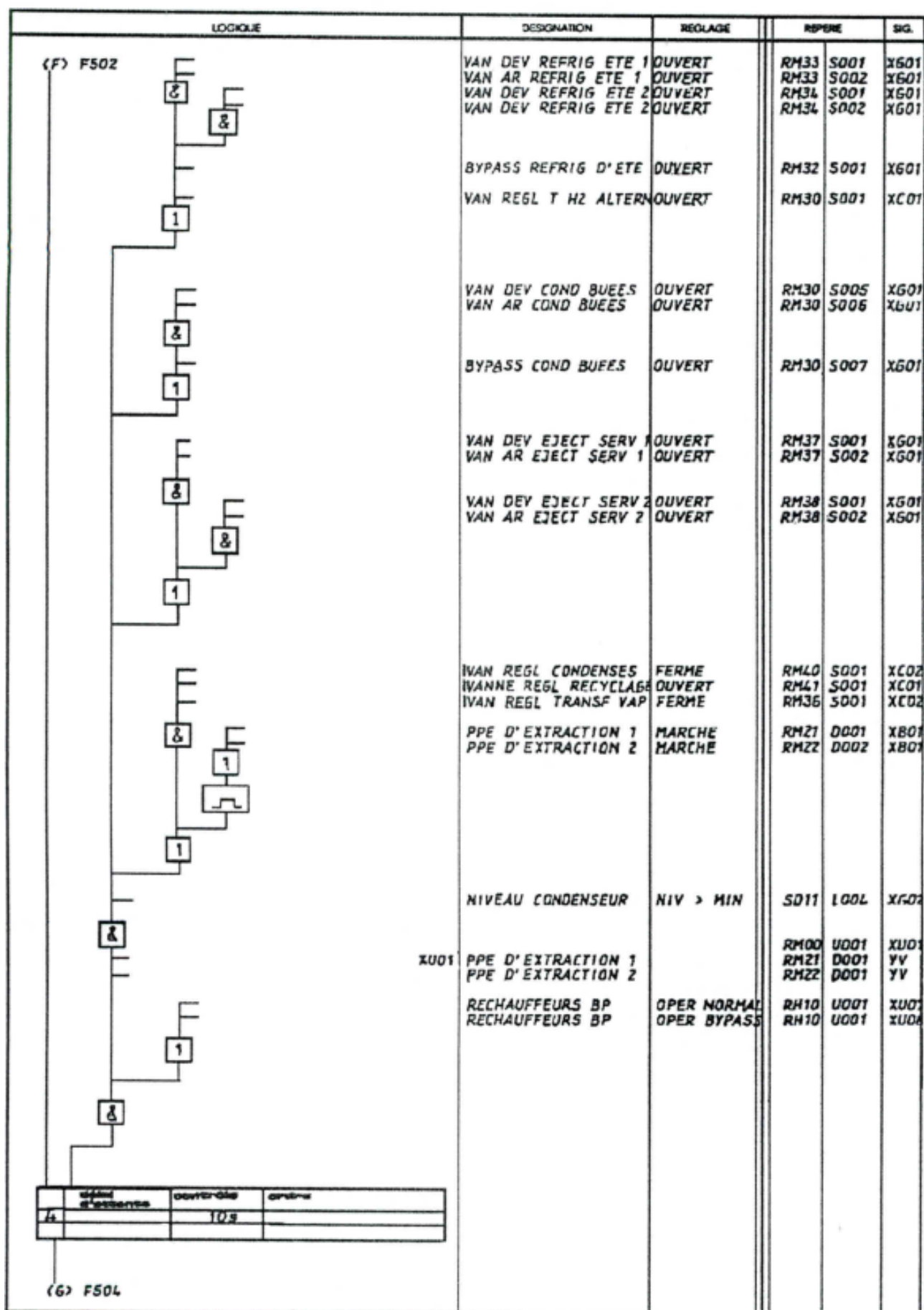


FIG. 3.3 : Logigramme du circuit RM MARCHÉ

28

29

3.3 GRAFCET de circuit RM

Nous avons traduit le logigramme de Circuit RM en Grafcet d'où nous l'avons divisé en 3 Grafcet ,Grafcet de démarrage,d'arrêt, et de sécurité

3.3.1 GRAFCET de démarrage de circuit RM

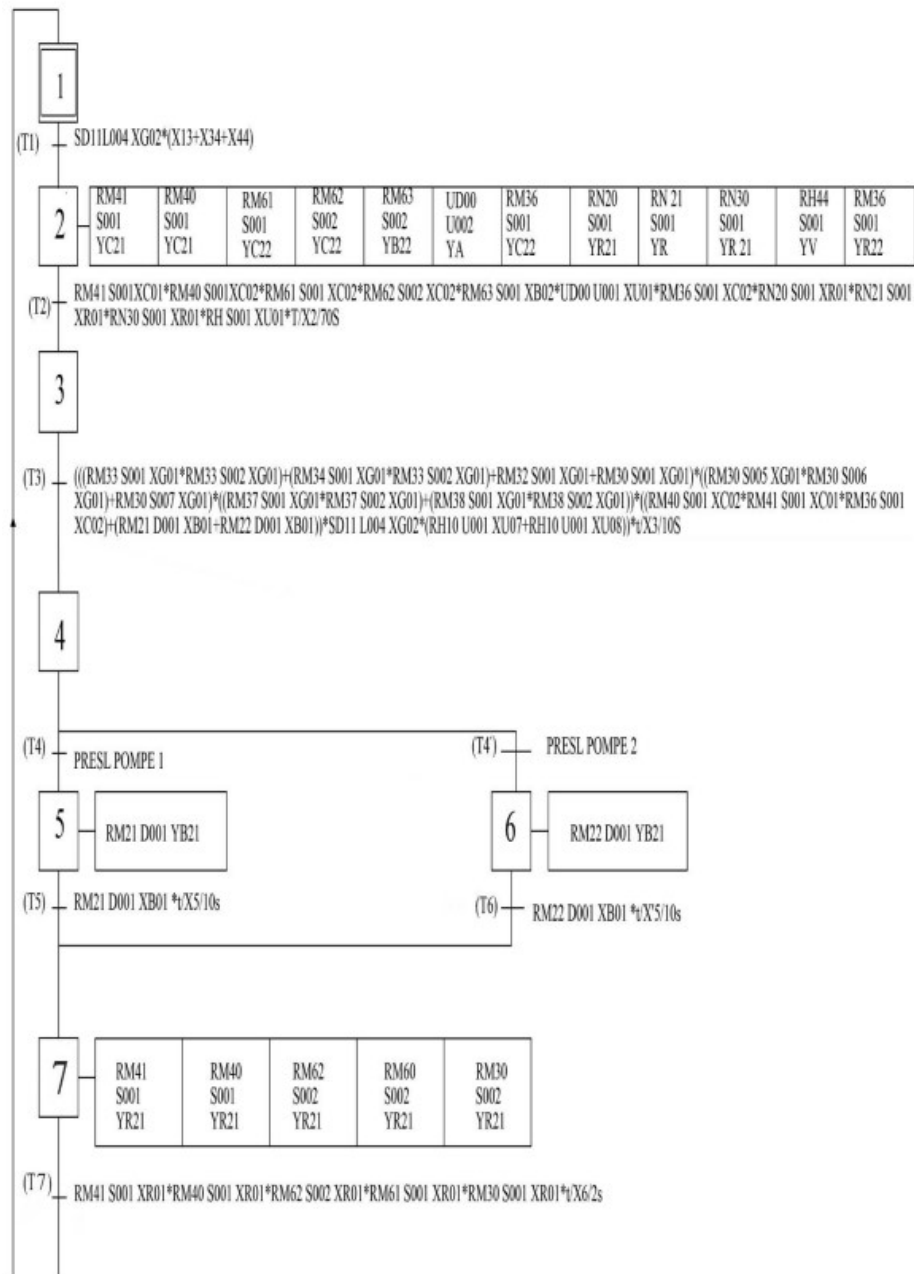


FIG. 3.6 : GRAFCET de démarrage de circuit RM.

3.3.2 GRAFCET d'arrêt circuit RM

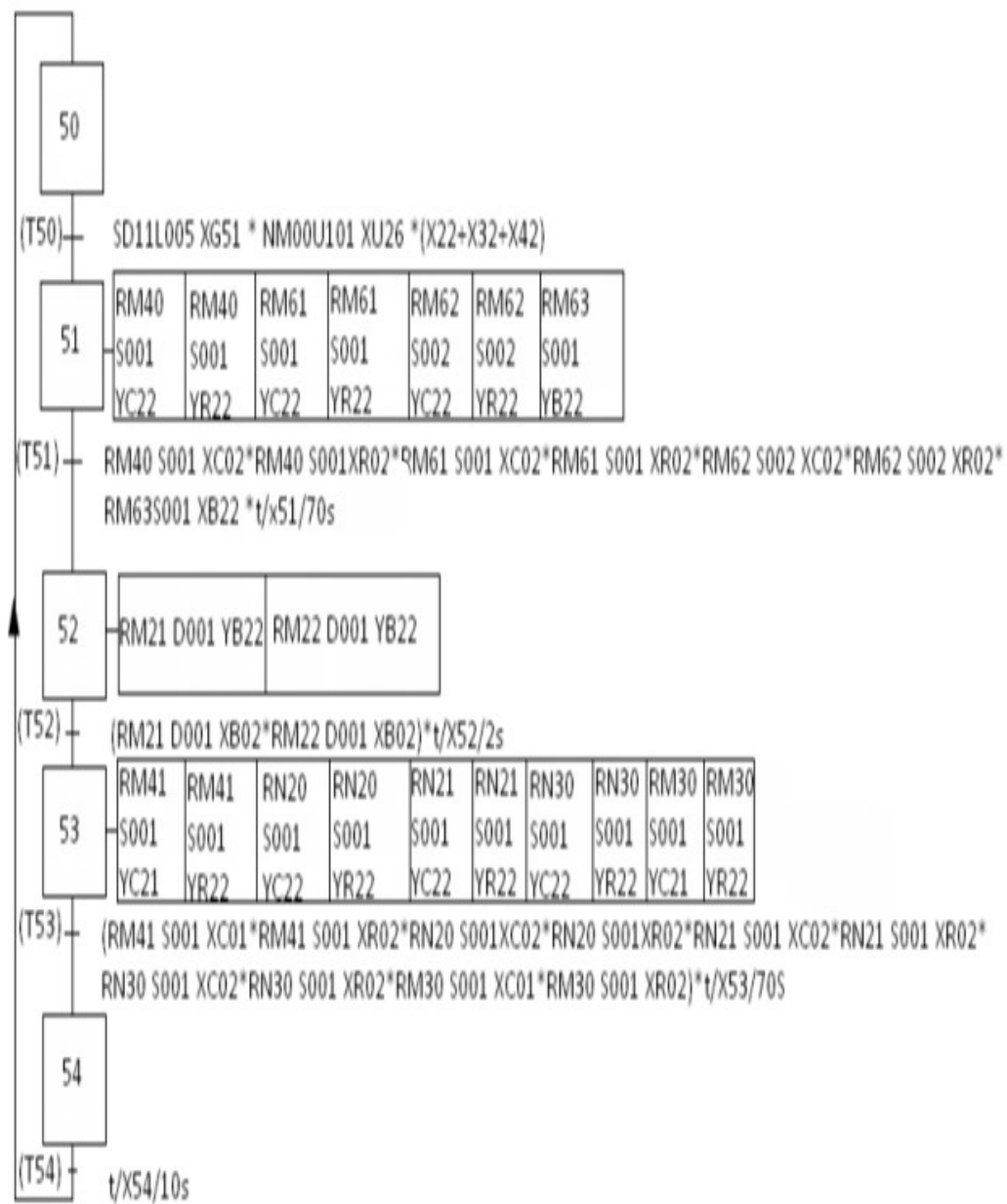


FIG. 3.7 : GRAFCET de l'arrêt de circuit RM.

3.3.3 GRAFCET de sécurité

C'est un grafcet utilisé pour surveiller la sécurité de la pompe d'extraction il fait force toutes les étapes initial de grafcet.

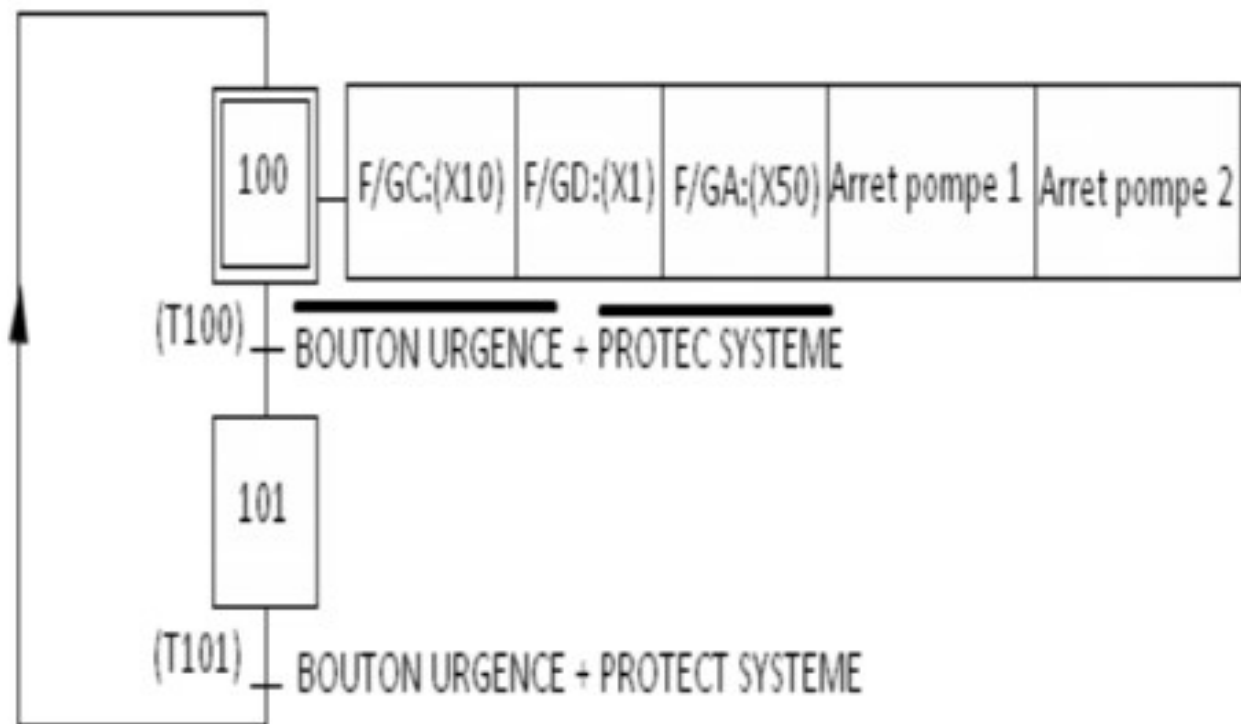


FIG. 3.8 : GRAFCET de sécurité.

3.4 Programmation et développement

3.4.1 Configuration matérielle du projet

Dans cette partie on choisi l'automate, on allons sur la fenêtre du projet et on clic sur **ajouter un appareil** et on sélectionne l'automate , dans notre cas nous avons sélectionné l'automate avec le référence 'CPU 1214C DC/DC/Rly',d'où (DC :entré DC/DC :24C DC INPUT/RLY : relay output).

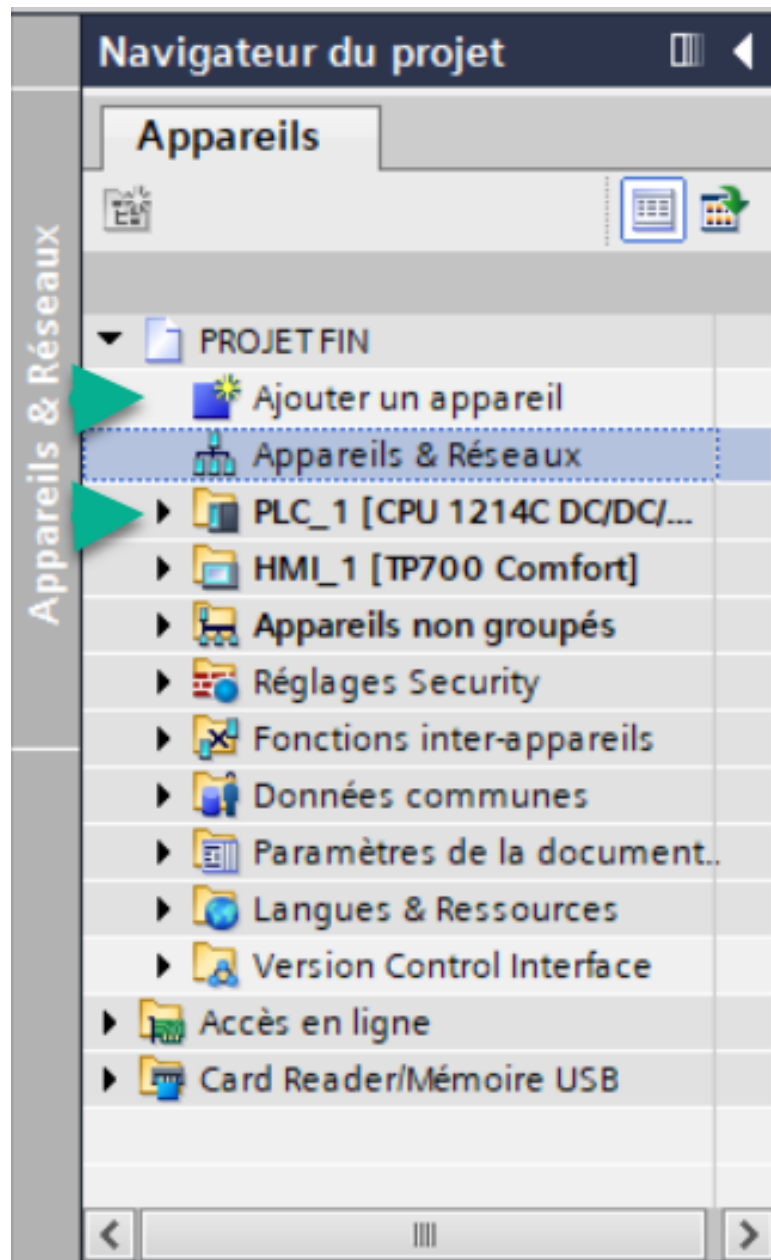


FIG. 3.9 : Fenêtre du projet.

L'automate que nous avons sélectionné contient 14 entrées et 10 sorties donc on doit ajouter des modules E/S, dans notre cas nous avons ajouté 4 modules d'entrées d'où chacun contient 16 DI, et 2 modules de sorties d'où chacun contient 16 DQ, donc au final on a 78 entrées (DI) et 42 sorties (DQ).

Pour ajouter les modules on clique dans la fenêtre à gauche et on choisit **Catalogue du matériel** après on choisit la case **Catalogue** : et on sélectionne les modules qu'on veut ajouter.

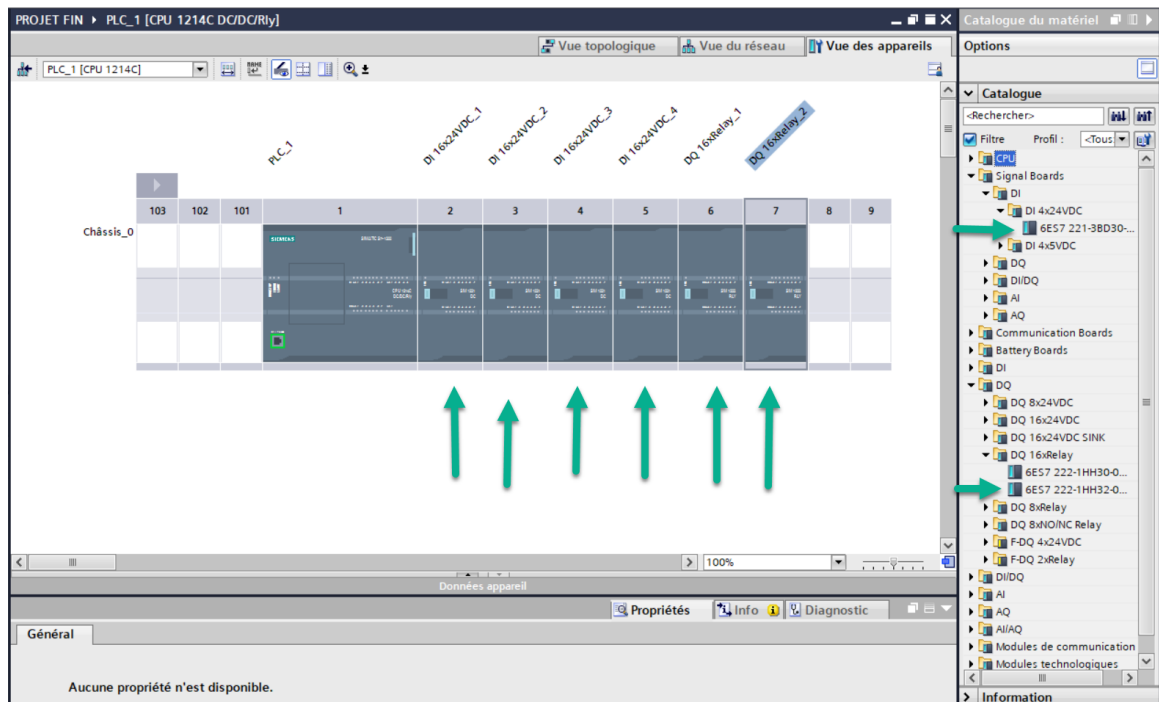


FIG. 3.10 : L'ajoute les modules API E/S.

La figure 3.11 montre la configuration du API choisi pour l'automatisation de notre système.

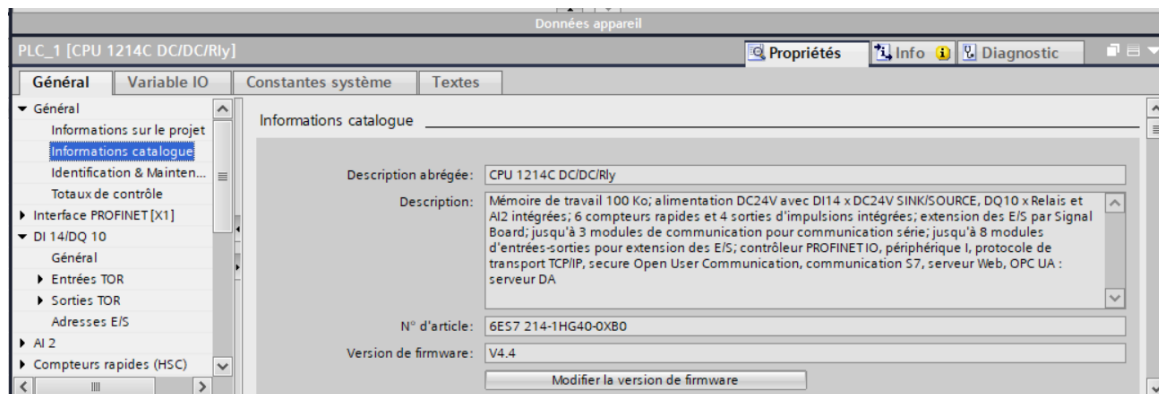


FIG. 3.11 : Configuration de l'API.

3.4.2 Programmation des Blocs

3.4.2.1 Déclaration des variables

Il existe deux méthodes pour la déclaration des variables, la première c'est de créer une table mnémotechnique après on utilise les variables (Entrée/sortie/mémoire) dans la programmation, la deuxième méthode c'est d'effectuer la programmation sans création de table mnémotechnique d'où les variables seront ajoutées automatiquement à la table mnémotechnique. Dans notre projet on a créé 71 Entrées et 43 sorties.

Les figures ci-dessous montrent quelques variables utilisées dans notre projet :

RM41_S001_XR01	Bool	%I7.0	False	True	True	True	REGL VAN RECYCLAGE AUTO
RM40_S001_XR01	Bool	%I7.1	False	True	True	True	REGL VAN CONDENSES AUTO
RM62_S002_XR01	Bool	%I7.2	False	True	True	True	REGL VAN DEV COND AUTO
RM61_S001_XR01	Bool	%I7.3	False	True	True	True	REGL VAN DEV B TAMP AUTO
RM30_S001_XR01	Bool	%I7.4	False	True	True	True	REGL VAN H2 T ALTERN AUTO
RM40_S001_XR02	Bool	%I7.6	False	True	True	True	VAN CONDENSES REGL MANU
RM61_S001_XR02	Bool	%I7.7	False	True	True	True	VAN BACHE TAMP REGL MANU
RM62_S002_XR02	Bool	%I8.1	False	True	True	True	VAN DEV COND REGL MANU
RM21_D001_XB02	Bool	%I8.3	False	True	True	True	POMPE D'EXTRACTION 1 ARRET
RM22_D001_XB02	Bool	%I8.4	False	True	True	True	POMPE D'EXTRACTION 2 ARRET
RN20_S001_XC02	Bool	%I8.5	False	True	True	True	VAN REGL DEV RECH BP1 FERMER
RN20_S001_XR02	Bool	%I8.6	False	True	True	True	VAN REGL DEV RECH BP1 MANU
RN21_S001_XC02	Bool	%I8.7	False	True	True	True	VAN REGL DEV COND FERMER
RN21_S001_XR02	Bool	%I9.0	False	True	True	True	VAN REGL DEV COND MANU
RM30_S001_XR02	Bool	%I9.1	False	True	True	True	VAN REGL DEV RECH BP2 MANU
RN30_S001_XC02	Bool	%I9.2	False	True	True	True	VAN REGL DEV RECH BP2 FERMER
SD11_L004_XG02(1)	Bool	%I9.4	False	True	True	True	NIVEAU CONDENSEUR > MIN

FIG. 3.12 : Les entrées (INPUT).

RM62_S002_YR22	Bool	%Q2.6	False	True	True	True	MANU VAN REGL DEV COND
RM63_S001_YB22	Bool	%Q2.7	False	True	True	True	FERMER VAN D'ARROSAGE COND
RM21_D001_YB22	Bool	%Q3.0	False	True	True	True	ARRET POMPE D'EXTRACTION 1
RM22_D001_YB22	Bool	%Q3.1	False	True	True	True	ARRET POMPE D'EXTRACTION 2
RM41_S001_YR22	Bool	%Q3.2	False	True	True	True	REGL MANU VAN RECYCLAGE
RN20_S001_YC22	Bool	%Q3.3	False	True	True	True	FERMER VAN REGL DEV RECH BP1
RN20_S001_YR22	Bool	%Q3.4	False	True	True	True	REGL MANU VAN DEV RECH BP1
RN21_S001_YC22	Bool	%Q3.5	False	True	True	True	FERMER VAN REGL DEV COND
RN21_S001_YR22	Bool	%Q3.6	False	True	True	True	REGL MANU VAN DEV COND

FIG. 3.13 : Les sorties (OUTPUT).

ARRET_POMPE_1_2	Bool	%M0.2	False	True	True	True	
ARRET_POMPE_1_1	Bool	%M0.3	False	True	True	True	
ETAPE_1	Bool	%M0.4	False	True	True	True	
ETAPE 2	Bool	%M0.5	False	True	True	True	
ETAPE 3	Bool	%M0.6	False	True	True	True	
ETAPE 4	Bool	%M0.7	False	True	True	True	
ETAPE 5	Bool	%M1.0	False	True	True	True	

FIG. 3.14 : Les mémoires (Mémentos).

3.4.2.2 Déclaration des fonctions

- FC1:PROTECTION POMPE D'EXTRACTION 1** La première partie de ce bloc là c'est les protections pour l'arrêt de la pompe d'extraction 1 d'où nous avons Créés 4 réseaux de protection, chaque réseau contient des entrées qui nous donne des sorties mémoire(mémento) (ARRET-POMP1,ARRETPOMPE2,ARRETPOMP3,ARRETPOMPE4), après on ajoute un nouveau réseau et on ajoute 4 entrées de mémoire en parallèle qui nous avons indiqués comme des sorties dans les réseaux précédent, qui donnent une seule sortie YB32 qui signifie la protection dans le logigramme de la pompe d'extraction 1.

Réseau 1 : PROTECTION 1

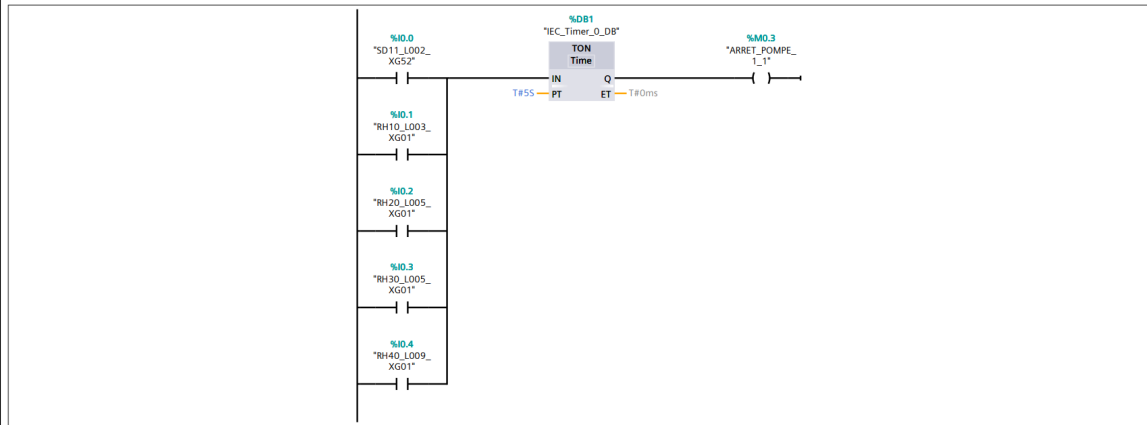


FIG. 3.15 : PROTECTION 1.

Réseau 5 : PROTECTION

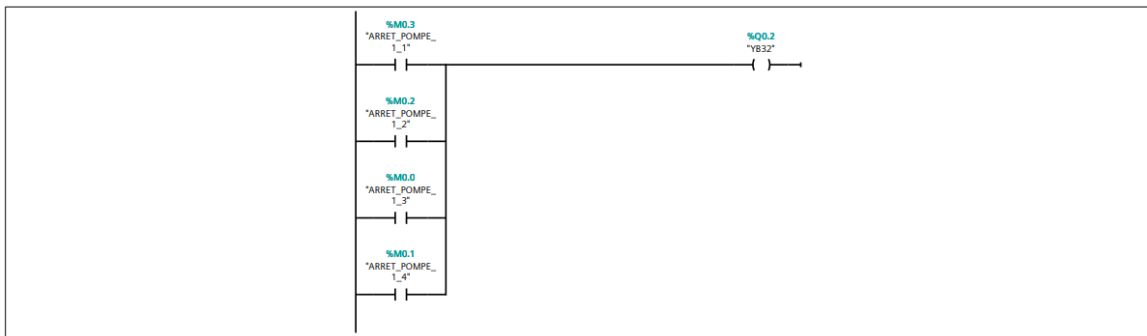


FIG. 3.16 : PROTECTION 5.

La partie suivant c'est AUTOMATIQUE ARRÊT, d'où on as une seule entrée.

Réseau 6 : AUTOMATIQUE ARRÊT

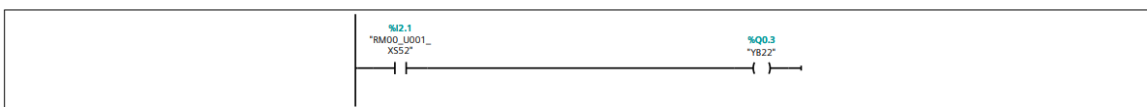


FIG. 3.17 : AUTOMATIQUE ARRÊT.

- **FC2:MARCHE POMPE D'EXTRACTION 1** Dans ce bloc on ajoute 3 réseaux (Protection marche,Libération marche,Automatique marche) :

Réseau 1 : PROTECTION MARCHÉ



Réseau 2 : LIBÉRATION MARCHÉ



Réseau 3 : AUTOMATIQUE MARCHÉ

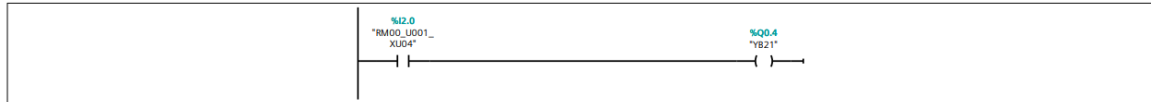


FIG. 3.18 : Fonction marche pompe d'extraction 1.

- FC3:ÉTAPE 1-6 LIBÉRATION CIRCUIT RM** Ce bloc as pour but de programmer la partie libération de circuit RM on divisent ce programme en 6 étapes d'où on déclare des mémoires(mémento) comme une exigence pour le démarrage de chaque étape par exemple pour que la deuxième étape se démarre, l'étape 1 doit être terminer.La condition de la libération de programme c'est que le niveau du condenseur doit être supérieur de minimum.

Réseau 1 : ÉTAPE1

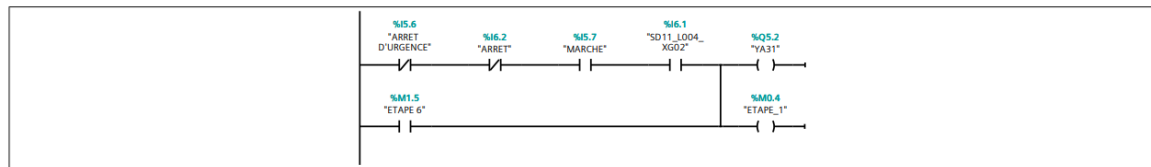


FIG. 3.19 : Étape 1 de Libération circuit RM.

Réseau 6 : ÉTAPE6

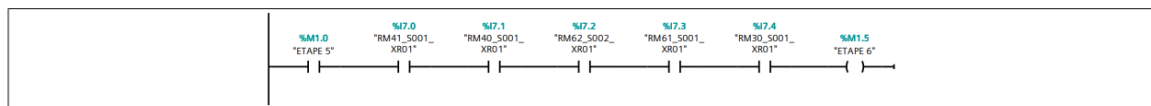


FIG. 3.20 : Étape 6 de Libération circuit RM.

- FC4:ÉTAPE 51-54 ARRÊT CIRCUIT RM** Dans ce bloc on programme l'arrêt du circuit RM d'où on l'avais divisé sur 4 étapes (51-52-53-54). Pour effectuer le démarrage du programme d'arrêt nous avons besoin de deux conditions,qui on le reçoit d'un autre programme sous forme d'un Feedback 'X', dans notre programme le feedback désigne l'entrer (I).Les deux condition sont (Niveau condenseur < à maximum et un feedback de l'arrêt de feu de chaudière).Maintenant on peut démarrer notre programme d'où une transmission de signaux sera effectuer par l'envoi des ordres sous formes des sorties.

Réseau 1 : ETAPE51

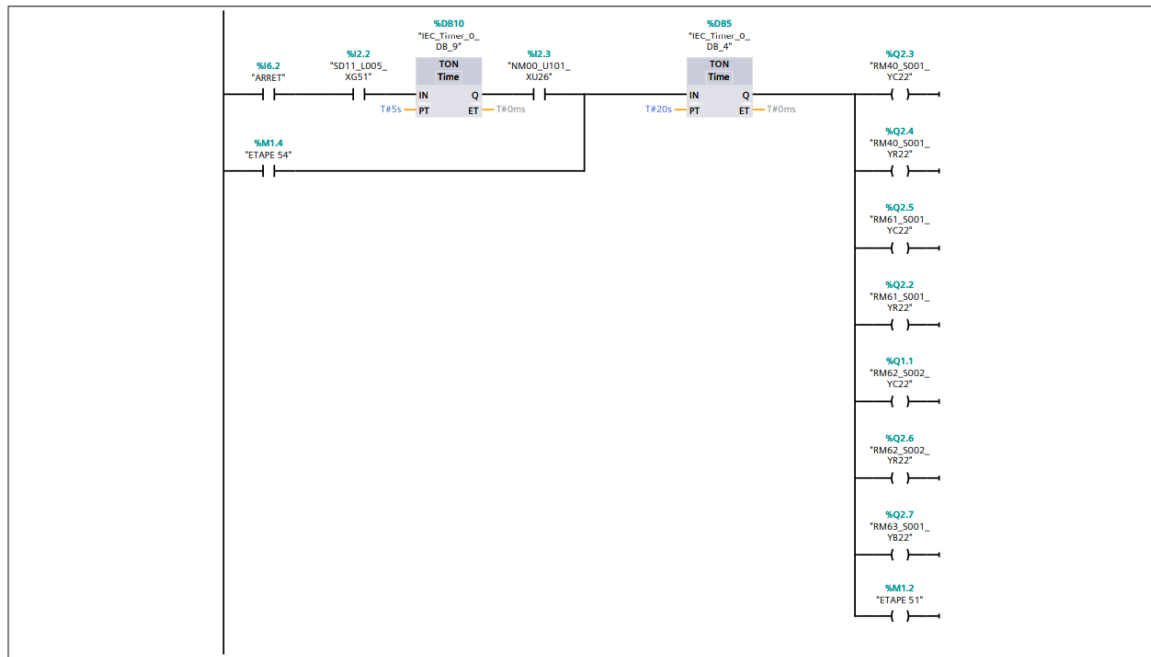


FIG. 3.21 : Étape 51.

La figure 3.24 montre l'étape final du programme d'arrêt.

Réseau 4 : ETAPE54

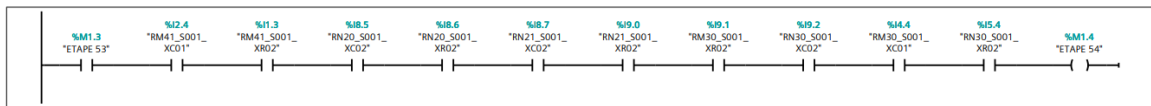


FIG. 3.22 : Étape 51.

- FC5:PRESELECTION DE DEUX POMPE D'EXTRACTION 1 et 2

Cette fonction a pour but de sélectionner le démarrage ou l'arrêt d'une de deux pompe d'extraction 1 et 2.

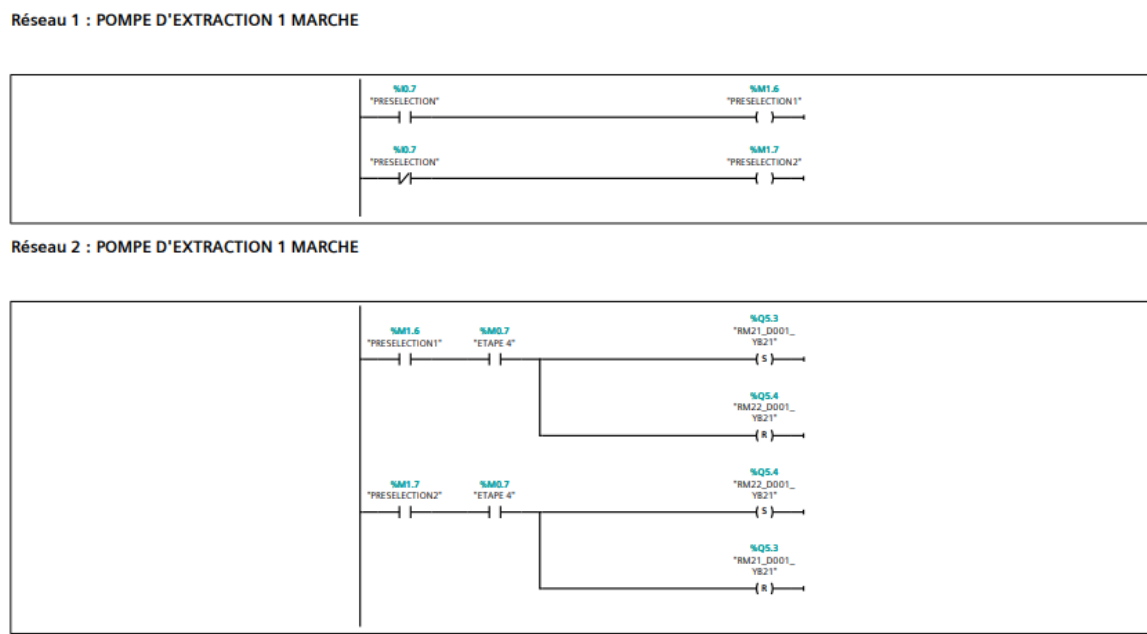


FIG. 3.23 : Présélection Pompe 1 et Pompe 2.

3.4.2.3 Programmation du bloc organisationnel OB1

Le lien entre le système d'exploitation (CPU) de l'automate et le programme utilisateur est assuré par les blocs d'organisation (OB), Ils sont appelés par le système d'exploitation et gère les opérations suivantes :

- Traitement cyclique du programme (par ex. OB1)
- Comportement au démarrage de l'automate
- Traitement du programme déclenché par alarme
- Traitement des erreurs

Un projet doit comporter au moins un bloc organisationnel pour le traitement cyclique du programme. Un OB est appelé par un évènement déclencheur, Des priorités sont attribuées aux différents OB, de sorte que l'OB1 cyclique peut, par exemple, être interrompu par un OB82 pour le traitement des erreurs.

Dans notre OB1 nous avons appelé les fonctions (FC1,FC2,FC3,FC4,FC5).Exemple :

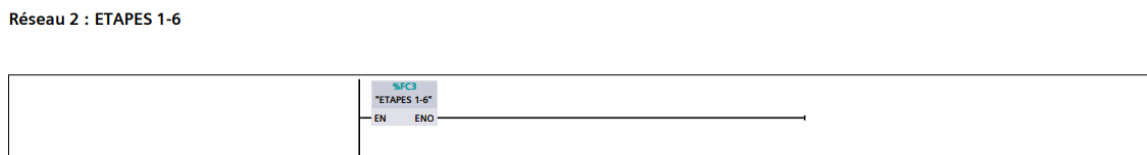


FIG. 3.24 : Déclaration de FC3 dans le bloc OB1.

3.4.3 Simulation du programme

Voici la simulation du tout les fonctions, fonction[FC3] marche(**étape 1-6**), fonction[FC4] arrêt(**étape51-54**), fonction[FC1] **protection pompe 1**, fonction[FC5] **PRÉSÉLECTION** et fonction[FC2] **marche pompe 1**.

3.4.3.1 Simulation Étape 1-6

PROJET FIN / PLC_1 [CPU 1214C DC/DC/Rly] / Blocs de programme

ETAPES 1-6 [FC3]

ETAPES 1-6 Propriétés							
Général							
Nom	ETAPES 1-6	Numéro	3	Type	FC	Langage	CONT
Numérotation	Automatique						
Information							
Titre		Auteur		Commentaire		Famille	
Version	0.1	ID utilisateur					

Réseau 1 : ETAPE1

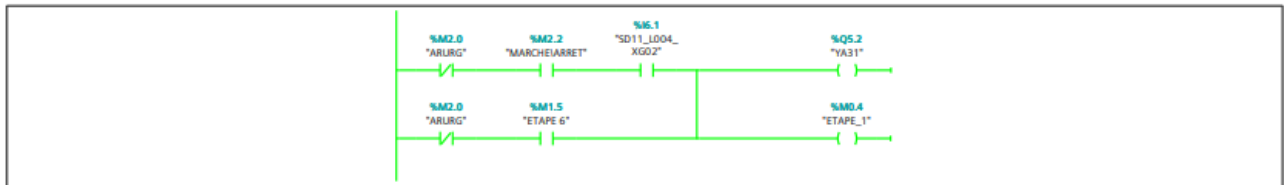


FIG. 3.25 : Simulation étape 1.

PROJET FIN / PLC_1 [CPU 1214C DC/DC/Rly] / Blocs de programme

ETAPES 1-6 [FC3]

ETAPES 1-6 Propriétés							
Général							
Nom	ETAPES 1-6	Numéro	3	Type	FC	Langage	CONT
Numérotation	Automatique						
Information							
Titre		Auteur		Commentaire		Famille	
Version	0.1	ID utilisateur					

Réseau 3 : ETAPE3

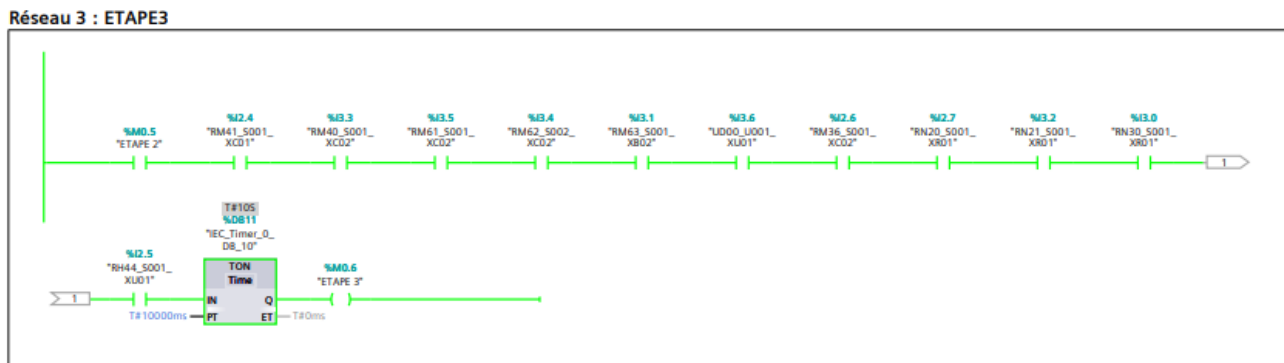


FIG. 3.26 : Simulation étape 3.

PROJET FIN / PLC_1 [CPU 1214C DC/DC/Rly] / Blocs de programme

ETAPES 1-6 [FC3]

ETAPES 1-6 Propriétés							
Général							
Nom	ETAPES 1-6	Numéro	3	Type	FC	Langage	CONT
Numérotation	Automatique						
Information							
Titre		Auteur		Commentaire		Famille	
Version	0.1	ID utilisateur					

Réseau 2 : ETAPE2

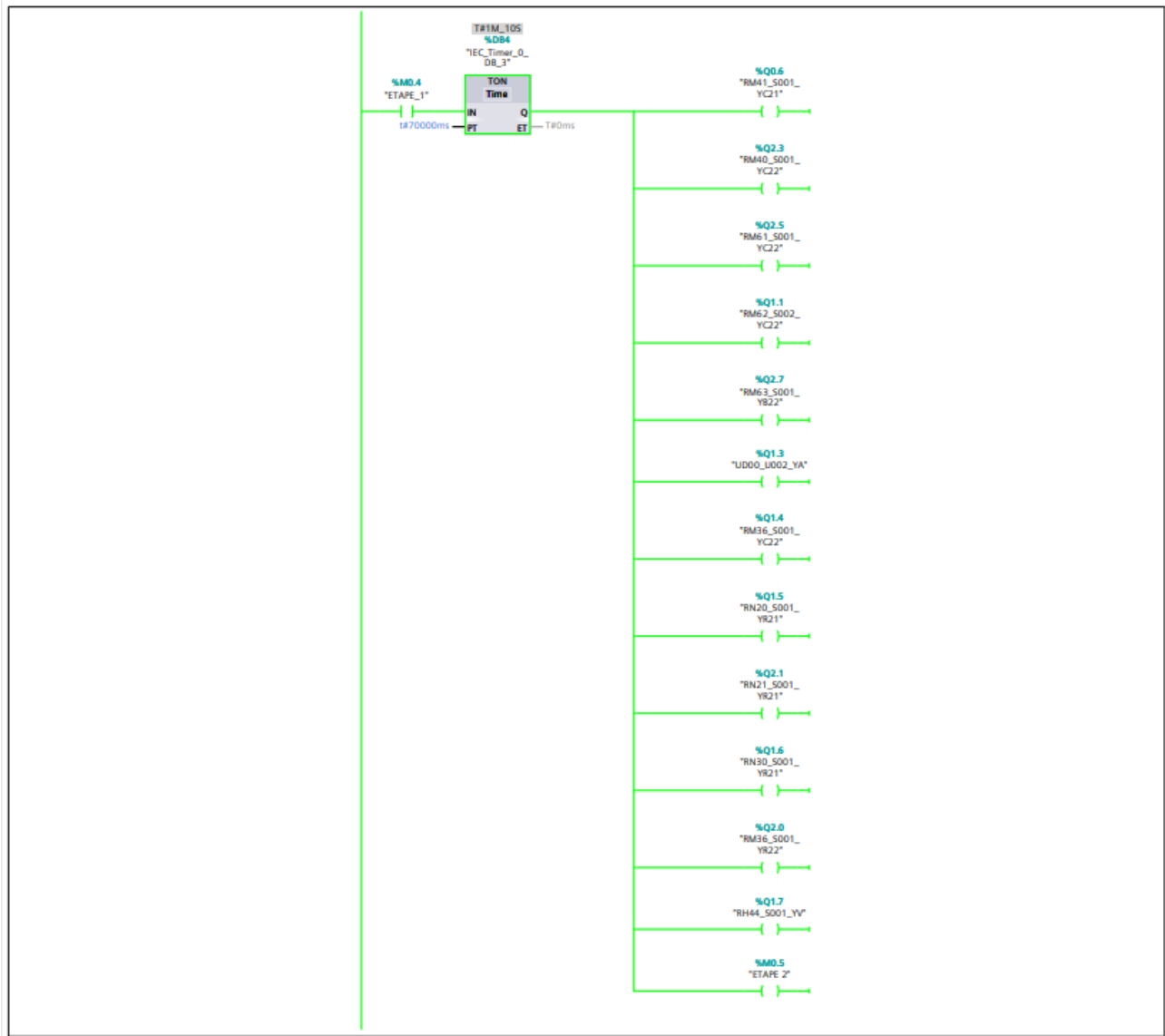


FIG. 3.27 : Simulation étape 2.

PROJET FIN / PLC_1 [CPU 1214C DC/DC/Rly] / Blocs de programme

ETAPES 1-6 [FC3]

ETAPES 1-6 Propriétés							
Général							
Nom	ETAPES 1-6	Numéro	3	Type	FC	Langage	CONT
Numérotation	Automatique						
Information							
Titre		Auteur		Commentaire		Famille	
Version	0.1	ID utilisateur					

Réseau 4 : ETAPE4

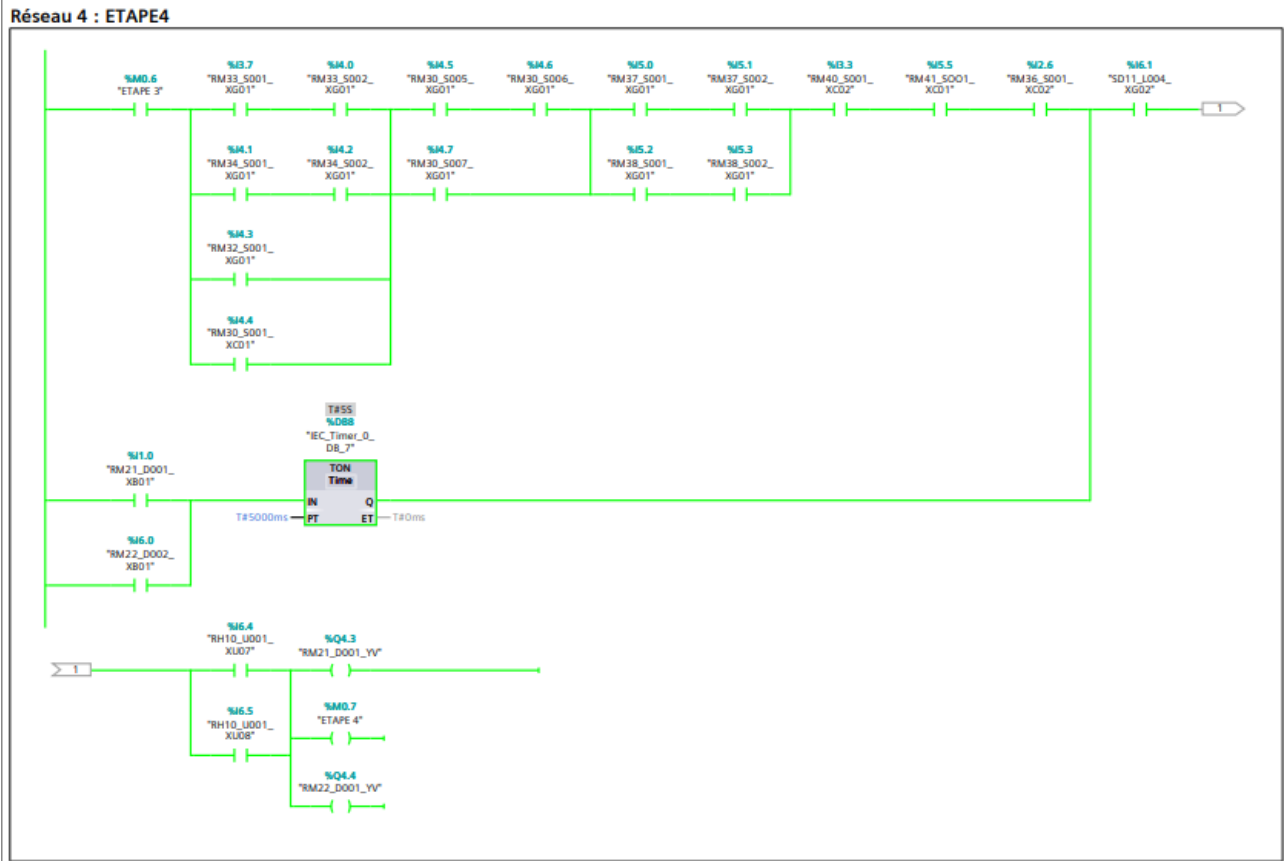


FIG. 3.28 : Simulation étape 4.

PROJET FIN / PLC_1 [CPU 1214C DC/DC/Rly] / Blocs de programme

ETAPES 1-6 [FC3]

ETAPES 1-6 Propriétés							
Général							
Nom	ETAPES 1-6	Numéro	3	Type	FC	Langage	CONT
Numérotation	Automatique						
Information							
Titre		Auteur		Commentaire		Famille	
Version	0.1	ID utilisateur					

Réseau 5 : ETAPES

Réseau 5 : ETAPE5

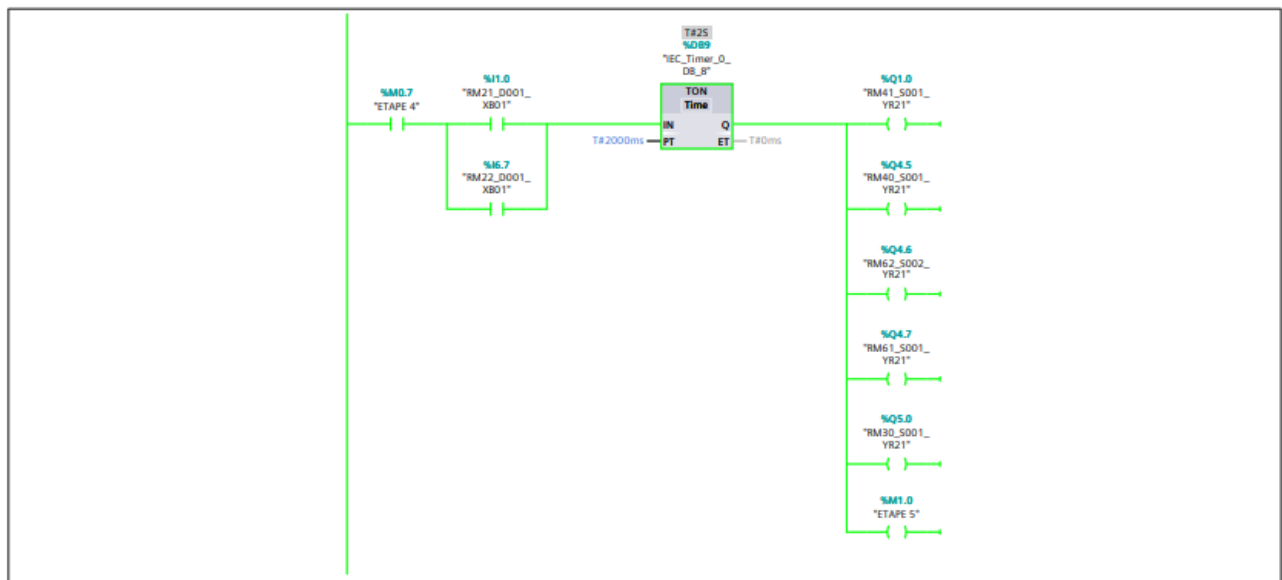


FIG. 3.29 : Simulation étape 5.

PROJET FIN / PLC_1 [CPU 1214C DC/DC/Rly] / Blocs de programme

ETAPES 1-6 [FC3]

ETAPES 1-6 Propriétés							
Général							
Nom	ETAPES 1-6	Numéro	3	Type	FC	Langage	CONT
Numérotation	Automatique						
Information							
Titre		Auteur		Commentaire		Famille	
Version	0.1	ID utilisateur					

Réseau 6 : ETAPE6

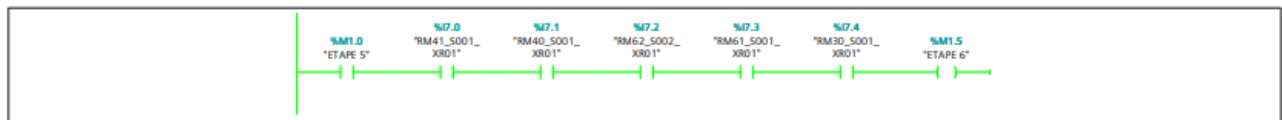


FIG. 3.30 : Simulation étape 6.

3.4.3.2 Simulation Étape 51-54

PROJET FIN / PLC_1 [CPU 1214C DC/DC/Rly] / Blocs de programme

ETAPES 51-54 [FC4]

ETAPES 51-54 Propriétés							
Général							
Nom	ETAPES 51-54	Numéro	4	Type	FC	Langage	CONT
Numérotation	Automatique						
Information							
Titre		Auteur		Commentaire		Famille	
Version	0.1	ID utilisateur					

Réseau 1 : ETAPE51

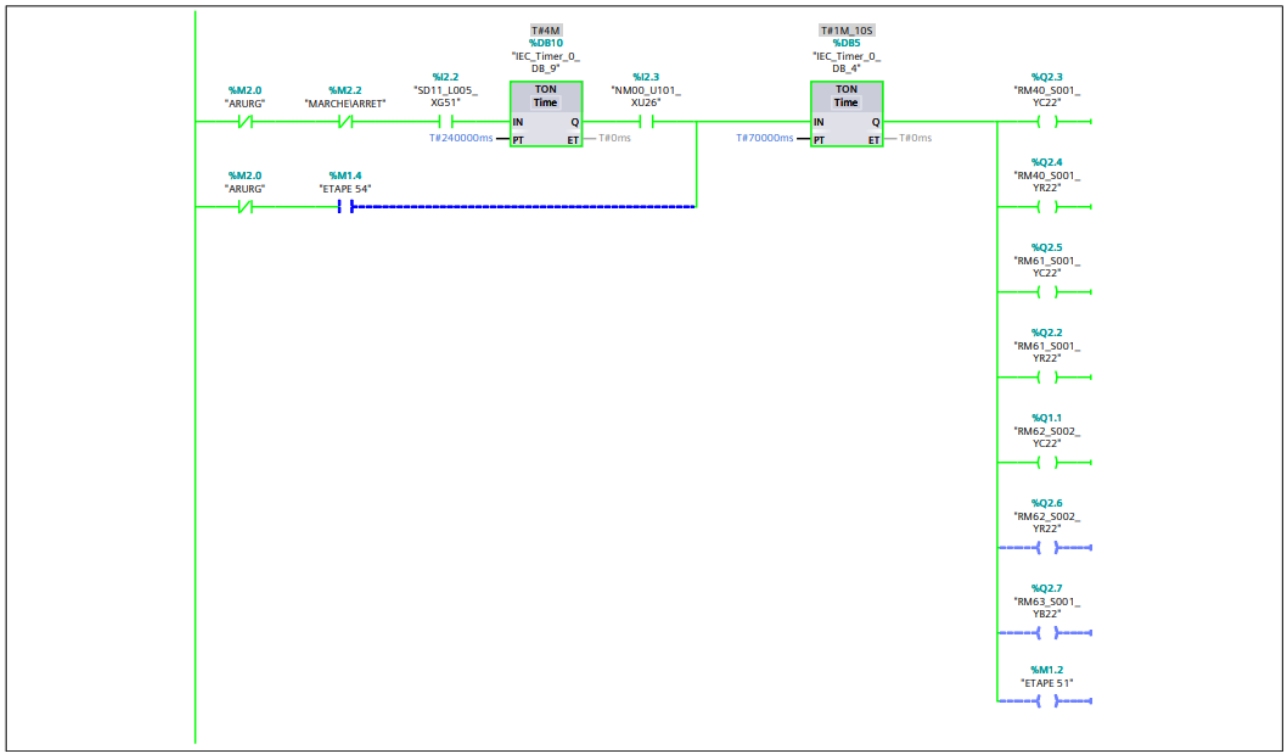


FIG. 3.31 : Simulation étape 51.

PROJET FIN / PLC_1 [CPU 1214C DC/DC/Rly] / Blocs de programme

ETAPES 51-54 [FC4]

ETAPES 51-54 Propriétés							
Général							
Nom	ETAPES 51-54	Numéro	4	Type	FC	Langage	CONT
Numérotation	Automatique						
Information							
Titre		Auteur		Commentaire		Famille	
Version	0.1	ID utilisateur					

Réseau 2 : ETAPE52

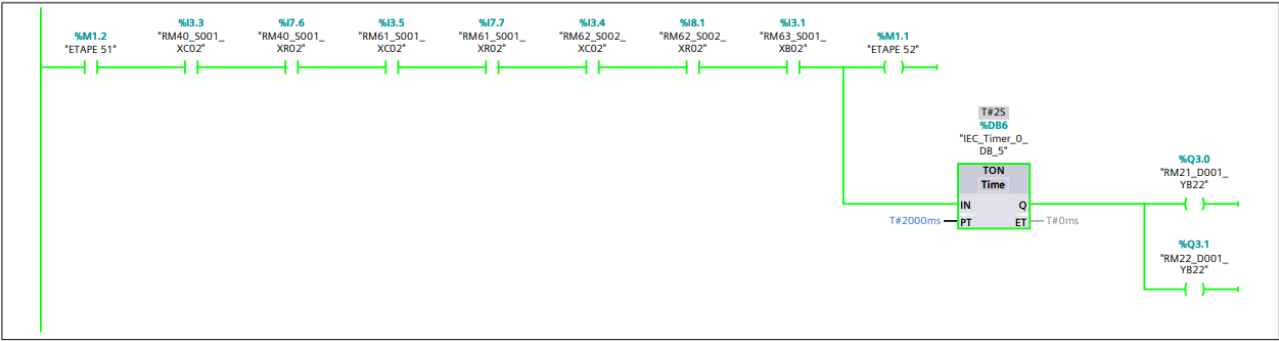


FIG. 3.32 : Simulation étape 52.

PROJET FIN / PLC_1 [CPU 1214C DC/DC/Rly] / Blocs de programme

ETAPES 51-54 [FC4]

ETAPES 51-54 Propriétés							
Général							
Nom	ETAPES 51-54	Numéro	4	Type	FC	Langage	CONT
Numérotation	Automatique						
Information							
Titre		Auteur		Commentaire		Famille	
Version	0.1	ID utilisateur					

Réseau 3 : ETAPE53

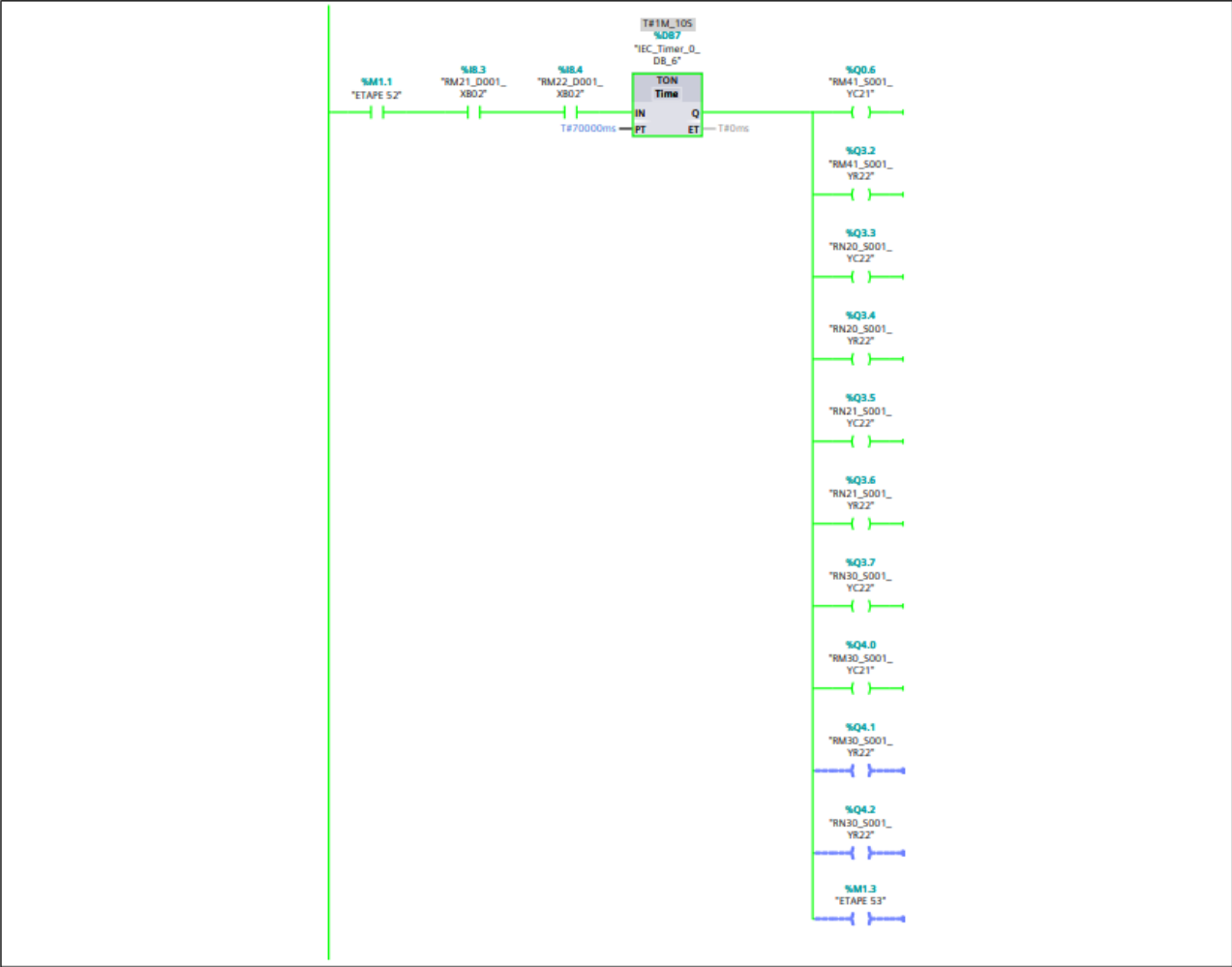


FIG. 3.33 : Simulation étape 53.

PROJET FIN / PLC_1 [CPU 1214C DC/DC/Rly] / Blocs de programme

ETAPES 51-54 [FC4]

ETAPES 51-54 Propriétés							
Général							
Nom	ETAPES 51-54	Numéro	4	Type	FC	Langage	CONT
Numérotation	Automatique						
Information							
Titre		Auteur		Commentaire		Famille	
Version	0.1	ID utilisateur					

Réseau 4 : ETAPE54

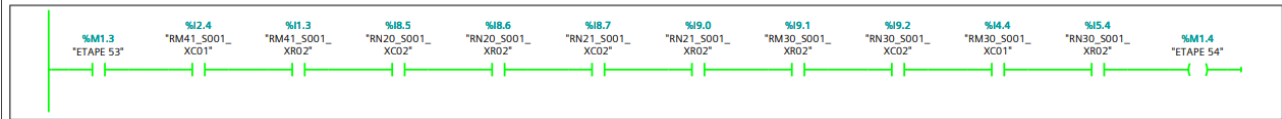


FIG. 3.34 : Simulation étape 54.

3.4.3.3 Simulation Étape protection pompe 1

PROJET FIN / PLC_1 [CPU 1214C DC/DC/Rly] / Blocs de programme

protection [FC1]

protection Propriétés							
Général							
Nom	protection	Numéro	1	Type	FC	Langage	CONT
Numérotation	Automatique						
Information							
Titre		Auteur		Commentaire		Famille	
Version	0.1	ID utilisateur					

Réseau 1 : PROTECTION 1

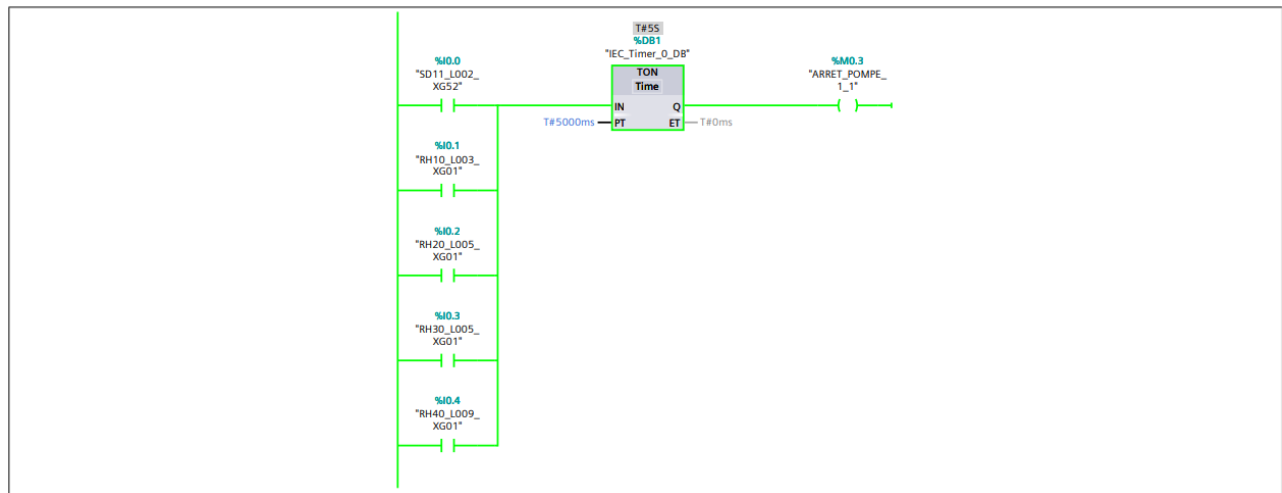


FIG. 3.35 : Simulation PROTECTION 1.

PROJET FIN / PLC_1 [CPU 1214C DC/DC/Rly] / Blocs de programme

protection [FC1]

protection Propriétés							
Général							
Nom	protection	Numéro	1	Type	FC	Langage	CONT
Numérotation	Automatique						
Information							
Titre		Auteur		Commentaire		Famille	
Version	0.1	ID utilisateur					

Réseau 2 : PROTECTION 2

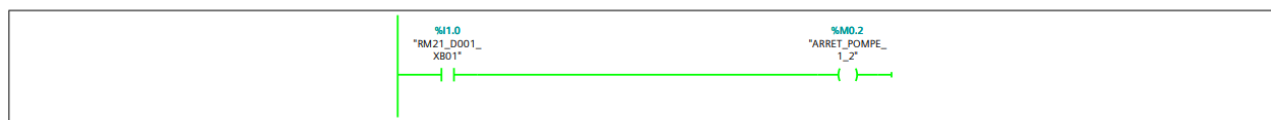


FIG. 3.36 : Simulation PROTECTION 2.

PROJET FIN / PLC_1 [CPU 1214C DC/DC/Rly] / Blocs de programme

protection [FC1]

protection Propriétés							
Général							
Nom	protection	Numéro	1	Type	FC	Langage	CONT
Numérotation	Automatique						
Information							
Titre		Auteur		Commentaire		Famille	
Version	0.1	ID utilisateur					

Réseau 3 : PROTECTION 3

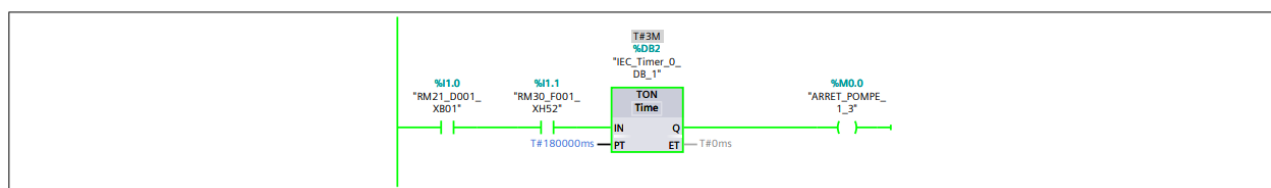


FIG. 3.37 : Simulation PROTECTION 3.

PROJET FIN / PLC_1 [CPU 1214C DC/DC/Rly] / Blocs de programme

protection [FC1]

protection Propriétés							
Général							
Nom	protection	Numéro	1	Type	FC	Langage	CONT
Numérotation	Automatique						
Information							
Titre		Auteur		Commentaire		Famille	
Version	0.1	ID utilisateur					

Réseau 4 : PROTECTION 4

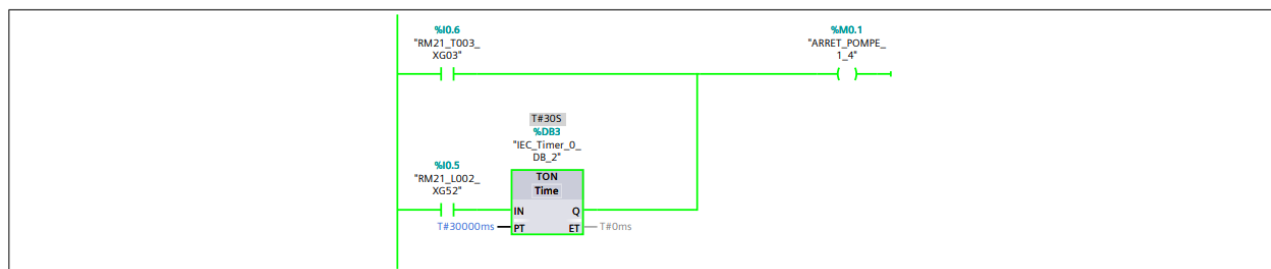


FIG. 3.38 : Simulation PROTECTION 4.

PROJET FIN / PLC_1 [CPU 1214C DC/DC/Rly] / Blocs de programme

protection [FC1]

protection Propriétés							
Général							
Nom	protection	Numéro	1	Type	FC	Langage	CONT
Numérotation	Automatique						
Information							
Titre		Auteur		Commentaire		Famille	
Version	0.1	ID utilisateur					

Réseau 5 : PROTECTION

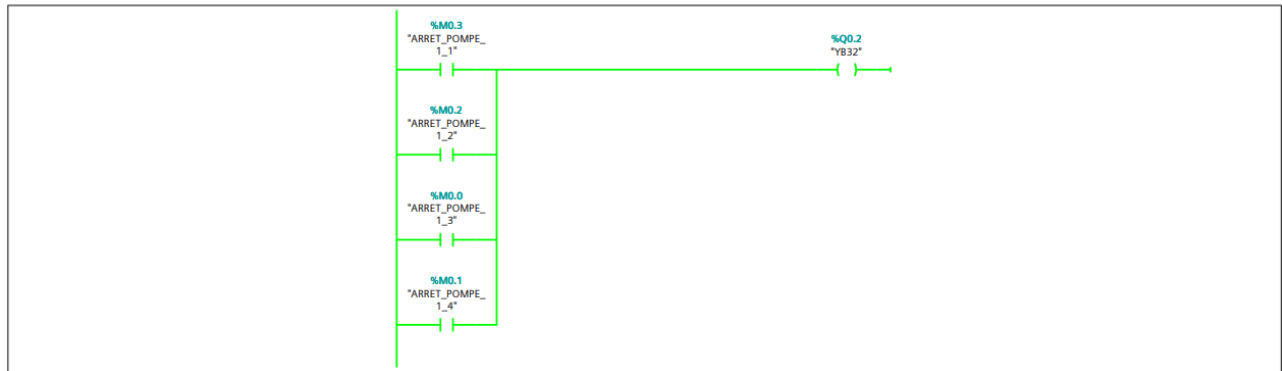


FIG. 3.39 : Simulation Arrêt pompe 1.

PROJET FIN / PLC_1 [CPU 1214C DC/DC/Rly] / Blocs de programme

ETAPES 51-54 [FC4]

ETAPES 51-54 Propriétés							
Général							
Nom	ETAPES 51-54	Numéro	4	Type	FC	Langage	CONT
Numérotation	Automatique						
Information							
Titre		Auteur		Commentaire		Famille	
Version	0.1	ID utilisateur					

Réseau 4 : ETAPE54

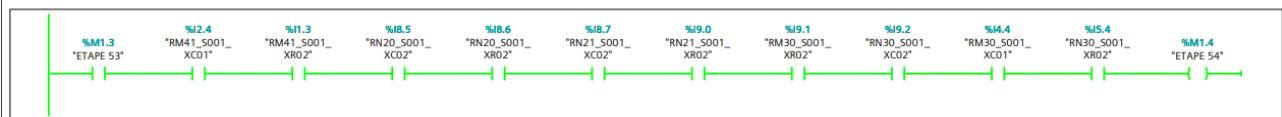


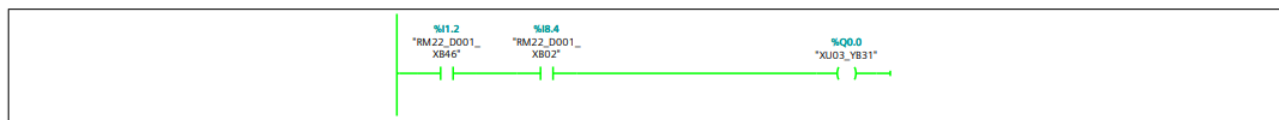
FIG. 3.40 : Simulation AUTOMATIQUE ARRÊT.

3.4.3.4 Simulation Étape Marche pompe 1

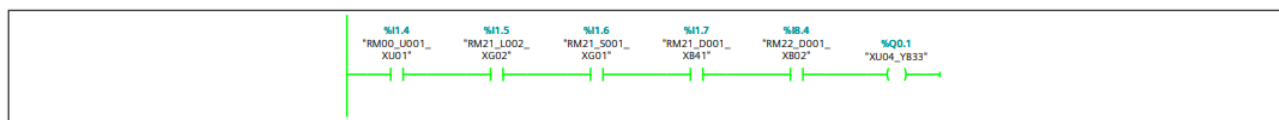
PROJET FIN / PLC_1 [CPU 1214C DC/DC/Rly] / Blocs de programme
POMPE 1 [FC2]

POMPE 1 Propriétés							
Général							
Nom	POMPE 1	Numéro	2	Type	FC	Langage	CONT
Numérotation	Automatique						
Information							
Titre		Auteur		Commentaire		Famille	
Version	0.1	ID utilisateur					
POMPE 1							
Nom	Type de données		Valeur par déf.		Commentaire		
Input							
Output							
InOut							
Temp							
Constant							
▼ Return							
POMPE 1	Void						

Réseau 1 : PROTECTION MARCHÉ



Réseau 2 : LIBERATION MARCHÉ



Réseau 3 : AUTOMATIQUE MARCHÉ

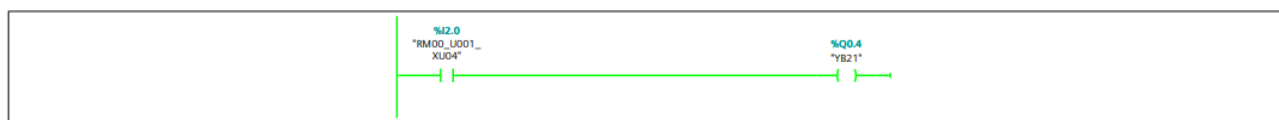


FIG. 3.41 : Simulation PROTECTION 4.

3.4.3.5 Simulation PRÉSÉLECTION

PROJET FIN / PLC_1 [CPU 1214C DC/DC/Rly] / Blocs de programme

PRESELECTION [FC5]

PRESELECTION Propriétés							
Général							
Nom	PRESELECTION	Numéro	5	Type	FC	Langage	CONT
Numérotation	Automatique						
Information							
Titre		Auteur		Commentaire		Famille	
Version	0.1	ID utilisateur					

Réseau 2 : POMPE D'EXTRACTION 1 MARCHE

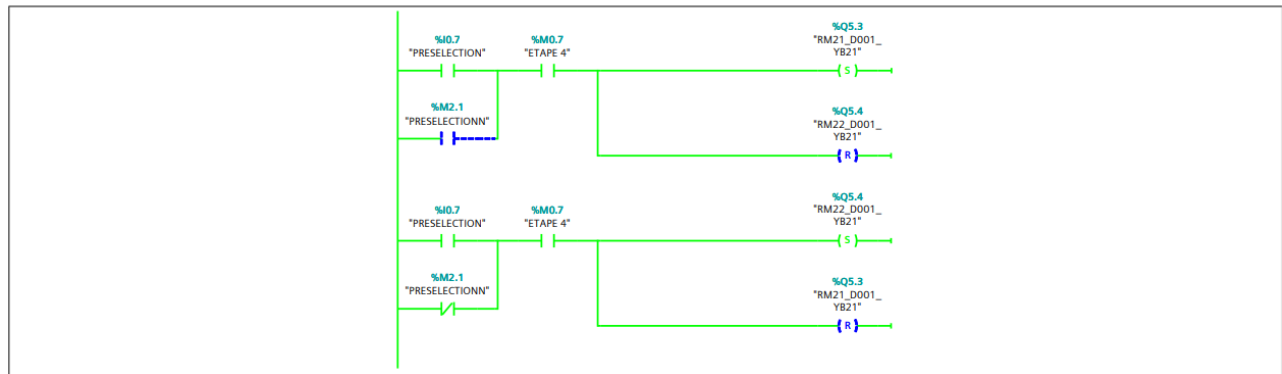


FIG. 3.42 : Simulation PRÉSÉLECTION POMPE 1 ET 2.

3.5 Supervision et développement

3.5.1 Création de liaison entre l'IHM (TP700 COMFORT) et l'API

La communication entre le pupitre opérateur et l'automate le S7-1200 peut être réalisée via réseaux suivant :

Pour effectuer une liaison entre l'API S7-1200 et l'IHM on clic sur '**Appareils et Réseaux**' dans la fenêtre du projet, et on sélectionne la liaison de l'automate avec l'IHM.

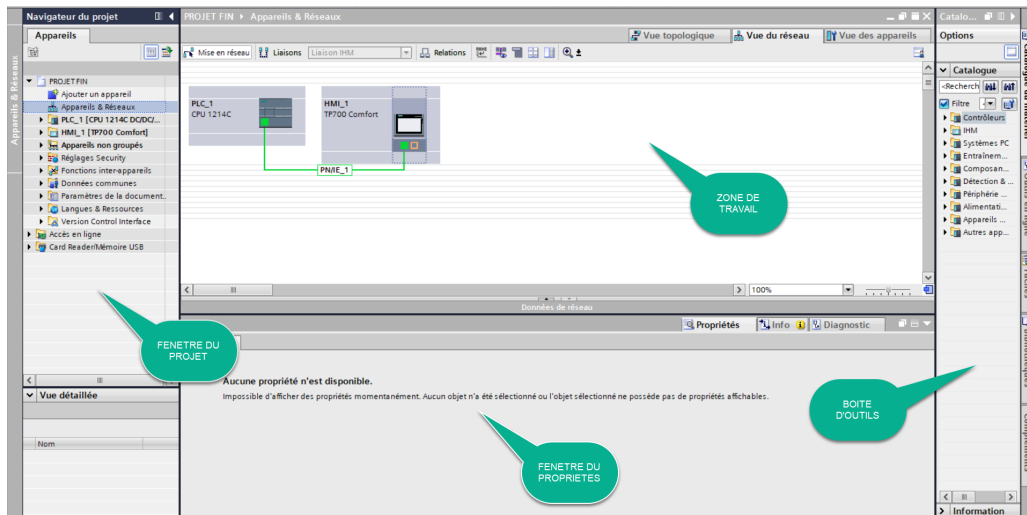


FIG. 3.43 : Interface de TIA PORTAL V16.

La façon de communication de notre projet va être réalisée via l'interface PROFINET. La figure 3.44 montre la zone de communication.

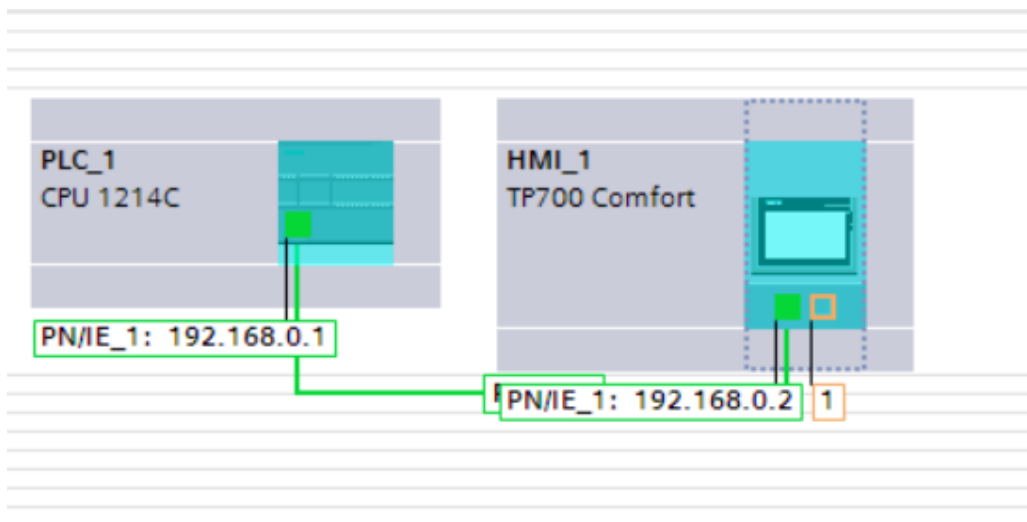


FIG. 3.44 : Liaison PROFINET API S7-1200/TP700 COMFORT.

Pourquoi PROFINET est le bon choix pour l'automatisation de vos installations ? PROFINET répond à un large éventail de besoins grâce à sa connectivité continue, basée sur Ethernet. L'automatisation en temps réel et l'intégration informatique avec un seul système sont rendues possibles par PROFINET, qui supporte le paramétrage d'énormes volumes de données et le transfert de données E/S à grande vitesse. Les utilisateurs peuvent choisir le package PROFINET (profil d'application) qui convient le mieux à leur système grâce à la conception modulaire.

3.5.2 Configuration des vues de l'interface

Les vues sont des éléments principaux du projet. Elles permettent de surveiller et de contrôler des différent éléments du circuit RM.

3.5.2.1 Vue principale

C'est la vue principale de notre système, elle contient l'accès pour tout les étapes d'arrêt (51,52,53,54) et les étapes de marche (1,2,3,4,5,6) ainsi que le circuit RM, et la commande de présélection entre la pompe d'extraction 1 et 2.

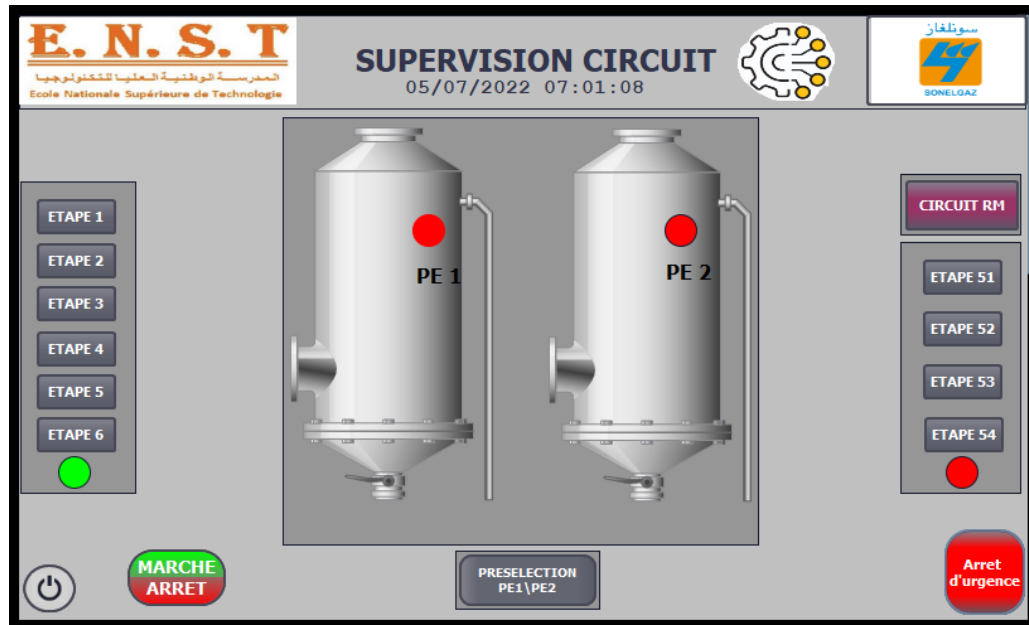


FIG. 3.45 : vue principal arrêt + libération marche circuit RM.

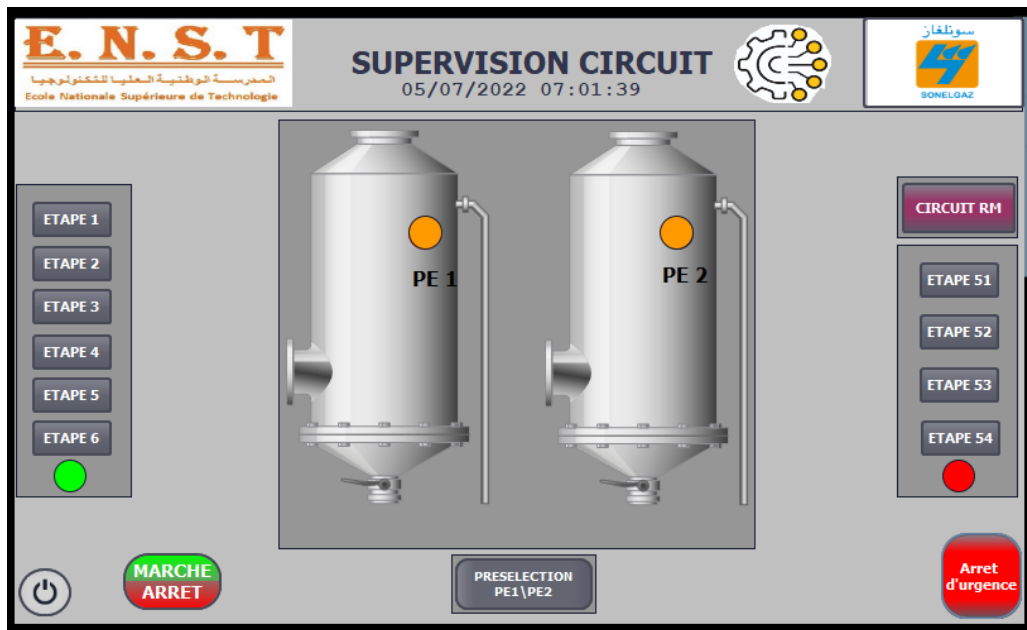


FIG. 3.46 : vue principal arrêt d'urgence.

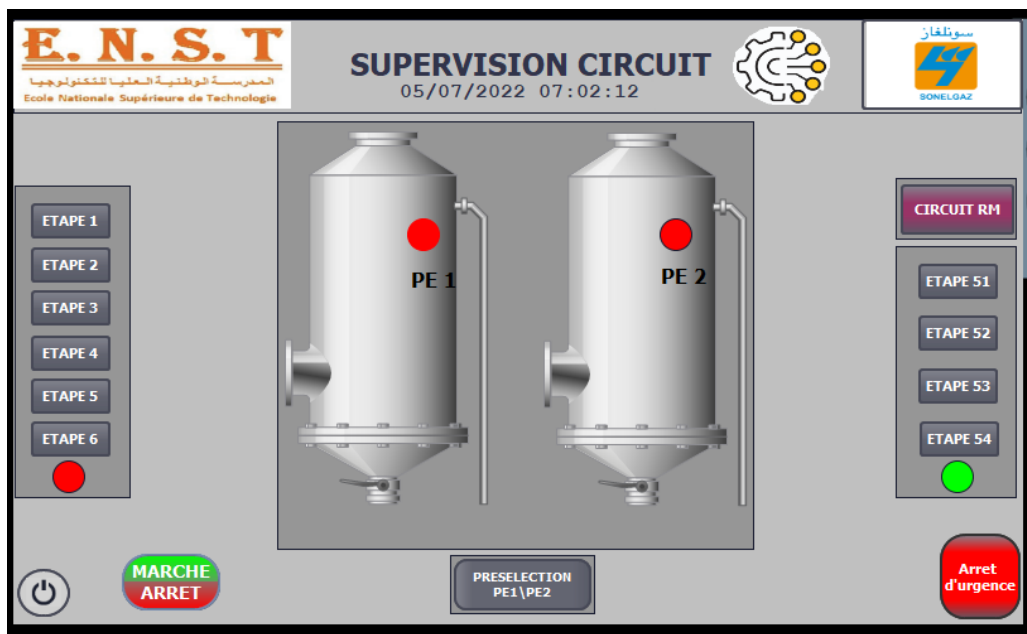


FIG. 3.47 : libération arrêt circuit RM.

3.5.2.2 Vue Circuit RM

Cette vue représente l'état de marche, arrêt et arrêt d'urgence du circuit RM.

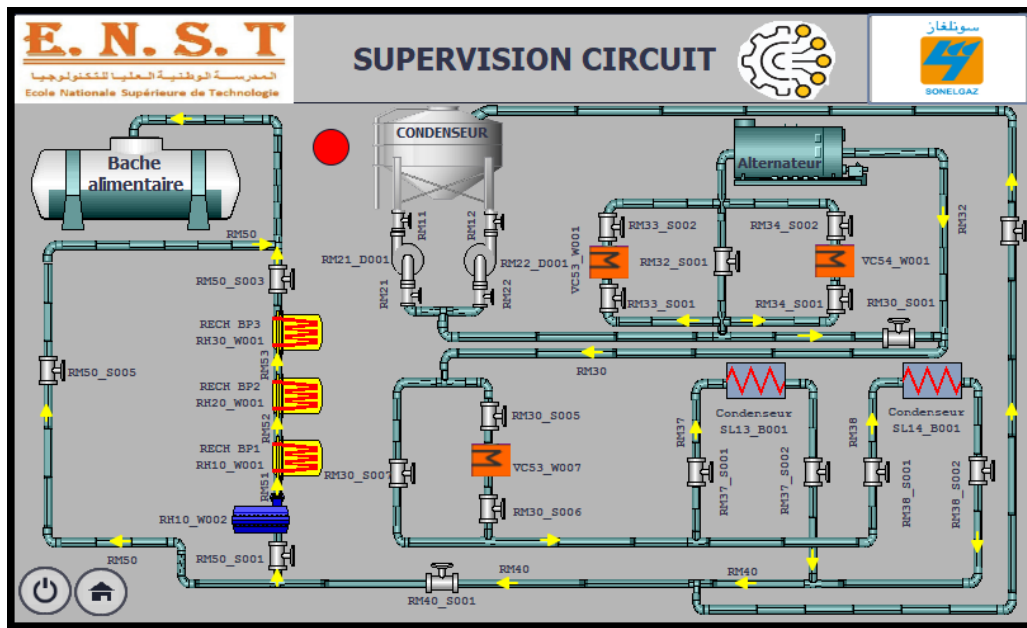


FIG. 3.48 : Circuit RM en arrêt.

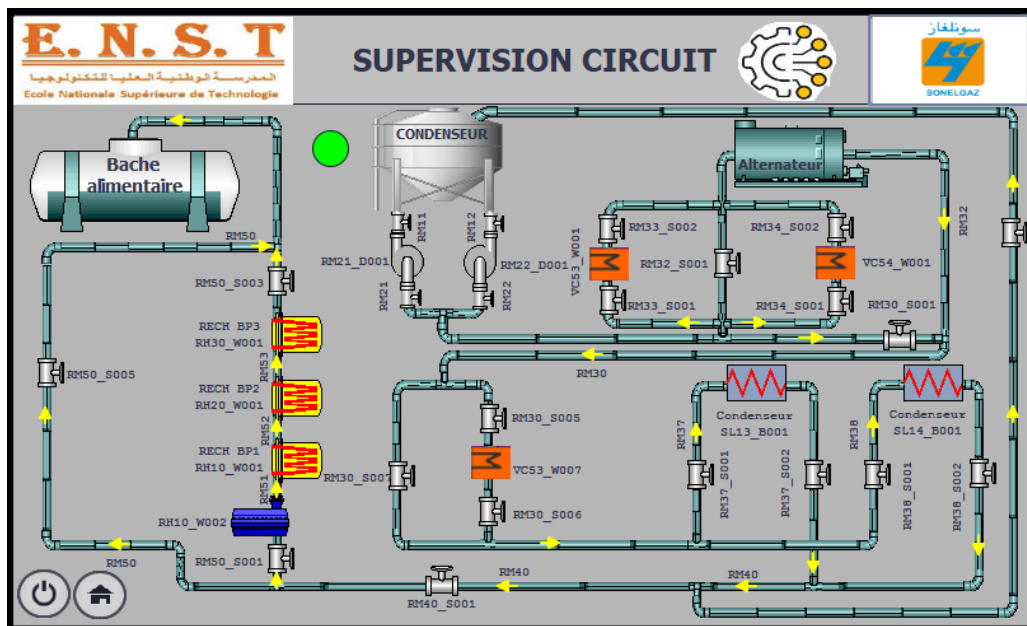


FIG. 3.49 : Circuit RM en marche.

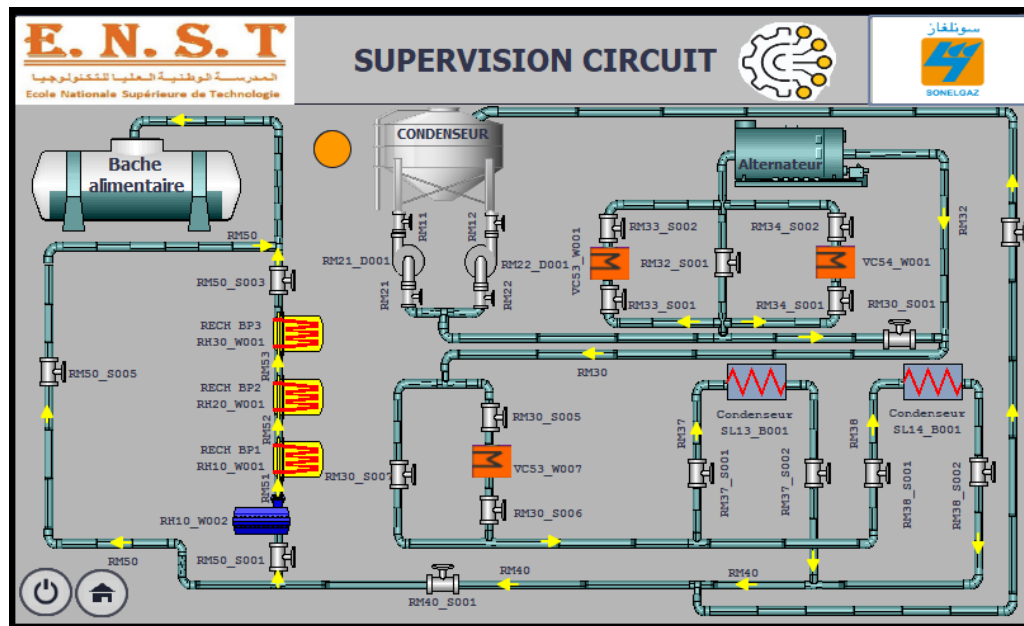


FIG. 3.50 : Circuit RM en arrêt d'urgence.

3.5.2.3 Les Vues de marche

Ces vues se permettent à l'opérateur de suivre l'évolution du programme lorsque le système commandé est mis en marche. Notre système contient 6 étape de marche. On prend comme exemple l'étape 4 en mode arrêt ,marche et arrêt d'urgence dans les figures 3.51 ,3.52 ,3.53.

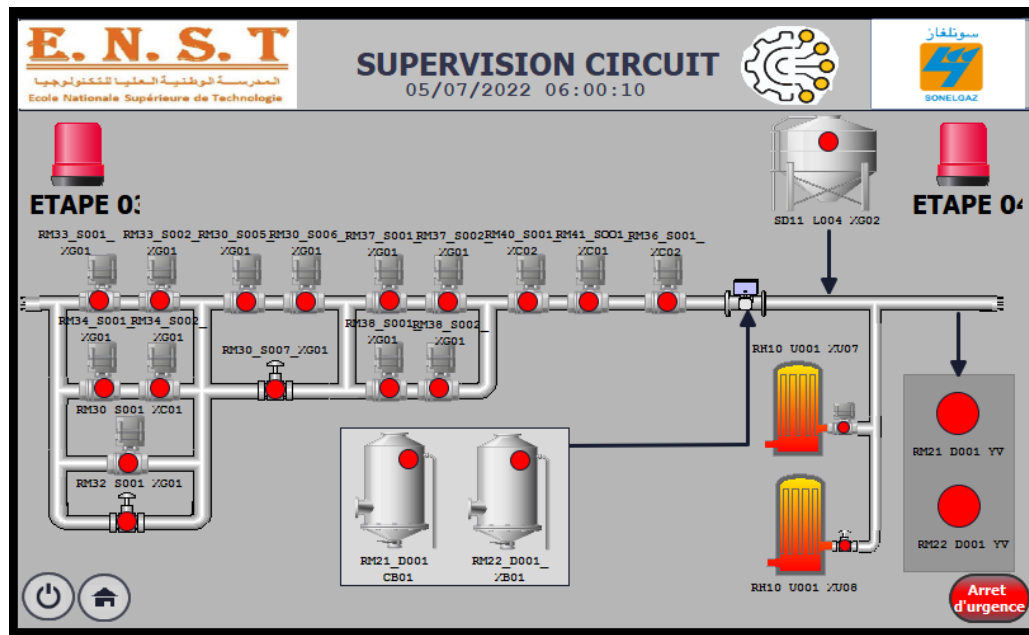


FIG. 3.51 : Étape 4 en arrêt.

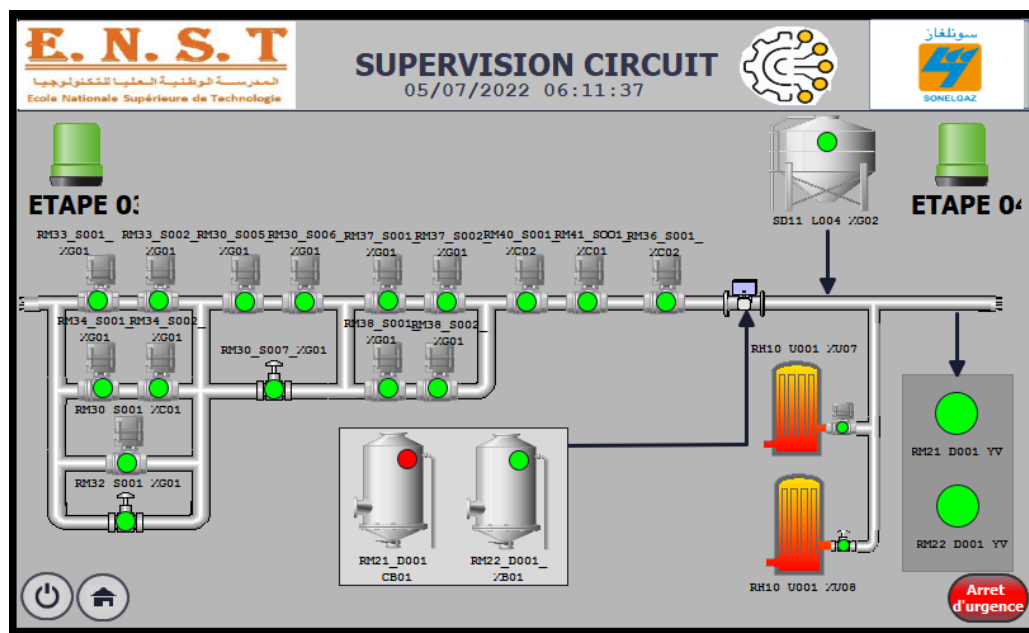


FIG. 3.52 : Étape 4 en marche.

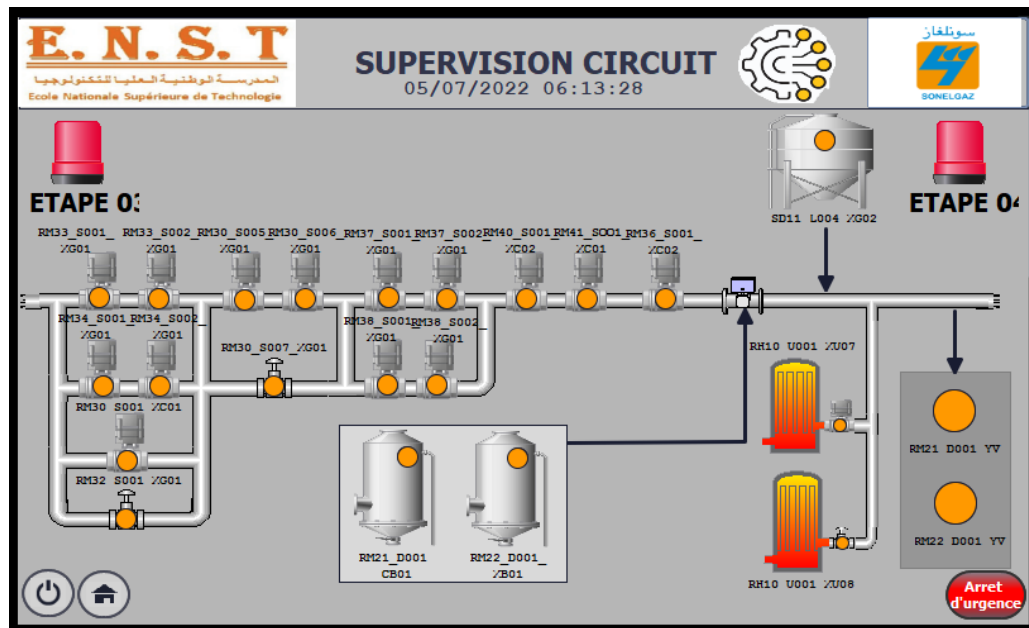


FIG. 3.53 : Étape 4 en arrêt d'urgence.

3.5.2.4 Les Vues d'arrêt

Ces vues se permettent à l'opérateur de suivre l'évolution du programme lorsque le système commandé est mis en arrêt. Notre système contient 4 étape d'arrêt. On prend comme exemple l'étape 51 en mode arrêt, marche et arrêt d'urgence dans les figures 3.54, 3.55, 3.56.

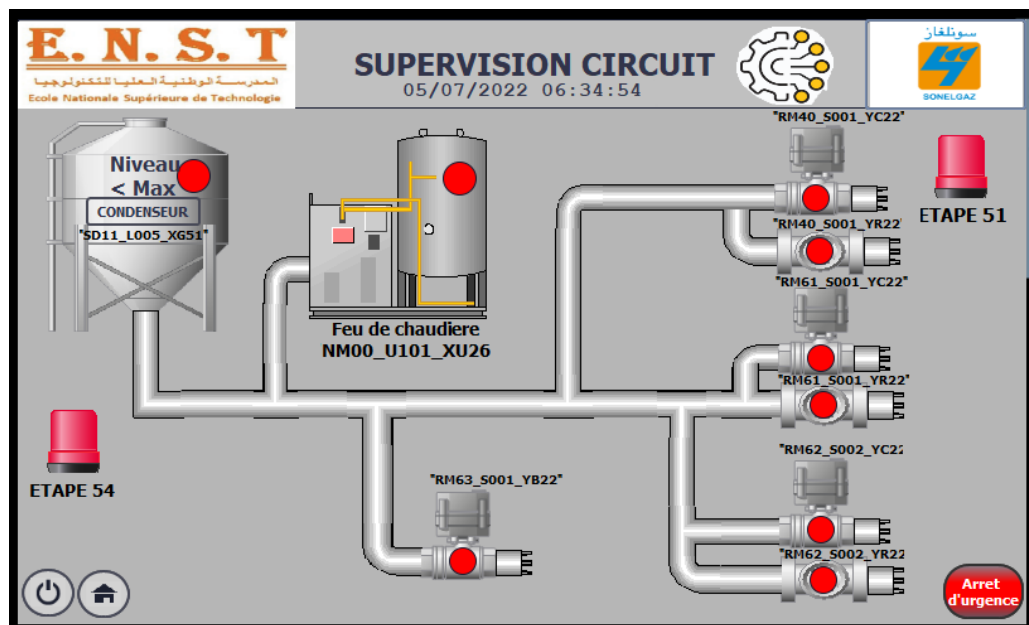


FIG. 3.54 : Étape 51 en arrêt.

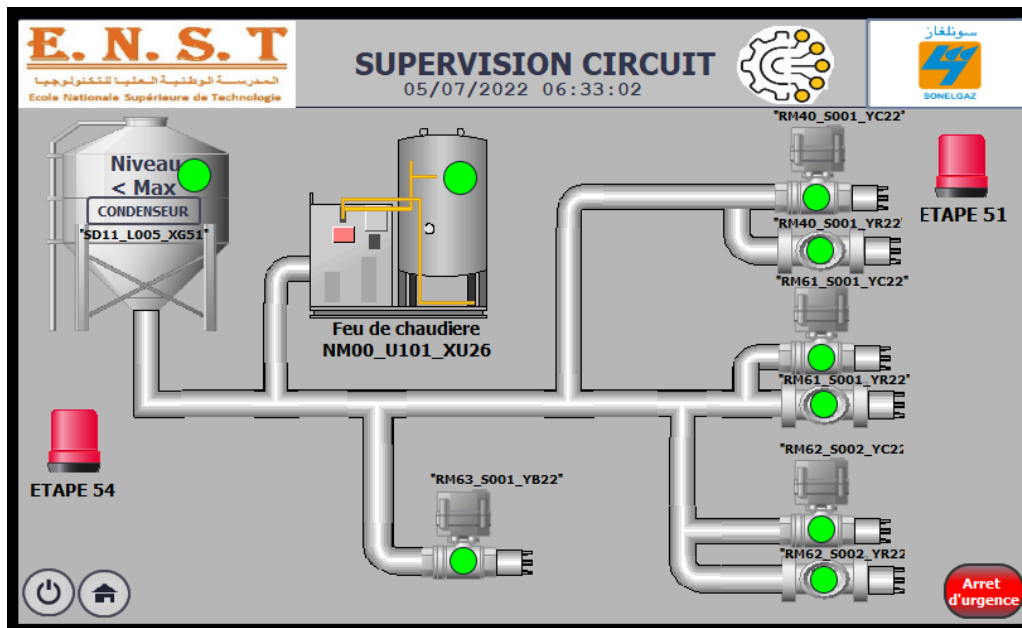


FIG. 3.55 : Étape 51 en marche.

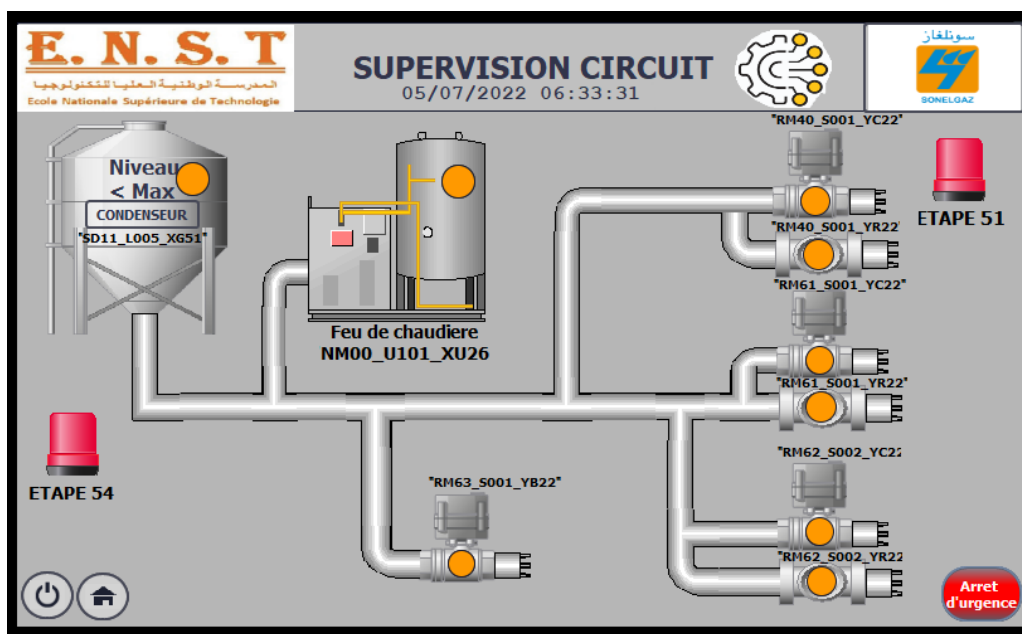


FIG. 3.56 : Étape 51 en arrêt d'urgence.

3.6 Conclusion

Après avoir opté pour une configuration adéquate de l'automate, le programme qui a été élaboré et qui va être chargé dans l'API. L'utilisation de S7-PLSCIM nous a permis de tester le programme élaboré vu que le TIA PORTAL offre différentes possibilités de test telle que la visualisation du programme afin de remédier à d'éventuelles erreurs commises et les modifications appropriées avant de passer à l'implémentation dans l'automate. Ainsi que l'interface IHM nous permettra de suivre l'état de système et d'engager dans le cas de défaillance.

Dans le prochaine chapitre nous présentons la partie pratique qui concerne l'application des techniques d'apprentissage profond pour la prédiction du comportements de la pompe.

Chapitre 4

Application d'apprentissage profond pour la prédiction

4.1 Introduction

La pompe d'extraction est l'organe le plus important dans le circuit RM, assurant le bon fonctionnement de la pompe implique le fonctionnement du circuit RM. Cette partie est consacrée à la mise en œuvre de deux méthodes de prédiction utilisant SARIMAX comme méthode statistique et une autre utilisant les réseaux de neurones (modèle supervisé) BI-LSTM, pour prédire les paramètres qui seront utile dans la maintenance prédictive da la pompe d'extraction.

4.2 Le langage de programmation utilisé

(python) Python est le langage de programmation le plus utilisé aujourd'hui. Python est un langage facile à apprendre, facile à déboguer, largement utilisé, orienté objet, open source et très performant. La programmation Python présente de nombreux autres avantages. Python a été construit avec d'extraordinaires bibliothèques Python qui sont utilisées par les programmeurs chaque jour pour résoudre des problèmes.[10]

4.3 Implémentation des méthodes

Nous avons implémenté les modèles on utilisant un seul paramètre : mesure axiale d'accélération de vibration pallier 1 (acc PAL1AX)

4.3.1 Modèle statistique SARIMAX.

```
my_order = (1,0,0)
my_seasonal_order = (1, 0, 0, 7)
# define model
model = SARIMAX(train_data, order=my_order, seasonal_order=my_seasonal_order)
```

FIG. 4.1 : Model statistique SARIMAX :

Nous avons utilisé la fonction pyramide Arima pour choisir les paramètres optimaux.

4.3.1.1 L'adaptation du modèle SARIMAX

```
start = time()
model_fit = model.fit()
end = time()
print('Model Fitting Time:', end - start)
```

Model Fitting Time: 0.12251543998718262

FIG. 4.2 : L'adaptation du model.

4.3.1.2 Résultats de prédiction

test_data		
	Acc PAL1AX	predicted
2021-09-30	0.338	0.346708
2021-10-31	0.855	0.426126
2021-11-30	1.170	0.861005
2021-12-31	0.453	0.909856
2022-01-31	0.500	0.185609
2022-02-28	0.479	0.457229

FIG. 4.3 : Résultats de prédiction

4.3.1.3 Plotter les résultats

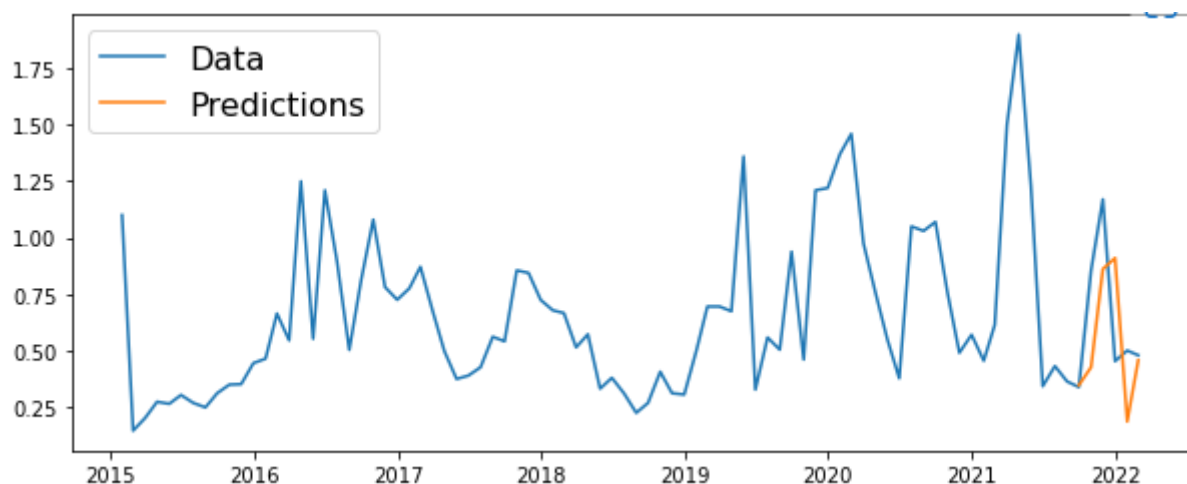


FIG. 4.4 : les résultats du test .

4.3.1.4 Le calcul des erreurs

```
mae
```

```
0.25659919660734715
```

```
print('Root Mean Squared Error:', np.sqrt(np.mean(rolling_residuals**2)))
```

```
Root Mean Squared Error: 0.31292169780480256
```

FIG. 4.5 : Le calcul de MAE (mean absolute error) et le RMSE (Root Mean Squared Error).

Ce modèle n'a qu'une seule entrée et une seule sortie, nous utilisons tout le spectre des données disponibles pour entraîner le système, et nous comparons les résultats de l'entraînement avec les

sorties réelles de 7%, cela montre que nos systèmes fonctionnent avec une marge très acceptable d'environ 0.26 .

4.3.2 Modèle de deep learning BI-LSTM

Nous avons utilisé un modèle de réseau neuronal récurrent bidirectionnel utilisant des cellules LSTM pour traiter les contraintes temporelles.

La sortie est une couche entièrement connectée avec un neurone qui effectue la prédiction en tant que sortie.

```
first_channel = tf.keras.Input(shape=(3,1))

X1=tf.keras.layers.Bidirectional(tf.keras.layers.LSTM(10, return_sequences=False))(first_channel)

X11=Dense(1)(X1)
```

FIG. 4.6 : Modèle d'apprentissage profond (DL) BI-LSTM.

4.3.2.1 Les couches de notre modèle BI-LSTM

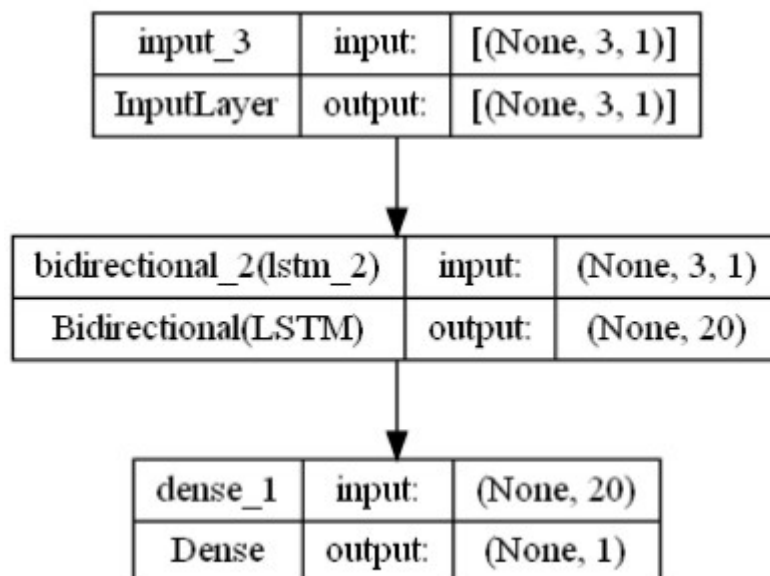


FIG. 4.7 : Les couches de notre modèle

4.3.2.2 Les paramètres d'entraînement

```
early_stopping = tf.keras.callbacks.EarlyStopping(monitor="val_loss", patience=100, restore_best_weights=True)

with tf.device('/GPU:0'):
    history = model.fit(x_train1,y_train, validation_data=(x_test1,y_test),epochs=2000, shuffle=False,callbacks=[ early_stopping])
```

FIG. 4.8 : Les paramètres d'entraînement

Nous avons entraîné notre modèle avec 2000 époques et nous avons utilisé la fonction `earlystopping` comme rappel (callback) et pour restaurer les meilleurs poids.

4.3.2.3 L'évaluation de model BI-LSTM

```
model.evaluate(x_test1,y_test)

1/1 [=====] - 1s 1s/step - loss: 1.0560
1.055961012840271
```

FIG. 4.9 : L'évaluation de model.

4.3.2.4 Les résultat de prédictions :

	PAL1AX	pred
2021-02-28	0.614	0.575457
2021-03-31	1.500	0.648039
2021-04-30	1.900	1.129325
2021-05-31	1.230	1.187583
2021-06-30	0.342	0.751797
2021-07-31	0.431	0.379780
2021-08-31	0.363	0.404622
2021-09-30	0.338	0.472604
2021-10-31	0.855	0.421115
2021-11-30	1.170	0.821512

FIG. 4.10 : Les résultat de prédictions

4.3.2.5 Ploter les résultats

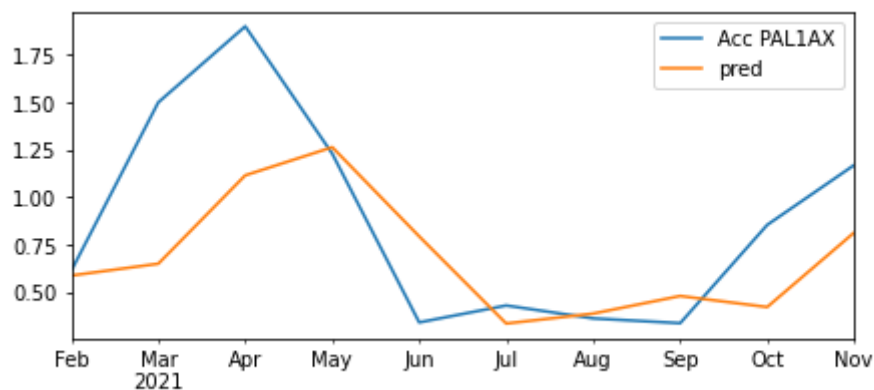


FIG. 4.11 : Plottage des résultats BI-LSTM

4.3.2.6 MAE (mean absolute error) et le MSE (Mean Squared Error)

```
import math
from sklearn.metrics import mean_squared_error
from sklearn.metrics import mean_absolute_error
from sklearn.metrics import mean_absolute_percentage_error
# calculate mean_absolute_error
testScore = mean_absolute_error(df_final['Acc PAL1AX'], df_final["pred"])
print('Test Score: %.2f MAE' % (testScore))
#calculate mean absolute error
mse=mean_squared_error(df_final['Acc PAL1AX'], df_final["pred"])
print('\nmse Score: %.2f ' % (mse))
```

Test Score: 0.32 MAE

mse Score: 0.19

FIG. 4.12 : MAE et le MSE

4.3.2.7 L'erreur en fonction du nombre d'époques

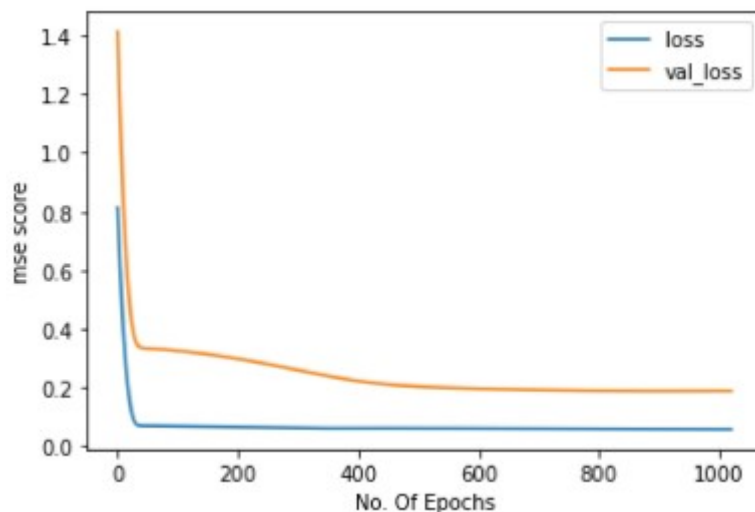


FIG. 4.13 : l'erreur en fonction du nombre d'époques

En adaptant le modèle, nous avons remarqué qu'il converge vers le résultat optimal.

4.3.2.8 le RMSE (Root Mean Squared Error)

```
test_series = df_final['Acc PAL1AX']
# state of model performance
if testScore < test_series.std():
    print('\n[ Model performance is GOOD enough ]')
    print('\nRMSE of test prediction < Standard deviation of test dataset')
    print('%0.2f' % (testScore), '<', '%0.2f' % (test_series.std()))
else:
    print('\n[ Model performance is NOT GOOD enough ]')
    print('\nRMSE of test prediction > Standard deviation of test dataset')
    print('%0.2f' % (testScore), '>', '%0.2f' % (test_series.std()))
```

```
[ Model performance is GOOD enough ]
```

```
RMSE of test prediction < Standard deviation of test dataset
0.32 < 0.55
```

FIG. 4.14 : le RMSE (Root Mean Squared Error)

Ce modèle également n'a qu'une seule entrée et une seule sortie ,il est bidirectionnel et a trois couches et fait également des prédictions avec une période d'entrée de trois mois et donne des prédictions pour le mois suivant, nous avons utilisé 70 variable de notre arrey pour l'apprentissage et 10 pour le test, ce modèle a une très petite erreur de 0,19 et en comparant le RMSE de la prédiction de test par rapport à l'ensemble de données de test de déviation standard, on obtient un résultat très favorable.

4.4 conclusion

En conclusion dans ce chapitre nous avons implémenté deux modèles prédictifs différents en utilisant le langage de programmation python. Bien que les données soient limitées, les deux méthodes ont fourni des résultats satisfaisants, mais le modèle de deep learning (BI-LSTM) reste le plus efficace. L'utilisation de ces techniques nous aidera à réduire les coûts d'exploitation, à identifier les risques de défaillance des équipements, à prédire les dégradations et à évaluer les performances.

Conclusion et perspectives

Conclusion générale

Dans ce projet, nous avons conçu et impliqué avec succès la commande basée sur l'automate programmable industriel du système d'automatisation de la pompe d'extraction de la centrale thermique de CAP DJINET..

Pour mieux gérer les différentes séquences de la pompe d'extraction, nous avons proposé une solution basée sur l'automate programmable SIEMENS S7-1200. cet automate peut être programmé à partir d'un micro-ordinateur, on a utilisé le logiciel TIA PORTAL pour le programmer, puis il faut transférer le programme dans l'automate pour qu'il soit fonctionnel.

Au niveau de la supervision, le WinCC Flexible qui est intégré dans le logiciel TIA PORTAL est utilisé pour développer l'interface homme-machine (IHM), pour la supervision de notre système à l'utilisation d'une pupitre de visualisation pour suivre l'état de système et d'intervenir dans le cas de panne.

En suite nous avons utilisé un programme de prédiction avec l'utilisation de langage python et l'implémentation du deux modèle de prédiction Bi-LSTM ET SARIMAX pour le but de prédire le comportement de la pompe d'extraction pour améliorer la performance. Nous avons favorisé le modèle BI-LSTM à cause de son excellent résultat.

Nous avons atteint l'objectif que nous avons fixé avant l'étude de cette installation. Ce projet nous a permis de compléter nos connaissances théoriques par le contact avec le milieu industriel. Notre conception peut être complétée en effectuant une autre étude et en ajoutant plus d'automates pour les autres parties de la centrale électrique. Alors, les programmes supplémentaires peuvent être attachés à celui que nous avons conçu avec quelques modifications. Enfin nous espérons que ce mémoire servira pour tous ceux qui s'intéressent au contrôle et à la commande des installations industrielles par un automate programmable industriel, et l'application des nouvelles technologies comme l'apprentissage profond pour améliorer et développer les systèmes actuels dans le marché industriel au but de construire un marché industriel intelligent.

Bibliographie

- [1] Programmable controllers-part 1: General information automates programmables-partie 1: Informations générales from ihs.
- [2] A Hmich, Aicha Sahel, Abdelmajid Badri, Youssef El Kouari, A Sahel, A Badri, K Loutfi, Y Elkouari, and N Belbounaguia. Segmentation et classification d'images. application à la reconnaissance d'objets dans des séquences d'images. view project breaking arc and renewable energy view project optique'08 surveillance et diagnostic du processus industriel complexe par r •seaux de neurones, 2008.
- [3] Buts de l'automatisation.
- [4] M Me and Mounira Benallel. Supervision des systemes industriels laboratoire d'automatique de tlemcen.
- [5] Université and Mai 1945 Guelma. Republique algerienne democratique et populaire ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique etude et réalisation d'un système de supervision sous yokogawa cs3000 application à l'unité de production d'air de l'entreprise nationale sonatrach.
- [6] Oscar Serradilla, Ekhi Zugasti, Jon Rodriguez, and Urko Zurutuza. Deep learning models for predictive maintenance : a survey, comparison, challenges and prospects. *Applied Intelligence*, 52:10934–10964, 2022.
- [7] Yongyi Ran, Xin Zhou, Pengfeng Lin, Yonggang Wen, and Ruilong Deng. A survey of predictive maintenance : Systems, purposes and approaches. 12 2019.
- [8] République Algérienne Démocratique, Université Larbi Ben Mhidi, and Oum El-Bouaghi. Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique spécialité : Maintenance-cyalcoué fatoumata, amor adnane et ziane ataoua. "machine learning pour la maintenance prédictive." in : (2021).
- [9] Documentation interne de la société de ras-djanet.
- [10] Al Sayeth Saabith, T Vinothraj, and Mmm Fareez. A review on python libraries and ides for data science.

Annexes

Annexe A

présentation de la centrale électrique "Cap Djinet"

Introduction

Une centrale électrique est une installation industrielle qui produit de l'électricité à partir d'énergie primaire. La plupart des centrales électriques utilisent un ou plusieurs générateurs qui convertissent l'énergie mécanique en énergie électrique afin d'alimenter le réseau électrique pour les besoins électriques de la société. L'exception concerne les centrales solaires, qui utilisent des cellules photo-voltaïques (au lieu d'une turbine) pour générer cette électricité.

Le type de combustible primaire ou de flux d'énergie primaire qui fournit à une centrale électrique son énergie primaire varie. Les combustibles les plus courants sont le charbon, le gaz naturel et l'uranium (énergie nucléaire). Un flux d'énergie primaire largement utilisé pour la production d'électricité est d'Hydro-électricité (eau). Les autres flux utilisés pour produire de l'électricité comprennent l'énergie éolienne, solaire, géothermique et marémotrice.

A.1 Présentation de la centrale électrique

A l'est d'Alger, dans la wilaya de Boumerdes, se trouve la centrale thermoélectrique de CAP-DJINET. Elle a été créée par une entreprise allemande (Siemens) en 1986 et s'étend sur 35 hectares.

Le site a été choisi sur la base des résultats d'une recherche qui a révélé :

- La proximité de clients importants, notamment dans la zone industrielle de REGAIA-ROUBA.
- L'usine est située au bord de l'eau (ce qui facilite l'utilisation de grandes quantités d'eau de refroidissement). eau qui refroidit).
- En raison des conditions favorables du sous-sol, aucune fondation profonde n'est nécessaire.

La centrale de Cap-Djinet est composée de quatre unités de type thermo-vapeur, chacune ayant une puissance unitaire de 176 MW pour un régime de 100 pour cent (pleine charge) au niveau de la borne de l'alternateur, délivrant une puissance totale de 704 MW.

La consommation totale des auxiliaires est d'environ 32 MW, ce qui donne une alimentation nette du réseau national de 672 MW. 672 MW sont connectés au réseau national.

A.2 Historique de la centrale

Le 17 juin 1986, la première énergie électrique est envoyée sur le réseau. Construit par une entreprise austro-allemande SIEMENS-SGP, chargée des études, de la supervision du montage et du contrôle de qualité, ainsi que par une entreprise espagnole DRAGADOS, chargée de la mise en œuvre de la prise d'eau de mer.

Après la signature des contrats principaux en 1980, les travaux de terrassement ont commencé en 1981 et 1981, et la construction de l'érection a commencé en mars 1984.

Voici le calendrier d'exécution des principales opérations :

- **Génie civil travaux** : à partir de Juin 1981 jusqu'au Mars 1985
- **Installation mécanique** : à partir de Mars 1984 jusqu'au Septembre 1986
- **Installation électrique** : de 1984 au 1986

Les unités de production d'électricité ont été mises en service dans l'ordre suivant :

- Décembre 1985: GROUPE 1
- Avril 1986: GROUPE 2
- Septembre 1986: GROUPE 3

- Décembre 1986: GROUPE 4

A.3 Les principaux organes de la centrale

A.3.1 La chaudière

Le type de chaudière utilisé est une chaudière à circulation naturelle. Le rôle du générateur de vapeur est de changer l'état de l'eau entrante de liquide à vapeur sous haute pression afin d'alimenter le groupe turbo alternateur (GTA).

Générateur de vapeur Caractéristique :

- **Pression de service** : 160bars
- **Débit Vapeur** : 523t/h
- **Température dans le foyer** : 900°C
- **Température de l'eau alimentation** : 246°C
- **Capacité de vaporisation** : 540 t/h
- **Température de sortie de la fumée** : 118°C
- **Les dimensions du générateur de vapeur sont les suivantes** :
 - Largeur : 9375 mm.
 - Hauteur : 17000 mm.
 - Longueur : 9675 mm.
- **La puissance de générateur de vapeur** :
 - Débit de vapeur minimale : $Q_{min} = 130t/h \rightarrow P_t = 443 \text{ MW}$.
 - Débit de vapeur maximale : $Q_{max} = 530t/h \rightarrow P_m = 176 \text{ MW}$
 - Débit de vapeur nominale : $Q_{nom} = 523,9t/h \rightarrow P_n = 176 \text{ MW}$

A.3.2 L'alternateur

L'alternateur est un mécanisme qui convertit l'énergie mécanique produite par le rotor de la turbine en énergie électrique.

L'alternateur central de Ras-Djinet est une unité triphasée synchronisée. Il s'agit d'un alternateur bipolaire avec refroidissement direct du rotor et indirect du stator par l'hydrogène. L'électricité est fournie par un réseau interconnecté qui relie les principales centrales électriques par une ligne de transmission à haute tension. Enfin, pour obtenir la tension souhaitée, l'électricité est transportée jusqu'aux consommateurs via des transformateurs.

Les Caractéristiques de l'alternateur :

- La tension : 15,5 KV.
- La fréquence : 50 HZ.
- L'intensité de courant : 8195 A.
- La puissance maximale : 176 MW.

A.3.3 Condenseur

Le condenseur de la turbine fait partie du circuit de condensation qui, avec le circuit d'eau de circulation, le circuit d'eau et les circuits auxiliaires, assure la condensation et la détente de la vapeur d'échappement de la turbine à basse contre-pression.

Il y'a deux types de condenseur :

- Par surface.
- Par mélange.

Le condenseur utilisé dans l'installation est un échangeur surface à surface. Il est situé sous une turbine basse pression. La vapeur se condense lorsqu'elle entre en contact avec les parois des tubes, qui sont remplies d'eau de mer refroidissante.

les fonctions de condenseur sont :

- Assurer la condensation de la vapeur d'eau éjectée du corps de turbine (BP) et réintroduire la condensation dans le circuit vapeur d'eau (poste d'eau).
- Augmenter l'enthalpie de la vapeur évacuée en établissant une dépression, afin d'obtenir le rendement de turbine le plus élevé possible.
- Dégazer et évacuer les incondensables (la majorité de l'air).
- Il accepte également les condensats de fluides frigorigènes (BP).
- Recevoir divers purges ainsi que des vapeurs de contouring (bypass BP)

Les caractéristiques du condenseur :

- **Surface d'échange** : 10101 m².
- **Capacité d'entrée/sortie des puits** : eau de mer 6°C à 8°C.
- **Dans le condenseur, il y a une pression de** : 0,007 Bar absolue.
- **La masse de condenseur à vide** : 258,5 tonnes.
- **Matériau de tube** : titans.
- **La vitesse de l'eau dans les tubes** : 1,8m/s.
- **Débit de vapeur** : 98,25 kg/s.
- **Débit de l'eau de refroidissement** : 6500kg/s(l'eau de la mer).
- **Le Nombre des tubes** : 14850.
- **La longueur des tubes** : 11490.
- **La température de la sortie** : 32,9°C.
- **La pression de la sortie** : 0,05 bar.

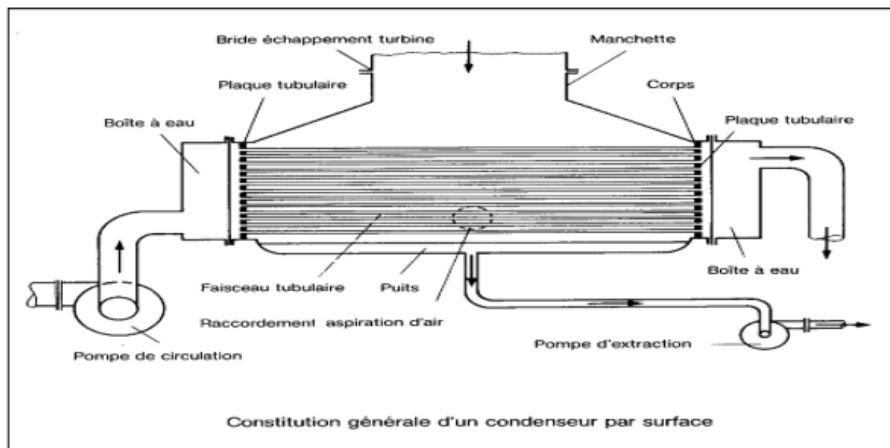


FIG. A.1 : La structure générale d'un condenseur à surface.

A.3.4 Dégazeur

Le rôle du dégazeur est d'éliminer le gaz de l'eau. Il comporte une chambre de mélange pour le dégazage des condensats, une plaque de dégazage et un collecteur horizontal, ainsi que la collecte et l'évacuation des incondensables.

Des soupapes de sécurité installées sur les canalisations protègent le dégazeur et la bache alimentaire.

A.3.5 La bache alimentaire

Il sert d'échangeur de mélange (rechauffeur), et l'eau est chauffée par le soutirage (S4) du corps moyenne pression (MP) de la turbine.

Deux tuyaux d'échappement sont utilisés pour libérer les gaz étrangers non condensables dans l'environnement.



FIG. A.2 : La bache alimentaire.

Les caractéristiques de la bache alimentaire sont les suivantes :

- Pression : 4,9-5 bars.
- Débit : 145,34 kg/s.
- La température de l'entrée : 144°C
- Volume totale : 163m³.
- Le diamètre de l'enveloppe : 3,6 m/
- La température de la bache à la sortie : 150-151°C.

- La longueur de la bâche alimentaire : 16,5m.

A.3.6 La turbine

C'est le composant le plus important de la centrale ; il convertit l'énergie thermique contenue dans la vapeur de la chaudière en un mouvement de rotation de l'arbre, le travail mécanique qui en résulte servant à entraîner l'alternateur.

Cette turbine est une machine arborescente avec des corps séparés HP (High Pression), MP (Moyenne Pression) et BP (Basse Pression).

Il possède (06) souritages pour (03) réchauffages (BP) et (02) réchauffages (HP) ainsi que la bâche alimentaire. Les rotors de la turbine et de l'alternateur sont étroitement liés.

A.3.6.1 Caractéristique de la turbine

- Longueur :
- Poids : $500. 10^2$ Kg.
- Puissance : 176 MW(full charge)
- La vitesse de rotation : 3000 tr/min
- Largeur : 13m
- **Corps HP** : Il s'agit d'un système à flux unique avec un rack S6 qui alimente les réchauffeurs haute pression (HP₆).
 - A l'entrée du corps :
 - * Température : 540°C.
 - * Pression : 138 bars.
 - A la sortie de corps :
 - * Température : 357°C.
 - * Pression : 40bars.

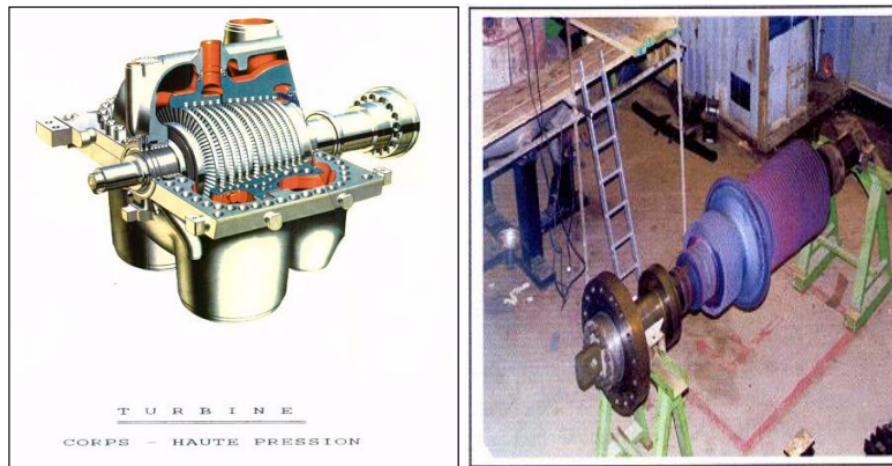


FIG. A.3 : Corps haut pression (HP).

- **Corps BP** : L'admission de ce corps est directement reliée au corps MP par une conduit, et elle a un double flux avec trois souritages.
 - Le souritage (S1) : fournit une température de 56°C et une pression de 0,15 bar au premier réchauffant (BP).
 - Le souritage (S2) : fournit une température de 89°C et une pression de 0,65 bar au premier réchauffant (BP).
 - Le souritage (S3) : fournit une température de 173°C et une pression de 1.77 bar au premier réchauffant (BP).

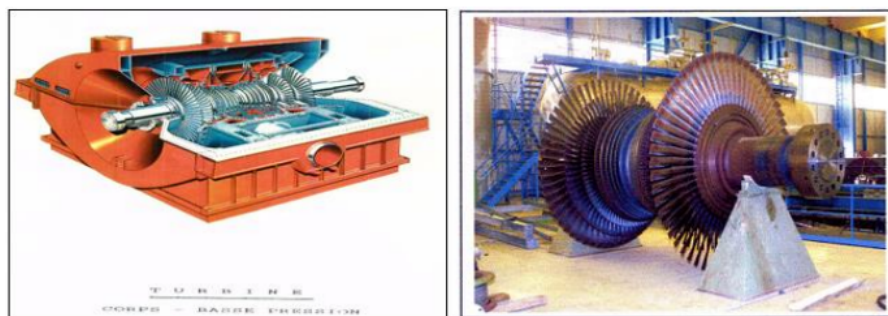


FIG. A.4 : Corps Base pression (BP).

- **Corps MP** : Il comporte double flux, S5 et S4, et a un double débit.
 - A l'entrée de corps :
 - * Pression : 35,9 bar.
 - * Température : 535°C .
 - A la sortie de corps :
 - * Pression : 5,52 bar.
 - * Température : 282°C .
 - Avec une température de 423°C et une pression de 16,5 bars, le soutirage S5 alimente le réchauffeur haute pression (HP_5).
 - Avec une température de 282°C et une pression de 5,5 bars, le soutirage S4 alimente la bache alimentaire.

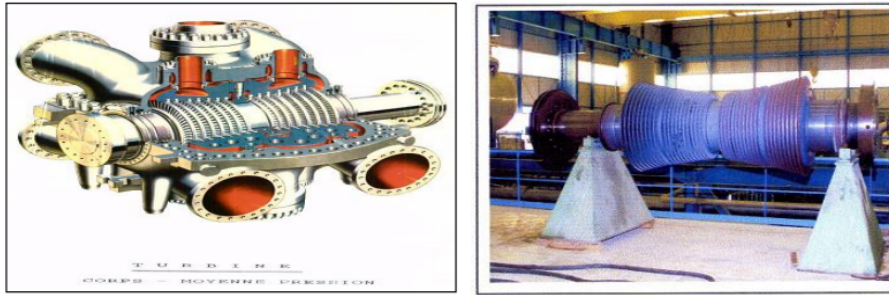


FIG. A.5 : Corps Moyenne Pression (MP).

A.3.7 Les pompes

Il est présent dans la centrale CAP-DJINET : (02) pompes d'extraction, (03), pompes d'alimentation, et pompes de circulation.

A.3.7.1 Pompe d'extraction

Les pompes à eau d'extraction ont pour mission de transporter le condensat primaire de la sortie du condenseur vers la bache alimentaire en passant par les réchauffeurs basse pression, les refroidisseurs d'été, les refroidisseurs d'hydrogène, etc.

Caractéristique des pompes d'extraction :

- Température de l'entrée : $32,9^{\circ}\text{C}$.
- Type de pompe : centrifuge à 3 étages.
- Pression(Hauteur à débit nul) : 19,7 bars.
- Pression de service(hauteur totale) : 16,8 bars.
- Débit nominale : 414 m^3 .
- Température de la sortie : 33°C .

A.3.7.2 Pompe d'alimentation

Les pompes d'alimentation fournissent l'eau nécessaire au générateur de vapeur (chaudière) via les réchauffeurs haute pression (HP) de la station d'eau (la station d'eau est le groupe d'équipements qui transporte l'eau du cycle du condenseur à la chaudière) et l'économiseur du générateur de vapeur.

Les pompes alimentaires sont chargée à fournir la quantité exacte d'eau nécessaire pour maintenir le niveau d'eau dans le réservoir de la chaudière entre deux limites bien définies.

Les conditions de fonctionnement des pompes alimentaires sont les suivantes :

- Absorber l'eau chaude.
- Refouler l'eau à une pression élevée.
- Assurer un débit d'eau suffisant.
- Pour éviter les effets très dangereux d'un manque d'eau dans le générateur de vapeur, un haut degré de sécurité de fonctionnement est nécessaire.

L'installation dispose de trois pompes, dont chacune a un débit de $261,6 \text{ m}^3$ par heure. Ces pompes refoulent de l'eau à haute pression. Les pompes d'alimentation ont les caractéristiques suivantes :

- Type : pompe centrifuge.
- La température d'eau : $151,4^{\circ}\text{C}$.
- Pression aspiration : 5,6 bars.
- Pression refoulement : 177bars.

- Débit nominale : $261,6 \text{ m}^3/\text{h}$.

A.3.8 Réchauffeurs

A.3.8.1 Réchauffeurs à Basse Pression(BP)

Ces trois réchauffeurs BP sont chargés de réchauffer le condensat pendant son transit vers le bache alimentaire. Les souritages d'air provenant du corps de la turbine BP les alimentent. Le débit des réchauffeurs est de 114.415 kg/s .



FIG. A.6 : Réchauffeur(Vue de face).

A.3.8.2 Réchauffeurs à Haute Pression(HP)

Ces deux réchauffeurs ont pour but de réchauffer l'eau entrante avant de l'envoyer à la chaudière. Ils sont alimentés par des soutirages provenant de deux corps différents : l'un du corps MP et l'autre du corps HP.

A.3.9 Les réfrigérants

A.3.9.1 Réfrigérants d'été(Réfrigérants d'eau d'extraction)

Les refroidisseurs d'été sont utilisés pour refroidir l'eau extraite lorsque la température du circuit devient trop élevée (généralement en été, d'où le nom de refroidisseurs d'été).

Les deux réfrigérateurs d'été utilisent l'eau de mer comme source de refroidissement.

Le Débit de l'eau de la mer : $(2 \times 215 \text{ m}^3/\text{h})$

A.3.9.2 Réfrigérants d'hydrogène

Le réfrigérateur à hydrogène est utilisé pour refroidir l'hydrogène dans l'alternateur.

Les réfrigérateurs à quatre hydrogènes (H_2) (4×25 pour cent) sont empilés horizontalement à l'intérieur de l'enveloppe de l'alternateur. Des échangeurs montés en surface sont utilisés pour refroidir l' H_2 chaud par la méthode du croisement des courants. L'échange de chaleur entre l' H_2 et l'eau de refroidissement se fait par une série de tubes munis d'ailettes qui traversent l'eau.

A.4 Les circuits du cycle eau et vapeur de la centrale de CAP DJINET

A.4.1 Le circuit d'extraction (RM)

A une pression de 0,05 bar et à une température de 33°C, les pompes d'extraction prélèvent le condensat du condenseur. Elles transportent l'eau vers les réchauffeurs BP1, BP2 et BP3, qui élèvent la température comme suit :

- A la sortie de réchauffeur BP1 la température est : 52°C.
- A la sortie de réchauffeur BP2 la température est : 84°C.
- A la sortie de réchauffeur BP3 la température est : 113°C.

L'eau provient de la bache alimentaire où a lieu le dégazage, elle a une température de 151°C et une pression de 170 bars.

A.4.2 Le circuit d'alimentation (RL)

Les pompes alimentaires aspirent l'eau du bache alimentaire et la transfèrent aux réchauffeurs HP1 et HP2, qui élèvent la température comme suit :

- A la sortie de réchauffeur HP1 la température est : 200°C.
- A la sortie de réchauffeur HP2 la température est : 246°C.

Lorsque l'eau chaude comprimée entre dans le réservoir de la chaudière, elle traverse les parois tubulaires qui bordent la chambre de combustion, où elle atteint les températures d'ébullition et de vaporisation.

La moitié supérieure du ballon de la chaudière est remplie de La vapeur saturée dans la moitié supérieure du ballon de la chaudière est acheminée vers les trois surchauffeurs, où la température monte jusqu'à 540°C ; si la température est supérieure, la chaudière s'arrête. Si la température dépasse 540°C, les désurchauffeurs sont activés pour la ramener à ce niveau. La pression est presque constante jusqu'à 540 degrés Celsius (170 bars).

A.4.3 Le circuit (RA)

Lorsque la vapeur surchauffée atteint le corps du HP, elle se détend à 40 bars et sa température chute à 357°C. Elle retourne ensuite vers les resurchauffeurs de la chaudière, où elle se réchauffe à 540°C. Il entre ensuite dans le MP de la turbine (en suivant le circuit RB) et se dirige vers le corps BP. Il donne un travail moteur en passant par ces trois corps.

A.4.4 Le circuit de condensation (RC)

Le condenseur est le dernier circuit, dans lequel la vapeur est condensée sous vide à une pression de 0,05 bar et à une température d'environ 33°C. L'eau recueillie est refroidie, et le cycle recommence.

A.5 Les différents circuits auxiliaires de la centrale

A.5.1 Station de l'eau de mer

Le fonctionnement d'une centrale thermique de grande puissance nécessite l'utilisation d'importantes quantités d'eau de refroidissement afin de réduire la chaleur résiduelle. La centrale

de Cap-Djinet a besoin d'environ $30 \text{ m}^3/\text{s}$ d'eau.

A.5.2 Station de pompage et de filtration d'eau de mer

La station de pompage et de filtration d'eau de mer est située à une faible profondeur d'environ 7 mètres dans la mer Méditerranée, avec une prise d'eau à 900 mètres de la côte. L'entrée d'eau de la station de pompage est constituée de trois canalisations en béton d'un diamètre de 2,70 mètres.

A.5.3 Système traitement des eaux

A.5.3.1 Station d'électro-Chloration

La chloration de l'eau de mer protège le circuit d'eau de mer (condenseur, ligne d'alimentation en eau de mer, etc.) de l'encrassement produit par les (condenseur, ligne d'alimentation en eau de mer, etc.) de l'encrassement causé par les micro-organismes marins. L'hypochlorite de sodium est injecté dans le patient.

Avec deux unités, l'installation est capable de produire ($2 \times 150 \text{ Kg/h}$) de chlore. $104000 \text{ m}^3/\text{h}$ d'eau en écoulement sont chlorés en permanence dans des conditions de chloration continue.

A.5.3.2 Station de dessalement de l'eau de mer

Le rôle de la station de dessalement est de produire de l'eau dessalée à partir de l'eau de mer. L'eau dessalée est produite dans deux réservoirs ($2 \times 2700 \text{ m}^3$) par quatre machines de dessalement produisant chacune 500 m^3 par jour.

Type d'installation : **Multi-flash**, qui vaporise l'eau de mer pour en retirer le sel, puis se condense pour produire de l'eau dessalée.

- **Le belgard EVN** : Pour empêcher l'entartrage, un inhibiteur d'entartrage est utilisé.
- **La belite (M33)** : Agent anti-mousse utilisé pour empêcher la formation de mousse dans les évaporateurs.
- **Le bissulfite de sodium (NA_2SO_3)** : Produit qui permet d'éliminer le chlore de l'eau afin de réduire la conductivité.

A.5.3.3 Station de déminéralisation

L'eau d'appoint des quatre chaudières est traitée dans l'installation de déminéralisation.

Deux lignes de déminéralisation, d'une capacité de 40 m^3 par heure chacune, terminent le processus de traitement de l'eau avant qu'elle ne soit utilisée dans le cycle de l'eau de vapeur. L'eau dessalée est conservée dans deux (02) réservoirs de 1500 m^3 .

A.5.4 Un poste de dépotage et transfert fuel

Il y a deux bache de stockage d'une capacité de $2 \times 10000 \text{ m}^3$.

A.5.5 Poste de détente gaz naturel

La centrale thermique de RasDjinet fonctionne avec du gaz naturel comme combustible principal.

A.6 Évacuation de l'énergie

L'énergie électrique produite est évacuée vers les postes de BOUDOUAOU et SI-MUSTAPHA par des lignes de 225 KV.

A.7 Commande et contrôle

La centrale de Cap Djinet est connue pour son haut niveau d'automatisation et de centralisation. Chaque groupe de production dispose d'une quarantaine de chaînes de régulation, permettant un pilotage automatisé du groupe. Le groupe est piloté automatiquement.

A.8 Système de surveillance, d'alarme et d'analyse

Les paramètres de fonctionnement (température, pression, niveau d'eau, vibrations, etc.) des différents équipements du groupe sont indiqués, enregistrés en permanence dans la salle de contrôle, et notifiés dès qu'un seuil est dépassé.

Un enregistreur d'état est ajouté pour une meilleure analyse en cas de problème ; il permet d'enregistrer les alertes en séquence chronologique.

A.9 Salle de commande centralisée

Depuis la salle de contrôle, chaque paire de plaquettes est régulée et modifiée. Chaque unité dispose de sa propre salle de contrôle, qui comprend :

- Deux pupitres de conduits.
- Les auxiliaires électriques sont schématisés dans un (01) tableau synoptique.
- Les organes de contrôle et les dispositifs d'enregistrement de la plupart des paramètres sont situés sur deux (02) tables verticales.



FIG. A.7 : Salle de controle.

A.10 Principe de fonctionnement de la centrale

Avant de décrire le fonctionnement de la centrale, il est bon de passer en revue les nombreuses transformations de l'énergie qui ont été employées pour produire de l'énergie électrique. En général, il existe trois (3) transformations :

0. L'énergie stockée dans l'état latent du combustible (énergie chimique) est convertie en énergie calorifique.
 - (0) Énergie chimique – **Chaudière** – Énergie calorifique.
0. L'énergie calorifique est convertie en énergie mécanique.
 - (0) Énergie calorifique – **Turbine** – Énergie mécanique.
0. L'énergie mécanique est convertie en énergie électrique.
 - (0) Énergie mécanique – **Alternateur** – Énergie électrique.

Après la distillation, l'eau froide est amenée au réservoir d'alimentation et fournie par le condenseur. L'eau d'appoint après la distillation est progressivement comprimée par les pompes à basse et haute pression et chauffée par les réchauffeurs HP et BP.

L'eau d'alimentation des chauffages HP est introduite dans la chaudière par la vapeur des robinets. Dans l'économiseur, l'eau est chauffée par convection par les gaz de combustion de la chambre de combustion, puis dirigée vers le réservoir.

L'eau est encore sous forme liquide lorsqu'elle sort de l'économiseur, il faut donc la chauffer pour produire de la vapeur. pour la réchauffer. Ensuite, il s'agit de vaporiser les écrans du ballon. L'eau se transforme en vapeur lorsqu'elle entre en contact avec les flammes du brûleur et s'élève naturellement vers le réservoir en raison de la différence de densité entre l'eau et la vapeur.

L'eau et la vapeur sont séparées dans le tambour, et la vapeur est acheminée vers le surchauffeur par des tubes de support.

La vapeur est envoyée dans la turbine pour être détendue à la sortie du dernier surchauffeur, et la vapeur d'échappement est refroidie dans la partie HP de la turbine avant d'être renvoyée dans la chaudière pour être réchauffée.

La vapeur continue de se détendre dans le corps MP puis dans le corps BP à la sortie des réchauffeurs. Le condenseur reçoit la vapeur détendue du corps BP. La vapeur se condense dans le vide à une température de 33°C et à une pression de 0,05 bar.

Les pompes d'extraction prélèvent l'eau du puits du condenseur et la refoulent via le Les pompes d'extraction prélèvent l'eau du puits du condenseur et la refoulent dans le réservoir alimentaire via le refroidisseur de l'alternateur et trois (3) réchauffeurs basse pression.

L'eau d'alimentation est physiquement dégazée dans le réservoir d'alimentation avant qu'un nouveau cycle puisse commencer. Le cycle peut recommencer.

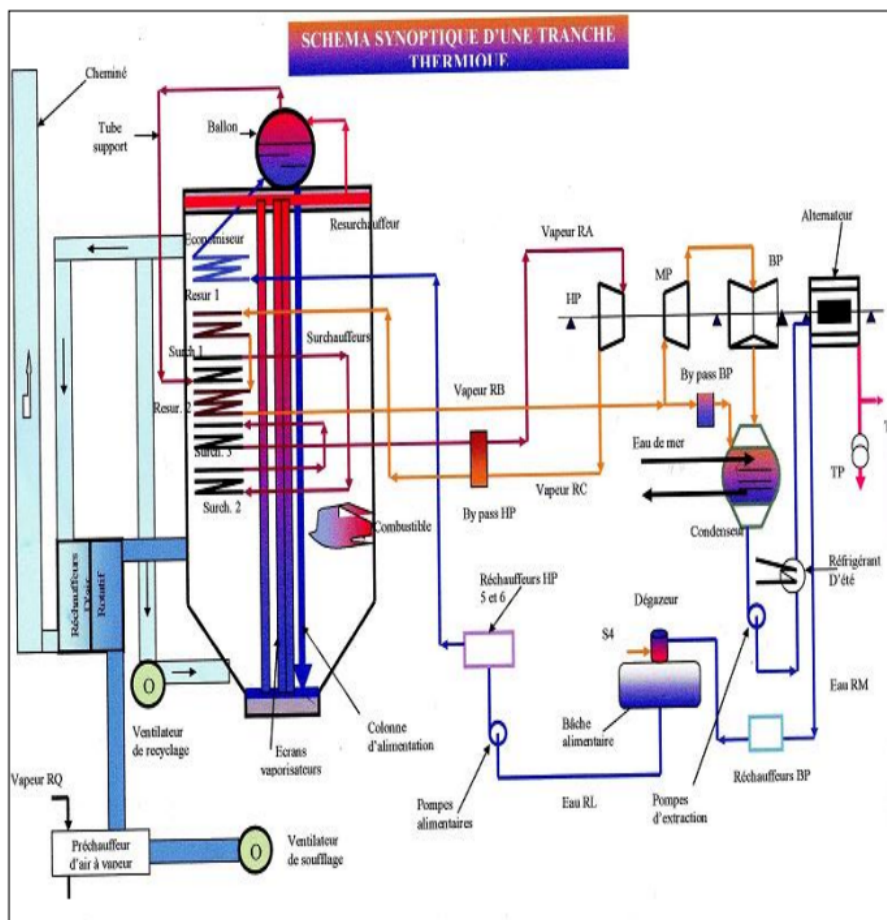


FIG. A.8 : Shéma synoptique du central.

Annexe B

Etat de l'art

Annexe C

Étude de la pompe d'extraction

C.1 Principe de fonctionnement des pompes

Le but d'une pompe est d'augmenter la pression d'un liquide et de créer un débit. Les pompes volumétriques et les turbopompes sont les principaux types de pompes qui ont été conçues pour accomplir cette tâche.

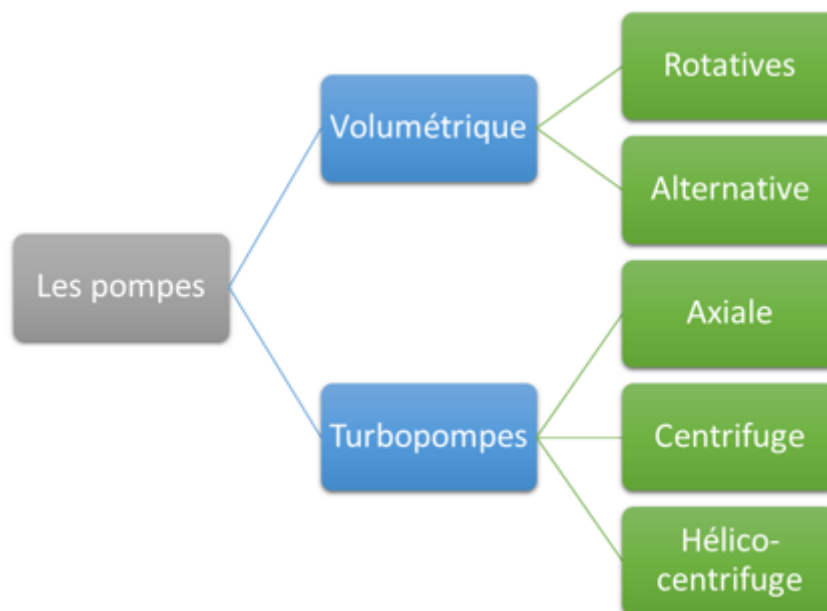


FIG. C.1 : catégorisation des pompes.

C.1.1 Les pompes volumétriques

Les pompes volumétriques ou à capacité variable sont celles dans lesquelles le débit du fluide est déterminé par la variation d'une capacité occupée par le fluide. Il existe deux grands types de pompes volumétriques :

- Les pompes rotatives.
- Les pompes alternatives.

C.1.2 Les turbopompes

Les turbopompes sont actuellement parmi les plus demandées. Les principales raisons de ce choix sont les suivantes : comme ces machines sont rotatives et ne comportent pas de liaisons articulées, leur actionnement par un moteur électrique ou un moteur à combustion interne est simple. En revanche, l'encombrement d'une turbopompe est environ dix fois supérieur à celui d'une pompe volumétrique, et il peut être encore réduit en utilisant une orientation verticale. Cet encombrement réduit, ainsi que la légèreté, permettent de réaliser des économies importantes sur les bâtiments qui abritent les installations. Par ailleurs, les coûts d'entretien d'une turbopompe sont relativement élevés. Il existe trois types de turbopompes :

- Les pompes axiales.
- Les pompes centrifuges.
- pompes hélico-centrifuges.

C.1.2.1 Les pompes centrifuges

Les pièces d'une pompe centrifuge comprennent :

- une roue à aubes tournant autour de son axe.
- un distributeur dans l'axe de la roue.
- un collecteur de section croissante, en forme de spirale appelée volute.

Le liquide entre dans l'axe du l'appareil par le distributeur, et la force centrifuge le pousse vers l'extérieur de la turbine. Il acquiert beaucoup d'énergie cinétique, qui est convertie en énergie de pression dans le collecteur au fur et à mesure que la section transversale augmente. L'emploi d'un diffuseur à la périphérie de la roue mobile permet de réduire la perte d'énergie.

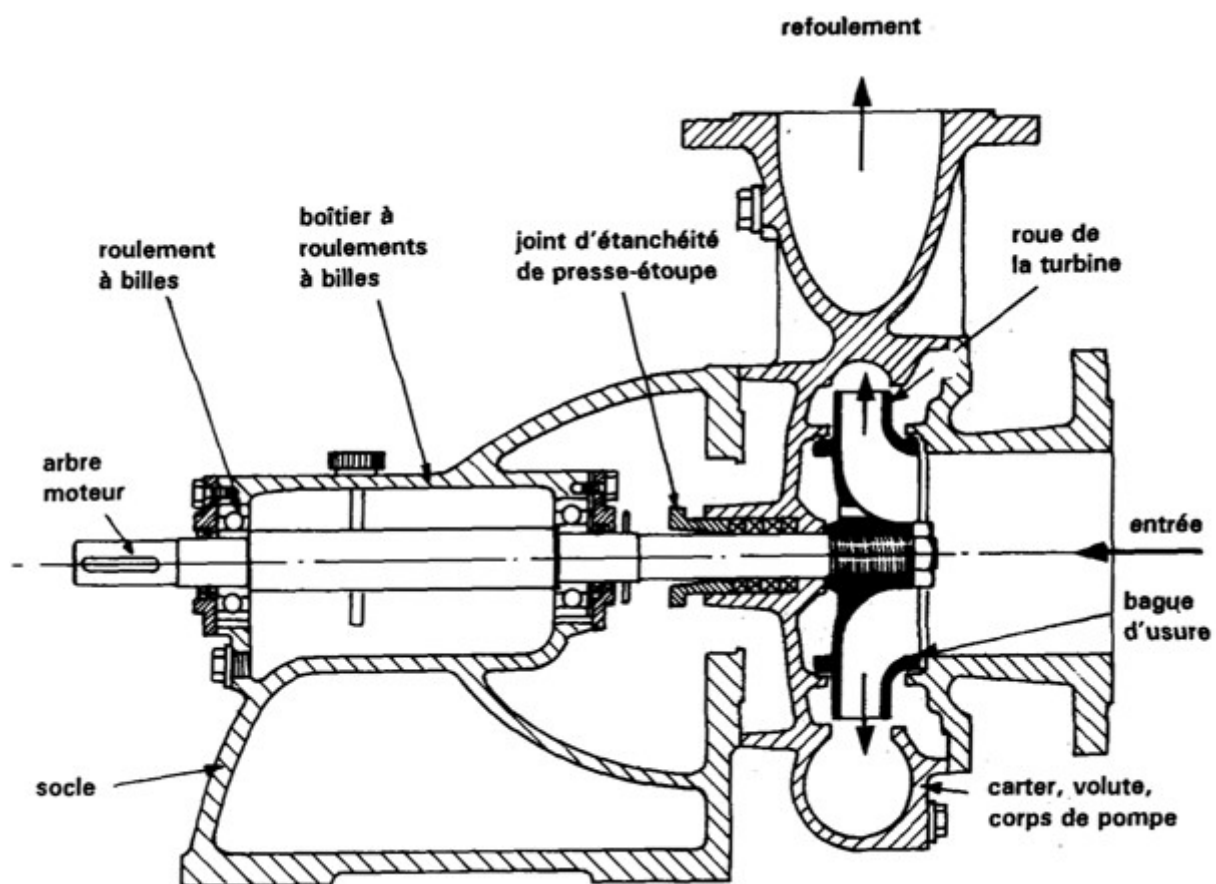


FIG. C.2 : une pompe centrifuge

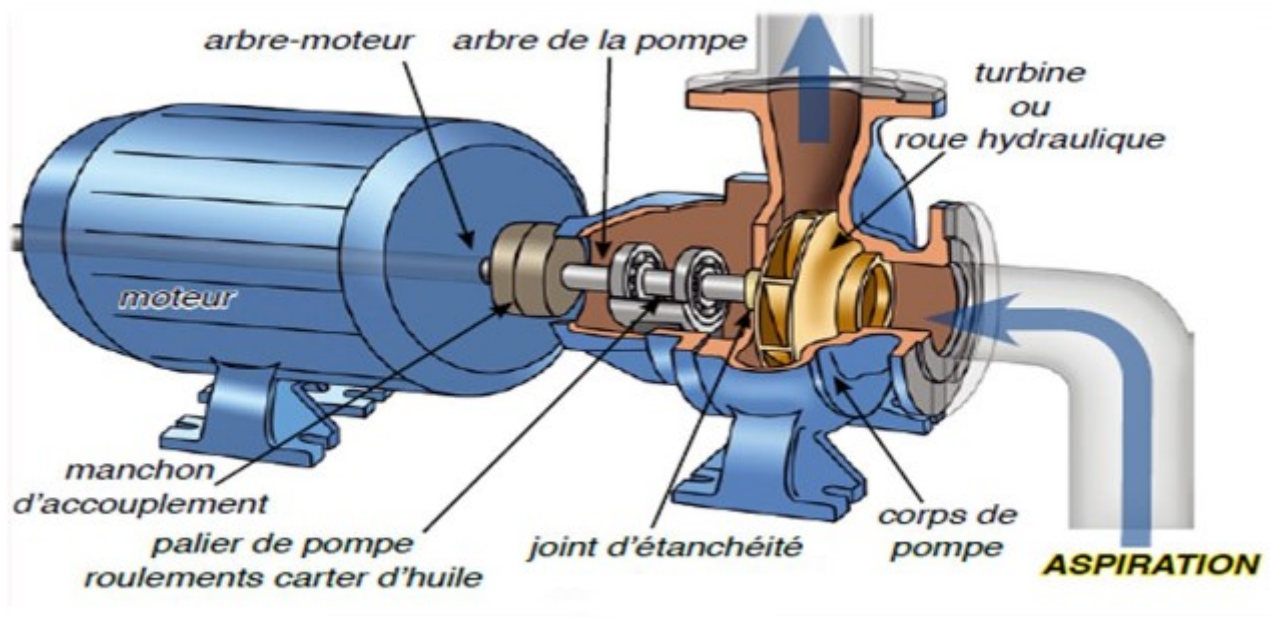


FIG. C.3 : pompe centrifuge connectée à un moteur.

C.2 Avantages et inconvénients des pompes centrifuges

C.2.1 Avantages

- Construction simple, peu de composants mobiles, longue durée de service.
- Une vanne à la sortie de la pompe ou la vitesse de rotation permettent de modifier facilement le débit.
- Les moteurs électriques ou les turbines sont capables d'assurer un entraînement direct à grande vitesse.
- Pas besoin de soupape de sécurité grâce à la soupape de décharge intégrée.
- Grâce aux masses bien équilibrées et à l'absence de masses vibrantes, le fonctionnement est extrêmement silencieux.
- Refoulement continu sans pulsations.
- Les matériaux solides peuvent être acheminés.
- approprié pour des puissances élevées.
- une zone de construction limitée et une forte concentration de puissance.

C.2.2 Inconvénients

- Lors de l'utilisation d'eau chaude ou de faibles pressions d'aspiration, il existe un risque de cavitation.
- La pression de refoulement détermine le déficit volumétrique.
- Les étages multiples sont nécessaires pour les pressions de refoulement élevées.

C.3 Régulation de débit

C.3.1 Régulation de débit par ajout d'une vanne réglable sur la conduite de refoulement

Régulation du débit par l'ajout d'une vanne mobile sur la conduite de refoulement L'ajout d'une vanne plus ou moins ouverte sur le chemin de refoulement provoque des pertes de charge ponctuelles, déplaçant la caractéristique du réseau vers les faibles débits. Cette méthode est assez coûteuse en énergie et doit être évitée.

C.3.2 Régulation de débit par variation de vitesse

La méthode la plus courante consiste à régler la vitesse de rotation de la pompe. Cependant, la régulation du moteur électrique via un variateur de fréquence entraîne une consommation d'énergie supplémentaire qui doit être prise en compte.

C.3.3 Régulation de débit avec un by-pass

La tuyauterie de by-pass est installée parallèlement à la pompe. Le débit de la pompe est réparti entre l'entrée vers l'installation et la sortie vers le by-pass. Cette dernière retourne soit directement soit indirectement à l'aspiration de la pompe. La modification du débit de by-pass de la tuyauterie de dérivation à l'aide de la vanne de régulation permet de modifier le débit de by-pass envoyé dans l'installation. En termes de fonctionnement, la pompe est toujours proche du même point de fonctionnement, qui est le point de fonctionnement nominal de l'équipement.

C.4 Instrumentations utilisées dans le circuit RM

C.4.1 Capteurs

Un capteur est un organe de prélèvement d'information qui élabore à partir d'une grandeur physique, une autre grandeur physique de nature différente (très souvent électrique). Cette grandeur représentative de la grandeur prélevée est utilisable à des fins de mesure ou de commande. On cite parmi les plus connus et fréquents, les capteurs de position, de présence, de vitesse, de température et de niveau.

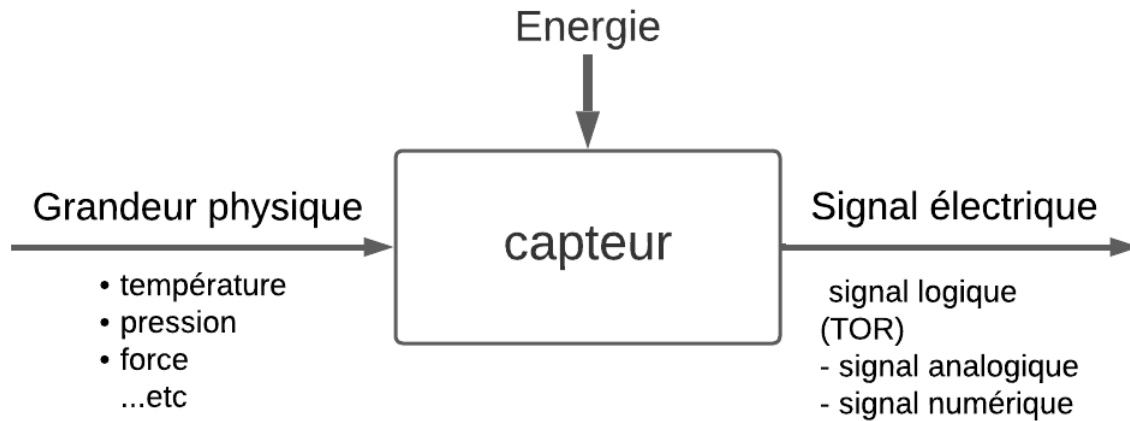


FIG. C.4 : Rôle d'un capteur

C.4.2 Nature de l'information fournie par un capteur

Suivant son type, L'information qu'un capteur fournit à la PC peut être :

- Logique : L'information ne peut prendre que les valeurs 1 ou 0, on parle donc d'un capteur Tout ou Rien (TOR).
- Analogie : L'information peut prendre toutes les valeurs possibles entre deux limites spécifiées; on parle alors d'un capteur analogique.
- Numérique : Les informations fournies par le capteur permettent au PC de déduire un nombre binaire sur n bits; on parle alors de capteur numérique.

C.4.3 Capteurs logiques (Tout Ou Rien TOR)

Les capteurs TOR fournissent des informations logiques, souvent sous la forme d'un contact électrique qui se ferme ou s'ouvre en fonction de l'état du capteur.

C.4.3.1 Capteur de pression

Les manomètres sont utilisés lorsque la pression du processus doit être indiquée localement et qu'une fonction de contact électrique est également nécessaire.



FIG. C.5 : Capteur de pression

C.4.3.2 les détecteurs de niveau

Lorsqu'un changement progressif du niveau n'est pas nécessaire, on utilise des détecteur de niveau . Dans cette situation, lorsque le niveau du produit atteint le seuil de remplissage, le capteur transforme le changement physique de condition en une commande de commutation. Le capteur peut être utilisé pour activer ou désactiver des équipements de remplissage tels que des convoyeurs ou des pompes, ou pour envoyer des données à un automate programmable.

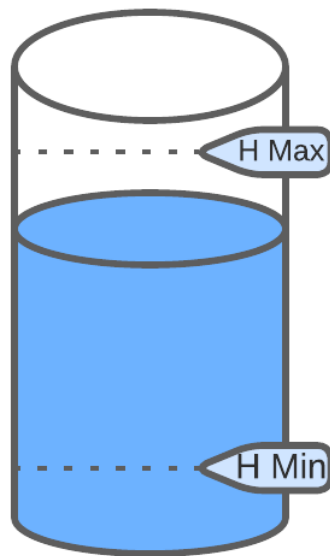


FIG. C.6 : détecteur de niveau

C.4.3.3 Capteur de température (Thermomètres avec contacts électriques)

Lorsque la température du processus doit être affichée localement tout en surveillant les valeurs limites, les thermomètres avec des connexions de commutation sont très utiles. En fonction de la position de l'aiguille de l'indicateur, les contacts électriques ferment ou ouvrent le circuit. Une alarme est déclenchée si l'indicateur est nettement supérieur ou inférieur à une valeur donnée, d'où l'expression "contact d'alarme". Ces instruments peuvent également être utilisés pour démarrer, arrêter et commuter des processus.



FIG. C.7 : Capteur de température

C.4.3.4 Capteur de position

Les capteurs de position sont des capteurs de contact qui sont actionnés mécaniquement. Ils peuvent être équipés d'un galet, d'une tige souple, d'une bille. Ce type de capteur fournit des informations tout ou rien.



FIG. C.8 : Capteur de position

C.4.4 Pré actionneur

Les pré actionneurs sont les composants qui garantissent le passage de l'énergie motrice vers les actionneurs conformément à la commande. Dans les circuits électriques, les pré actionneurs sont souvent des relais ou des contacteurs. Le contacteur garantit également l'extinction de l'arc électrique qui se produit généralement lors de la conversion de l'énergie électrique. Lorsqu'un circuit sous tension est ouvert, le contact qui en résulte produit un arc électrique, qui peut être dangereux pour les biens et les personnes.

C.4.4.1 Relais

Un relais est un composant électrique qui relie un circuit de commande de bas niveau à un circuit d'alimentation en courant alternatif ou en courant continu (isolation galvanique). Les relais sont classés en deux catégories : électromagnétiques et à semi-conducteurs.



FIG. C.9 : Relais

C.4.4.2 Contacteur

Un contacteur est un type de relais électromagnétique qui peut commuter de grandes quantités d'électricité à l'aide d'un disjoncteur d'arc électrique. Sa commande peut être continue ou ponctuelle.

il est constitué de :

- Des pôles de puissance et un contact auxiliaire (avec la possibilité d'ajouter au contacteur un bloc de contacts auxiliaires instantanés ou temporisés).

- Une armature fixe et mobile.
- Un ressort de rappel.
- Un circuit magnétique.
- Une bobine de commande du contacteur. Si la bobine est activée, elle attire l'armature mobile, activant les pôles de puissance; si elle n'est pas activée, un ressort de rappel déverrouille les pôles de puissance.

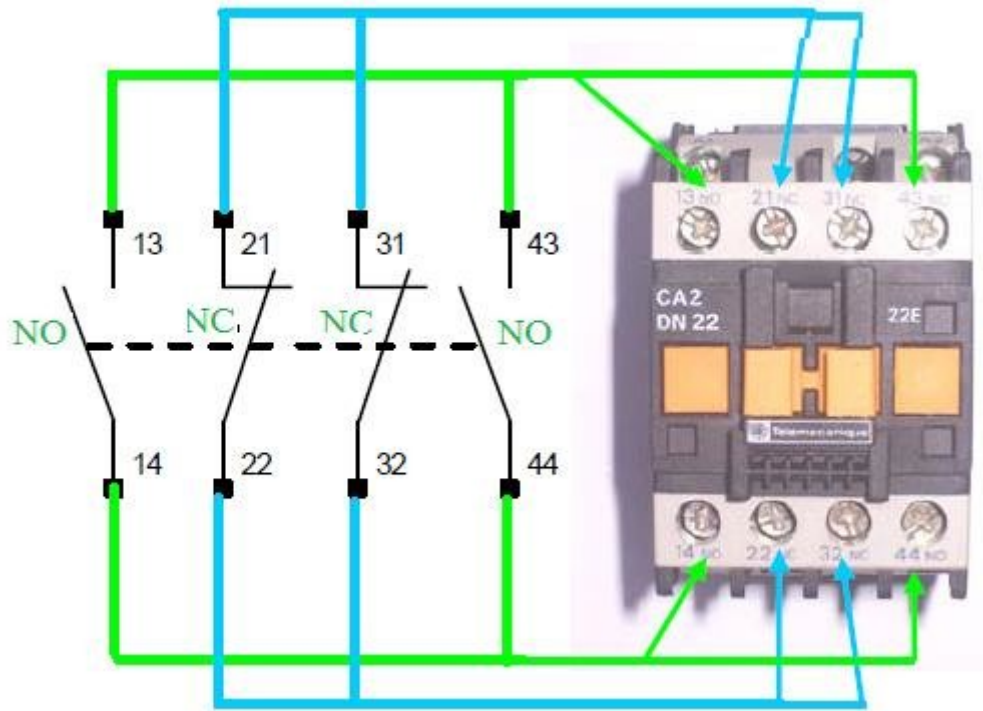


FIG. C.10 : contacteur

C.4.5 Les actionneurs

C.4.5.1 Vannes motorisées électriques

Les vannes à moteur électrique permettent de sectionner automatiquement le réseau. Par conséquent, les vannes peuvent être commandées et surveillées à distance, souvent à l'aide d'un automate programmable.



FIG. C.11 : Vannes motorisées électriques

C.4.5.2 Pompes

Une pompe à eau est une machine qui à la fois aspire et pompe l'eau. Un moteur électrique et une turbine en sortie d'arbre propulsent l'eau avec une grande force.



FIG. C.12 : Pompe

Annexe D

Automatisation et supervision du circuit RM

RM62 D002 XB02	Vanne devant condenses manu
RM22 L002 XG52	Huile palier pompe niveau <min
RM22 T003 XG03	Palier pompe 2 t >max
RM30 F001 XH52	Débit arrière pompe extraction<min
RM22 D001 XBO1	Pompe d'extraction 2 marches
RM12 S001 XG51	Vanne aspiration pompe extraction 2 fermée
RM21 L002 XG52	Huile palier pompe extraction 1 niveau <min
RM21 T003 XG03	Palier pompe extraction 1 t>max
RM30 F001 XH52	Débit arrière pompe extraction <min
RM21 D001 XBO1	Pompe d'extraction 1 marche
RM11 S001 XG51	Vanne aspiration pompe extraction 1
RH40 LO09 XG01	Bâche alimentaire niveau >max
RH30 L005 XG01	Réchauffeur BP3 niveau >max
RH20 L005 XG01	Réchauffeur BP2 niveau >max
RH10 L003 XG01	Niveau condenseur <min
SD11 L002 XG52	Niveau condenseur <min
RN30 DO01 XB02	Vanne devant réchauffeur BP2 manu
RN30 S001 XC02	Vanne devant réchauffeur BP2 fermée
RN30 D001 XB01	Vanne devant réchauffeur BP2 auto
RN21 DO01 XB02	Vanne devant condenses manu
RN21 S001 XC02	Vanne devant condenses fermée
RN21 D001 XB01	Vanne devant condenses auto
RN20 D001 XB02	Vanne devant réchauffeur BP1 en manuel
RN20 S001 XC02	Vanne devant réchauffeur BP1 fermée
RN20 D001 XB01	Vanne devant condenses auto
RH44 S001 XU01	Vanne écoulement Bache alimentaire auto

TAB. D.1 : Désignation des codes alphanumériques.

RM40 DOO1 XB01	Vanne condenseur auto
RM40 S001 XC02	Vanne condensées fermée
RM38 S002 XG01	Vanne arrière éjecteurs serv2 ouverte
RM38 S001 XG01	Vanne devant éjecteur serv2 ouverte
RM37 S002 XG01	Vanne arrière éjecteur serv2 ouverte
RM37 S001 XG01	Vanne devant éjecteur serv1 ouverte
RM36 S001 XC02	Vanne transfert vapeur fermée
RM34 S002 XG01	Vanne arrière réfrigérateur d'été 2 ouverte
RM34 S001 XG01	Vanne devant réfrigérateur d'été 2 ouverte
RM33 S002 XG01	Vanne arrière réfrigérateur d'été 1 ouverte
RM33 S001 XG01	Vanne devant réfrigérateur d'été 1 ouverte
RM32 S001 XG01	Bypass réfrigérateur d'été ouverte
RM30 D001 XB02	Vanne h2 t alternateur manuel
RM30 S001 XC01	Vanne h2 t alternateur ouverte
RM30 D001 XB01	Vanne h2 t alternateur auto
RM30 S007 XG01	Bypass condenseur buées ouverte
RM30 S006 XG01	Vanne arrière condenseur buées ouverte
RM30 S005 XG01	Vanne devant condenseur buées ouverte
RM22 D001 XB02	Pompe extraction 2 arrêt
RM22 D001 XB41	Chariot à disjoncteur embroche 2
RM22 S001 XG01	Vanne de refoulement pompe extraction 2 ouverte
RM22 L002 XG02	Huile palier pompe extraction 2 >min
RM21 D001 XB02	Pompe extraction 1 arrêt
RM21 D001 XB41	Chariot à disjoncteur embroche 1
RM21 S001 XG01	Vanne de refoulement pompe extraction 1 ouverte
RM21 L002 XG02	Huile palier pompe extraction 1
SD11 L004 XG02	Niveau condenseur >min
RMOO U001 XU01	Programme auto pompe extraction
R	Sous programme r
S	Sous programme s
T	Sous programme t
U	Sous programme u
V	Sous programme v
C	SOUS programme c
RM41 S001 YC21	Ouvrir la vanne de recyclage
RH10 U001 XU08	Rechauffeur BP oper bypass
RH10 U001 XU07	Rechauffeur BP oper normal
UD00 U001 XU01	Auto app eau BP tamp auto

TAB. D.2 : Désignation des codes alphanumériques.

RM40 S00I YC22	Fermer la vanne du condenseur
RM61 S00I YC22	Fermer la vanne de la b�che tampon
RM62 S002 YC22	Fermer la vanne devant le condenseur
RM63 S00I YB22	Fermer la vanne d'arrosage du condenseur
UD00 U002 YA	Programme auto app eau b tampon en marche
RM36 S00I YC22	Fermer la vanne transfert vapeur
RN20 S00I YB21	Vanne du réchauffeur BP1 en auto
RN21 S00I YB21	Vanne devant le condenseur en auto
RN30 S00I YB21	Vanne devant réchauffeur BP2 en auto
RH44 S00I YV	Vanne d'écoulement de la b�che alimentaire en auto
RM36 S00I YB22	Vanne de transfert de vapeur en manuel
RM41 S00I YB21	Vanne de recyclage en auto
RM40 S00I YB21	Vanne du condenseur en auto
RM62 S002 YB21	Vanne devant le condenseur en auto
RM61 S00I YB22	Vanne devant la b�che tampon en auto
RM30 S00I YB21	Vanne d'h2 alternateur en auto
RM21 D00I YB21	Pompe d'extraction 1 en marche
RM22 D00I YB21	Pompe d'extraction 2 en marche
RM40 S00I YB22	Vanne condenses manuel
RM61 S00I YB22	Vanne b�che tampon en manuel
RM62 S00I YB22	Vanne devant condenseur manuel
RM21 D00I YB22	Pompe d'extraction 1 en arret
RM22 D00I YB22	Pompe d'extraction 2 en arret
RM41 S00I YB22	Vanne recyclage en Manuel
RN20 S00I YC22	Fermer la vanne devant le réchauffeur BP1
RN20 S00I YB22	La vanne devant le réchauffeur BP1 manuel
RN21 S00I YC22	Fermer la vanne devant le condenseur
RN21 S00I YB22	La vanne devant le condenseur en manuel
RN30 S00I YC22	Fermer la vanne devant le réchauffeur BP2
RN30 S00I YB22	La vanne devant le réchauffeur BP2 manuel
RM30 S00I YC21	Ouvrir la vanne H2 T alternateur
RM30 S00I YB22	la vanne H2 T alternateur en manuel
RM62 S002 XC02	Vanne devant condenses fermée
RM61 D00I XB02	Vanne devant b�che tampon manuel
RM61 D00I XBOI	Vanne devant b�che tampon auto
RM61 S00I XC02	Vanne b�che tampon fermée
RM41 D00I XB02	Vanne de recyclage manuel
RM41 DOO1 XBO1	Vanne de recyclage auto
RM41 S00I XC01	Vanne recyclage ouverte
RM40 D00I XB02	Vanne condenseur manuel
RM63 S00I XB02	Vanne d'arrosage condenses fermée
RM62 D00I XB01	Vanne devant condenses auto

TAB. D.3 : Désignation des codes alphanumériques.

D.2 Supervision et développement

D.2.1 La table Mnémoniques

Totally Integrated Automation Portal

PROJET FIN / PLC_1 [CPU 1214C DC/DC/Rly] / Variables API

Table de variables standard [165]

Variables API

	Nom	Type de données	Adresse	Réma-nence	Accessi-ble depuis IHM/OPC UA/API Web	Écriture autorisée à partir de IHM/OPC UA/API Web	Visible dans l'in-génierie IHM	Surveillance	Commentaire
	MARCHEIARRET	Bool	%M2.2	False	True	True	True		
	PRESELECTIONN	Bool	%M2.1	False	True	True	True		
	ARURG	Bool	%M2.0	False	True	True	True		
	PRESELECTION2	Bool	%M1.7	False	True	True	True		
	PRESELECTION1	Bool	%M1.6	False	True	True	True		
	ETAPE 6	Bool	%M1.5	False	True	True	True		
	ETAPE 54	Bool	%M1.4	False	True	True	True		
	ETAPE 53	Bool	%M1.3	False	True	True	True		
	ETAPE 51	Bool	%M1.2	False	True	True	True		
	ETAPE 52	Bool	%M1.1	False	True	True	True		
	ETAPE 5	Bool	%M1.0	False	True	True	True		
	ETAPE 4	Bool	%M0.7	False	True	True	True		
	ETAPE 3	Bool	%M0.6	False	True	True	True		
	ETAPE 2	Bool	%M0.5	False	True	True	True		
	ETAPE_1	Bool	%M0.4	False	True	True	True		
	ARRET_POMPE_1_1	Bool	%M0.3	False	True	True	True		
	ARRET_POMPE_1_2	Bool	%M0.2	False	True	True	True		
	ARRET_POMPE_1_4	Bool	%M0.1	False	True	True	True		
	ARRET_POMPE_1_3	Bool	%M0.0	False	True	True	True		
	RM22_D001_YB21	Bool	%Q5.4	False	True	True	True		POMPE D'EXTRACTION 2 MARCHE
	RM21_D001_YB21	Bool	%Q5.3	False	True	True	True		POMPE D'EXTRACTION 1 MARCHE
	YA31	Bool	%Q5.2	False	True	True	True		LIBERATION MARCHE CIRCUIT RM
	RM30_S001_YR21	Bool	%Q5.0	False	True	True	True		AUTO REGL VAN H2 T ALTERN
	RM61_S001_YR21	Bool	%Q4.7	False	True	True	True		AUTO REGL VAN DEV B TAMP
	RM62_S002_YR21	Bool	%Q4.6	False	True	True	True		AUTO REGL VAN DEV COND
	RM40_S001_YR21	Bool	%Q4.5	False	True	True	True		AUTO REGL VAN CONDESES
	RM22_D001_YV	Bool	%Q4.4	False	True	True	True		
	RM21_D001_YV	Bool	%Q4.3	False	True	True	True		
	RN30_S001_YR22	Bool	%Q4.2	False	True	True	True		REGL MANU VAN DEV RECH BP2
	RM30_S001_YR22	Bool	%Q4.1	False	True	True	True		REGL MANU VAN H2 T ALTERN
	RM30_S001_YC21	Bool	%Q4.0	False	True	True	True		OUVRIR VAN REGL H2 T ALTERN
	RN30_S001_YC22	Bool	%Q3.7	False	True	True	True		FERMER VAN REGL DEV RECH BP2
	RN21_S001_YR22	Bool	%Q3.6	False	True	True	True		REGL MANU VAN DEV COND
	RN21_S001_YC22	Bool	%Q3.5	False	True	True	True		FERMER VAN REGL DEV COND
	RN20_S001_YR22	Bool	%Q3.4	False	True	True	True		REGL MANU VAN DEV RECH BP1
	RN20_S001_YC22	Bool	%Q3.3	False	True	True	True		FERMER VAN REGL DEV RECH BP1
	RM41_S001_YR22	Bool	%Q3.2	False	True	True	True		REGL MANU VAN RECYCLAGE
	RM22_D001_YB22	Bool	%Q3.1	False	True	True	True		ARRET POMPE D'EXTRACTION 2
	RM21_D001_YB22	Bool	%Q3.0	False	True	True	True		ARRET POMPE D'EXTRACTION 1
	RM63_S001_YB22	Bool	%Q2.7	False	True	True	True		FERMER VAN D'ARROSAGE COND
	RM62_S002_YR22	Bool	%Q2.6	False	True	True	True		MANU VAN REGL DEV COND
	RM61_S001_YC22	Bool	%Q2.5	False	True	True	True		FERMER VAN REGL BACHE TAMP
	RM40_S001_YR22	Bool	%Q2.4	False	True	True	True		MANU REGL VAN CONDESES
	RM40_S001_YC22	Bool	%Q2.3	False	True	True	True		FERMER VAN REGL CONDESES
	RM61_S001_YR22	Bool	%Q2.2	False	True	True	True		MANU VAN REGL BACHE TAMP
	RN21_S001_YR21	Bool	%Q2.1	False	True	True	True		AUTO REGL VAN DEV COND
	RM36_S001_YR22	Bool	%Q2.0	False	True	True	True		MANU VAN REGL TRANSF VAP
	RH44_S001_YV	Bool	%Q1.7	False	True	True	True		AUTO ECOUL VAN BACHE ALIM
	RN30_S001_YR21	Bool	%Q1.6	False	True	True	True		AUTO REGL VAN DEV RECH BP2
	RN20_S001_YR21	Bool	%Q1.5	False	True	True	True		AUTO REGL VAN DEV RECH BP1
	RM36_S001_YC22	Bool	%Q1.4	False	True	True	True		FERMER VAN REGL TRANSF VAP
	UD00_U002_YA	Bool	%Q1.3	False	True	True	True		MARCHE AUTO APP EAU B TAMP
	RM63_S002_YB22	Bool	%Q1.2	False	True	True	True		FERMER VAN D'ARROSAGE COND
	RM62_S002_YC22	Bool	%Q1.1	False	True	True	True		FERMER VAN REGL DEV COND

FIG. D.2 : Table mnémonique.

Totally Integrated Automation Portal									
	Nom	Type de données	Adresse	Rémanence	Accessi-ble depuis IHM/OPC UA/API Web	Écriture autorisée à partir de IHM/OPC UA/API Web	Visible dans l'ingénierie IHM	Surveillance	Commentaire
	RM41_S001_YR21	Bool	%Q1.0	False	True	True	True		AUTO REGL VAN RECYCLAGE
	RM41_S001_YC21	Bool	%Q0.6	False	True	True	True		OUVRIER VAN REGL RECYCLAGE
	YA12	Bool	%Q0.5	False	True	True	True		LIBERATION ARRET CIRCUIT RM
	YB21	Bool	%Q0.4	False	True	True	True		AUTOMATIQUE MARCHÉ POMPE EXT 1
	YB22	Bool	%Q0.3	False	True	True	True		AUTOMATIQUE ARRET POMPE EXT 1
	YB32	Bool	%Q0.2	False	True	True	True		PROTECTION ARRET POMPE EXT 1
	XU04_YB33	Bool	%Q0.1	False	True	True	True		LIBERATION MARCHÉ POMPE EXT 1
	XU03_YB31	Bool	%Q0.0	False	True	True	True		PROTECTION MARCHÉ POMPE EXT 1
	SD11_L004_XG02(1)	Bool	%I9.4	False	True	True	True		NIVEAU CONDENSEUR > MIN
	RN30_S001_XC02	Bool	%I9.2	False	True	True	True		VAN REGL DEV RECH BP2 FERMER
	RM30_S001_XR02	Bool	%I9.1	False	True	True	True		VAN REGL DEV RECH BP2 MANU
	RN21_S001_XR02	Bool	%I9.0	False	True	True	True		VAN REGL DEV COND MANU
	RN21_S001_XC02	Bool	%I8.7	False	True	True	True		VAN REGL DEV COND FERMER
	RN20_S001_XR02	Bool	%I8.6	False	True	True	True		VAN REGL DEV RECH BP1 MANU
	RN20_S001_XC02	Bool	%I8.5	False	True	True	True		VAN REGL DEV RECH BP1 FERMER
	RM22_D001_XB02	Bool	%I8.4	False	True	True	True		POMPE D'EXTRACTION 2 ARRET
	RM21_D001_XB02	Bool	%I8.3	False	True	True	True		POMPE D'EXTRACTION 1 ARRET
	RM62_S002_XR02	Bool	%I8.1	False	True	True	True		VAN DEV COND REGL MANU
	RM61_S001_XR02	Bool	%I7.7	False	True	True	True		VAN BACHE TAMP REGL MANU
	RM40_S001_XR02	Bool	%I7.6	False	True	True	True		VAN CONDENSES REGL MANU
	RM30_S001_XR01	Bool	%I7.4	False	True	True	True		REGL VAN H2 T ALTERN AUTO
	RM61_S001_XR01	Bool	%I7.3	False	True	True	True		REGL VAN DEV B TAMP AUTO
	RM62_S002_XR01	Bool	%I7.2	False	True	True	True		REGL VAN DEV COND AUTO
	RM40_S001_XR01	Bool	%I7.1	False	True	True	True		REGL VAN CONDENSES AUTO
	RM41_S001_XR01	Bool	%I7.0	False	True	True	True		REGL VAN RECYCLAGE AUTO
	RM22_D001_XB01	Bool	%I6.7	False	True	True	True		POMPE D'EXTRACTION 2 MARCHÉ
	RH10_U001_XU08	Bool	%I6.5	False	True	True	True		RECHAUFFEURS BP OPER BYPASS
	RH10_U001_XU07	Bool	%I6.4	False	True	True	True		RECHAUFFEURS BP OPER NORMAL
	SD11_L004_XG02	Bool	%I6.1	False	True	True	True		NIVEAU CONDENSEUR NIV > MIN
	RM22_D002_XB01	Bool	%I6.0	False	True	True	True		PPE D'EXTRACTION 2 MARCHÉ
	RM41_S001_XC01	Bool	%I5.5	False	True	True	True		VANNE REGL RECYCLAGE OUVERT
	RN30_S001_XR02	Bool	%I5.4	False	True	True	True		REGL VAN DEV RECH BP2 MANU
	RM38_S002_XG01	Bool	%I5.3	False	True	True	True		VAN AR EJECT SERV 2 OUVERT
	RM38_S001_XG01	Bool	%I5.2	False	True	True	True		VAN DEV EJECT SERV 2 OUVERT
	RM37_S002_XG01	Bool	%I5.1	False	True	True	True		VAN AR EJECT SERV 1 OUVERT
	RM37_S001_XG01	Bool	%I5.0	False	True	True	True		VAN DEV EJECT SERV 1 OUVERT
	RM30_S007_XG01	Bool	%I4.7	False	True	True	True		BYPASS COND BUEES OUVERT
	RM30_S006_XG01	Bool	%I4.6	False	True	True	True		VAN AR COND BUEES OUVERT
	RM30_S005_XG01	Bool	%I4.5	False	True	True	True		VAN DEV COND BUEES OUVERT
	RM30_S001_XC01	Bool	%I4.4	False	True	True	True		VAN REGL T H2 ALTERN OUVERT
	RM32_S001_XG01	Bool	%I4.3	False	True	True	True		BYPASS REFRIG D'ETE OUVERT
	RM34_S002_XG01	Bool	%I4.2	False	True	True	True		VAN AR REFRIG ETE 2 OUVERT
	RM34_S001_XG01	Bool	%I4.1	False	True	True	True		VAN DEV REFRIG ETE 2 OUVERT
	RM33_S002_XG01	Bool	%I4.0	False	True	True	True		VAN AR REFRIG ETE 1 OUVERT
	RM33_S001_XG01	Bool	%I3.7	False	True	True	True		VAN DEV REFRIG ETE 1 OUVERT
	UD00_U001_XU01	Bool	%I3.6	False	True	True	True		AUTO APP EAU B TAMP MARCHÉ
	RM61_S001_XC02	Bool	%I3.5	False	True	True	True		VAN REGL BACHE TAMP FERMER
	RM62_S002_XC02	Bool	%I3.4	False	True	True	True		VAN REGL DEV COND FERMER
	RM40_S001_XC02	Bool	%I3.3	False	True	True	True		VAN REGL CONDENSES FERMER
	RN21_S001_XR01	Bool	%I3.2	False	True	True	True		REGL VAN DEV COND AUTO
	RM63_S001_XB02	Bool	%I3.1	False	True	True	True		VAN D'ARROSAGE COND FERMER
	RN30_S001_XR01	Bool	%I3.0	False	True	True	True		REGL VAN DEV RECH 2BP AUTO
	RN20_S001_XR01	Bool	%I2.7	False	True	True	True		REGL VAN DEV RECH 1BP AUTO
	RM36_S001_XC02	Bool	%I2.6	False	True	True	True		VAN REGL TRANSF VAP FERMER
	RH44_S001_XU01	Bool	%I2.5	False	True	True	True		ECOUL VAN BACHE ALIM AUTO
	RM41_S001_XC01	Bool	%I2.4	False	True	True	True		VAN REGL RECYCLAGE OUVRIR
	NM00_U101_XU26	Bool	%I2.3	False	True	True	True		FEU EN CHAUDIERE > 240 SARRET
	SD11_L005_XG51	Bool	%I2.2	False	True	True	True		NIVEAU CONDENSEUR < MAX
	RM00_U001_XS52	Bool	%I2.1	False	True	True	True		PROG AUTO PP EXTRACT

FIG. D.3 : Table mnémorique.

Totally Integrated Automation Portal									
Nom	Type de données	Adresse	Rémanence	Accessible depuis IHM/OPC UA/API Web	Écriture autorisée à partir de IHM/OPC UA/API Web	Visible dans l'ingénierie IHM	Surveillance	Commentaire	
RM00_U001_XU04	Bool	%I2.0	False	True	True	True		PROG AUTO PP EXTRACT	
RM21_D001_XB41	Bool	%I1.7	False	True	True	True		CHARIOT A DISJONCT EMBROCHE	
RM21_S001_XG01	Bool	%I1.6	False	True	True	True		VAN REFOUL PPE EXTR 1 OUVERT	
RM21_L002_XG02	Bool	%I1.5	False	True	True	True		HUILE PALIER PP EXT NIV > MIN	
RM00_U001_XU01	Bool	%I1.4	False	True	True	True		PROG AUTO PP EXTRACT	
RM41_S001_XR02	Bool	%I1.3	False	True	True	True		REGL VAN RECYCLAGE MANU	
RM22_D001_XB46	Bool	%I1.2	False	True	True	True		POMPE D'EXTRACTION 2 PANNE	
RM30_F001_XH52	Bool	%I1.1	False	True	True	True		DEBIT AR PP EXTRACT DEBIT < MIN	
RM21_D001_XB01	Bool	%I1.0	False	True	True	True		PPE D'EXTRACTION 1 MARCHÉ	
PRESELECTION	Bool	%I0.7	False	True	True	True			
RM21_T003_XG03	Bool	%I0.6	False	True	True	True		PALIER PPE EXTRACT 1 T > MAX	
RM21_L002_XG52	Bool	%I0.5	False	True	True	True		HUILE PALIER PPE EXT NIV < MIN	
RH40_L009_XG01	Bool	%I0.4	False	True	True	True		BACHE ALIMENTAIRE NIV > MAX	
RH30_L005_XG01	Bool	%I0.3	False	True	True	True		RECHAUFFEUR BP3 NIV > MAX	
RH20_L005_XG01	Bool	%I0.2	False	True	True	True		RECHAUFFEUR BP2 NIV > MAX	
RH10_L003_XG01	Bool	%I0.1	False	True	True	True		RECHAUFFEUR BP1 NIV > MAX	
SD11_L002_XG52	Bool	%I0.0	False	True	True	True		NIVEAU CONDENSEUR NIV < MIN 2	

FIG. D.4 : Table mnémorique.

D.2.2 Configuration des vues de l'interface

dans cette partie nous allons vous présenter les vues en état de marche et d'arrêt d'urgence :

D.2.2.1 état marche

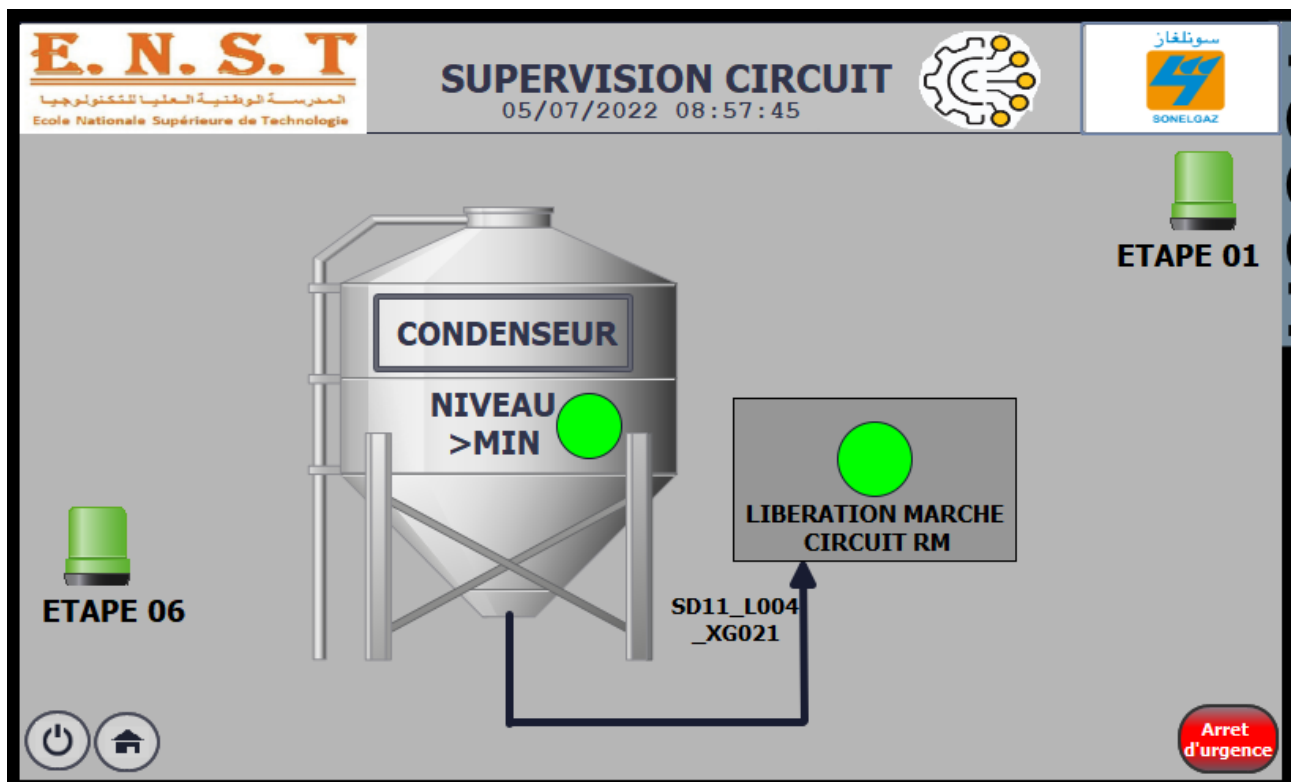


FIG. D.5 : Étape 1 en état de marche.

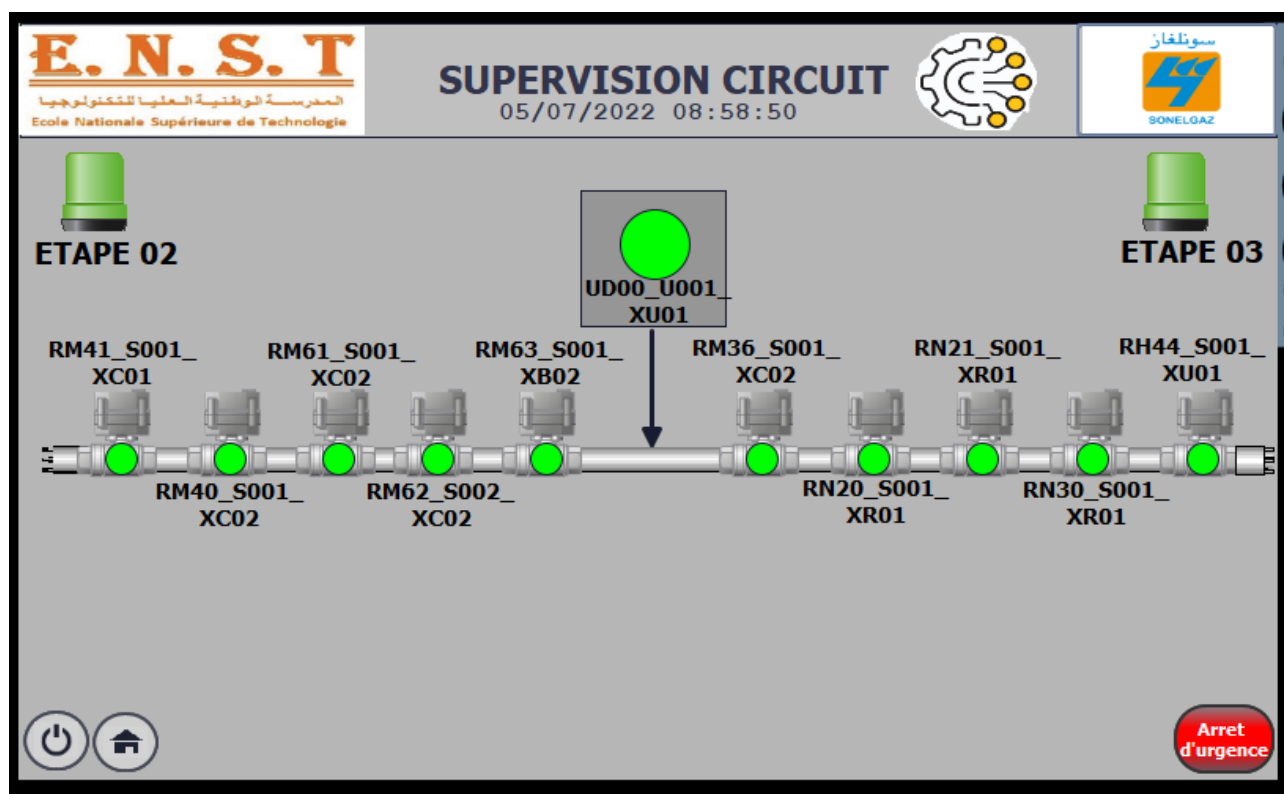


FIG. D.6 : Étape 3 en état de marche.

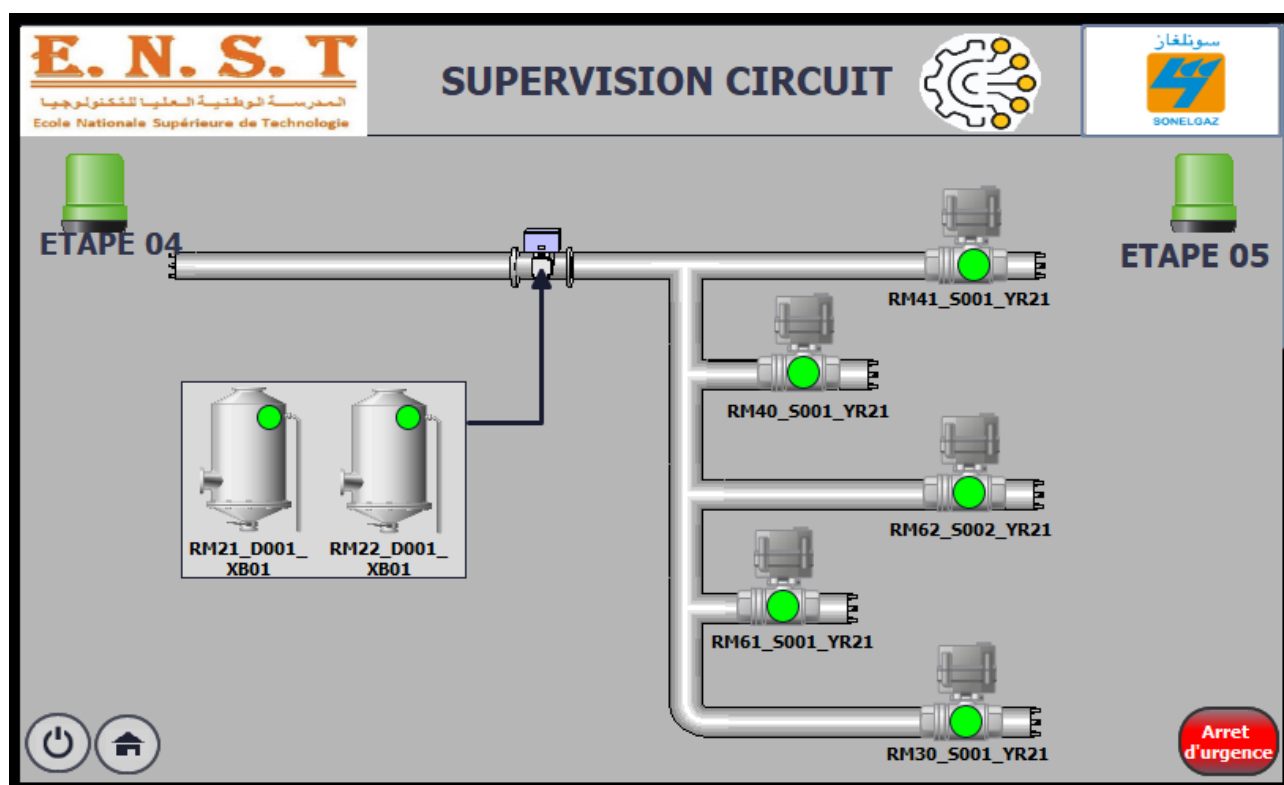


FIG. D.7 : Étape 5 en état de marche.

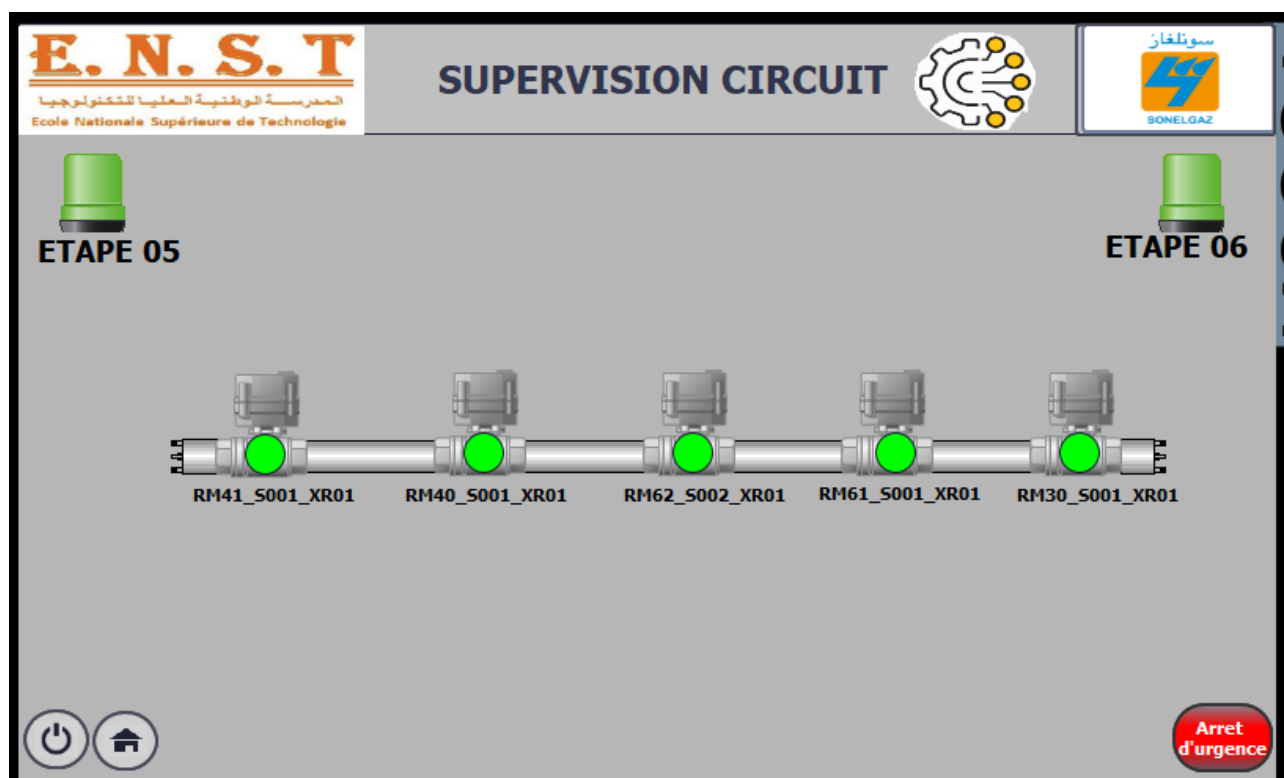


FIG. D.8 : Étape 6 en état de marche.

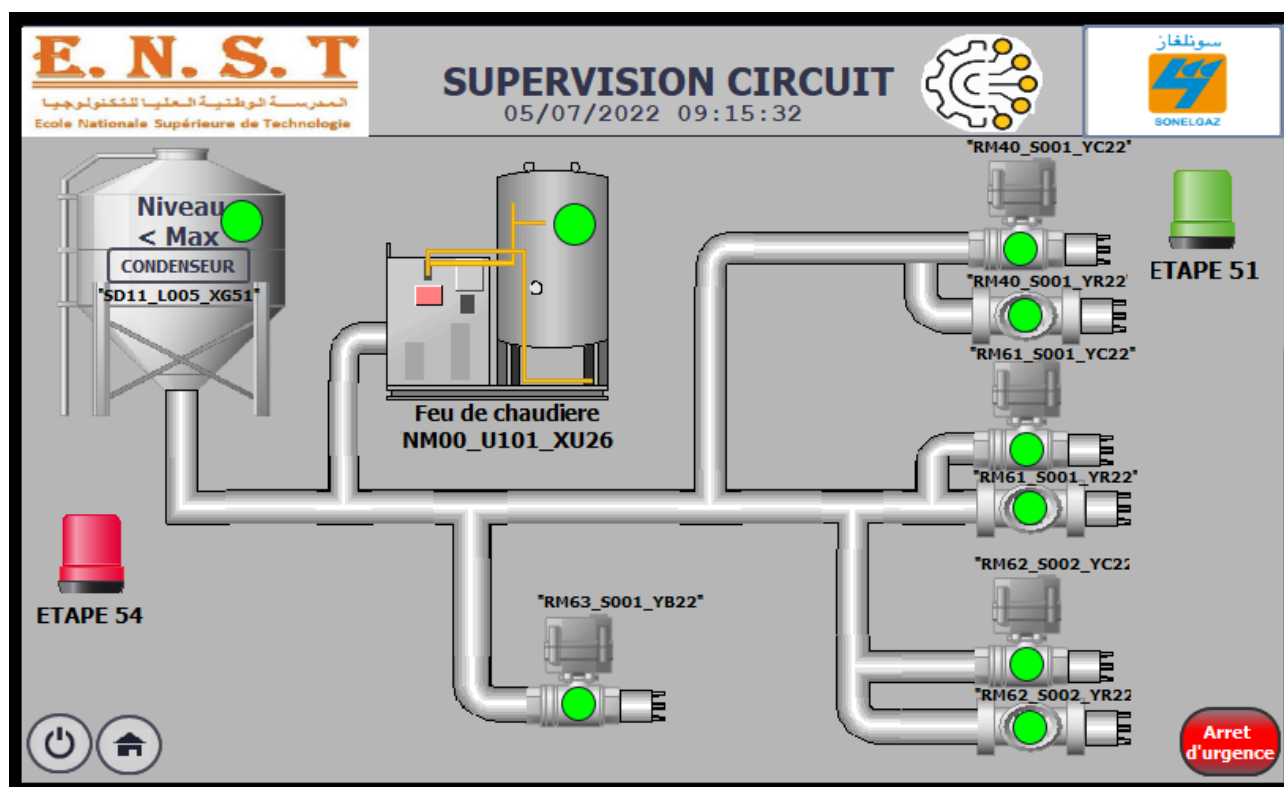


FIG. D.9 : Étape 51 en état de marche.

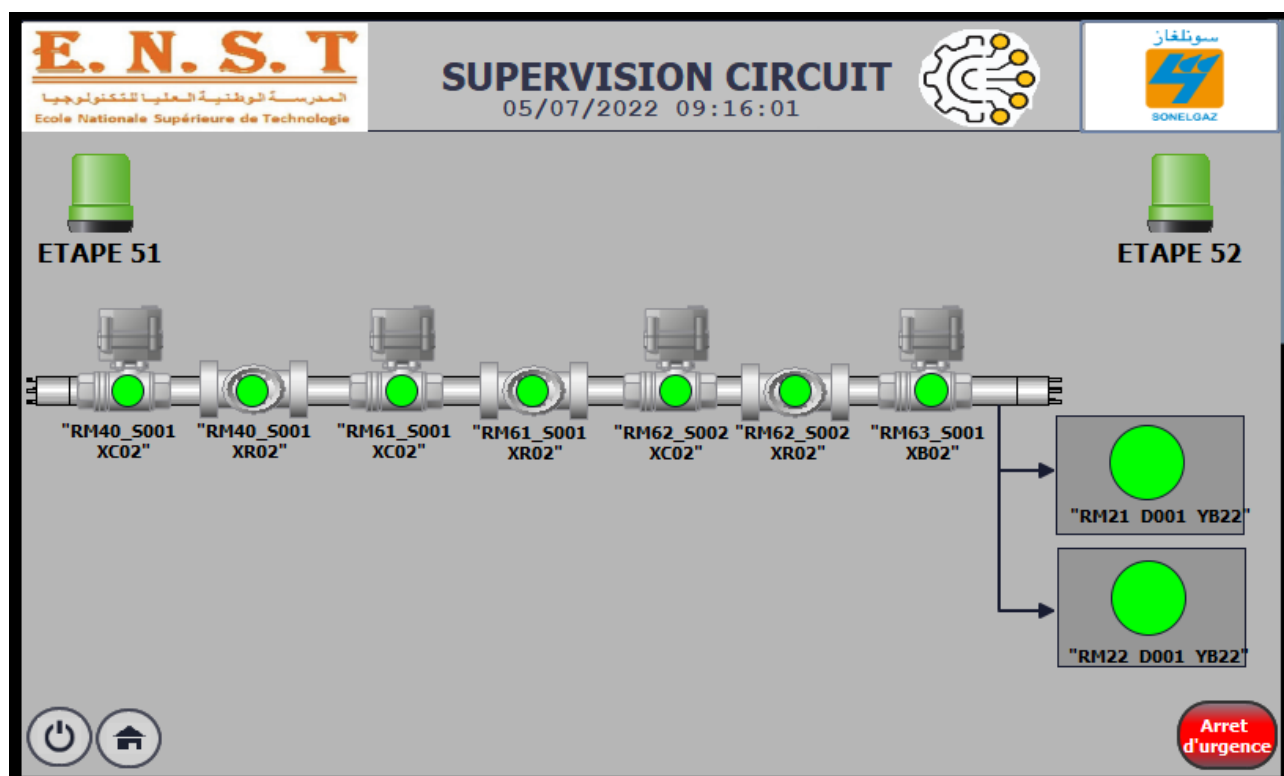


FIG. D.10 : Étape 52 en état de marche.

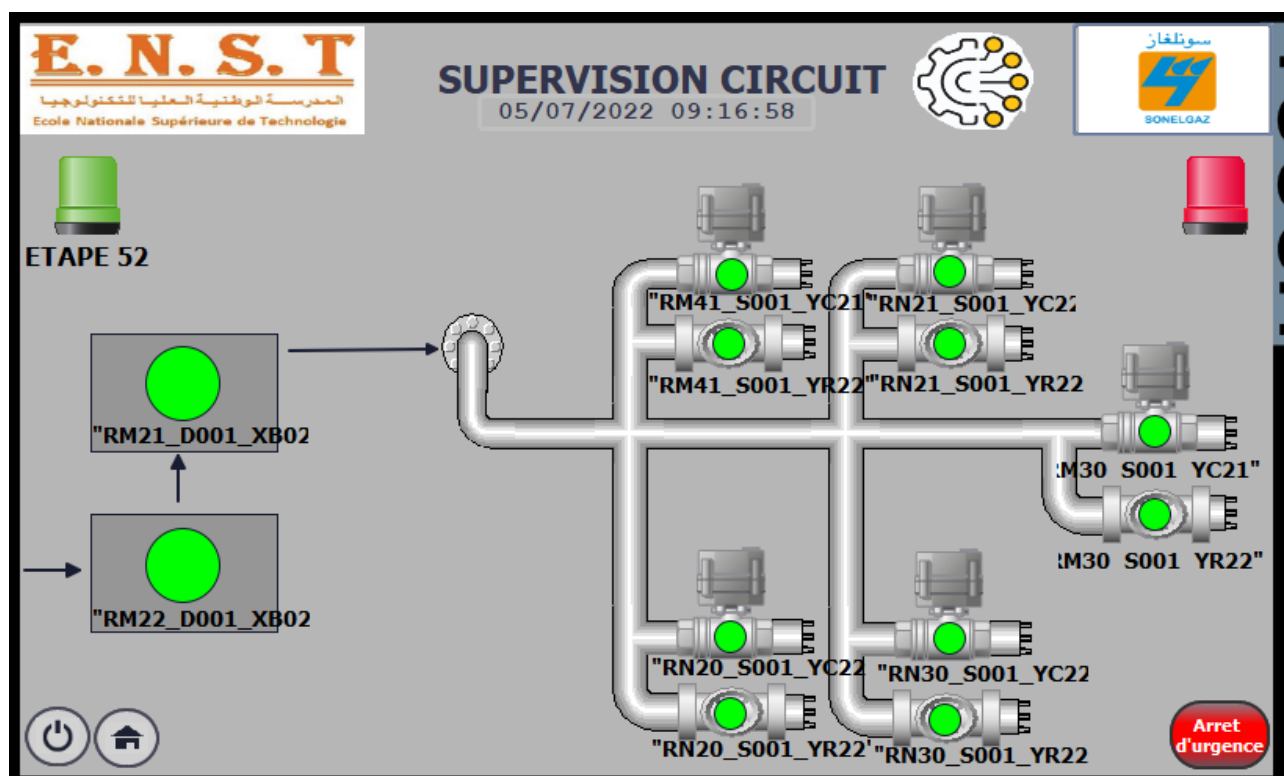


FIG. D.11 : Étape 53 en état de marche.

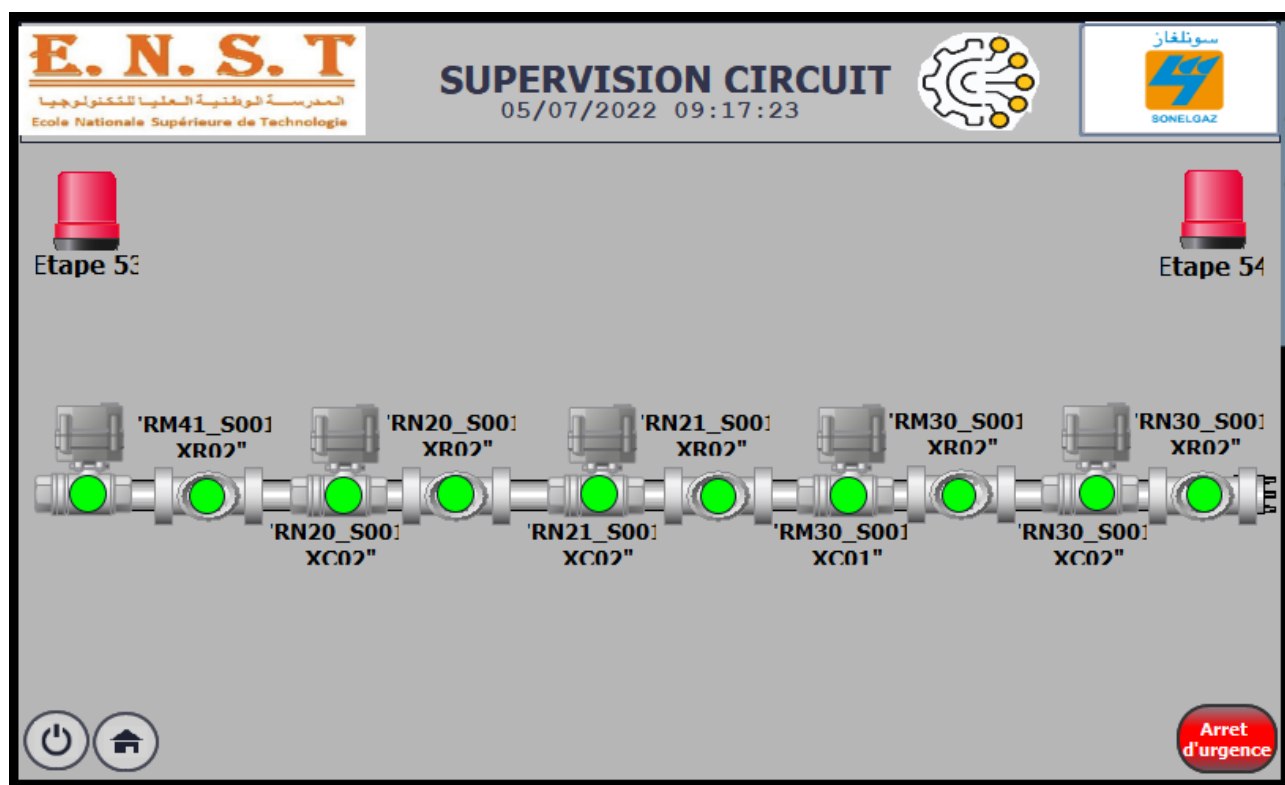


FIG. D.12 : Étape 54 en état de marche.

D.2.2.2 état d'arrêt d'urgence

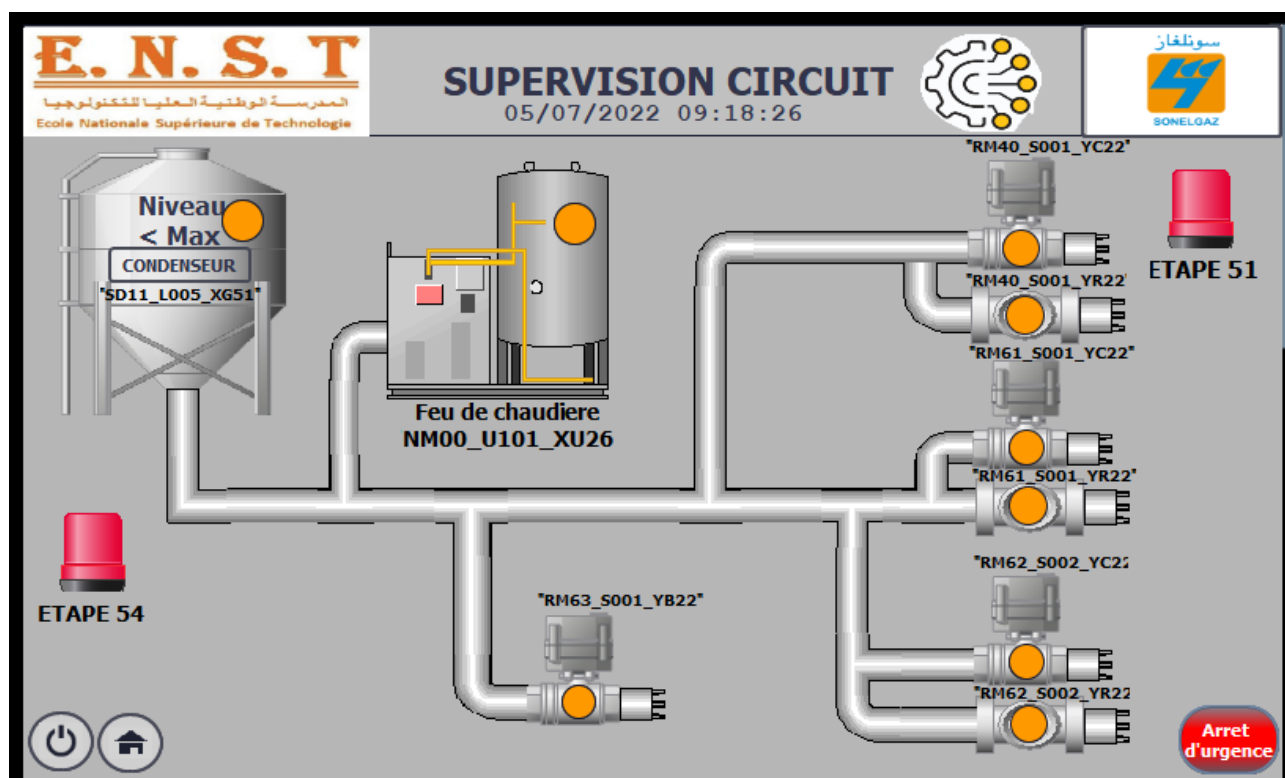


FIG. D.13 : Étape 51 en arrêt d'urgence.

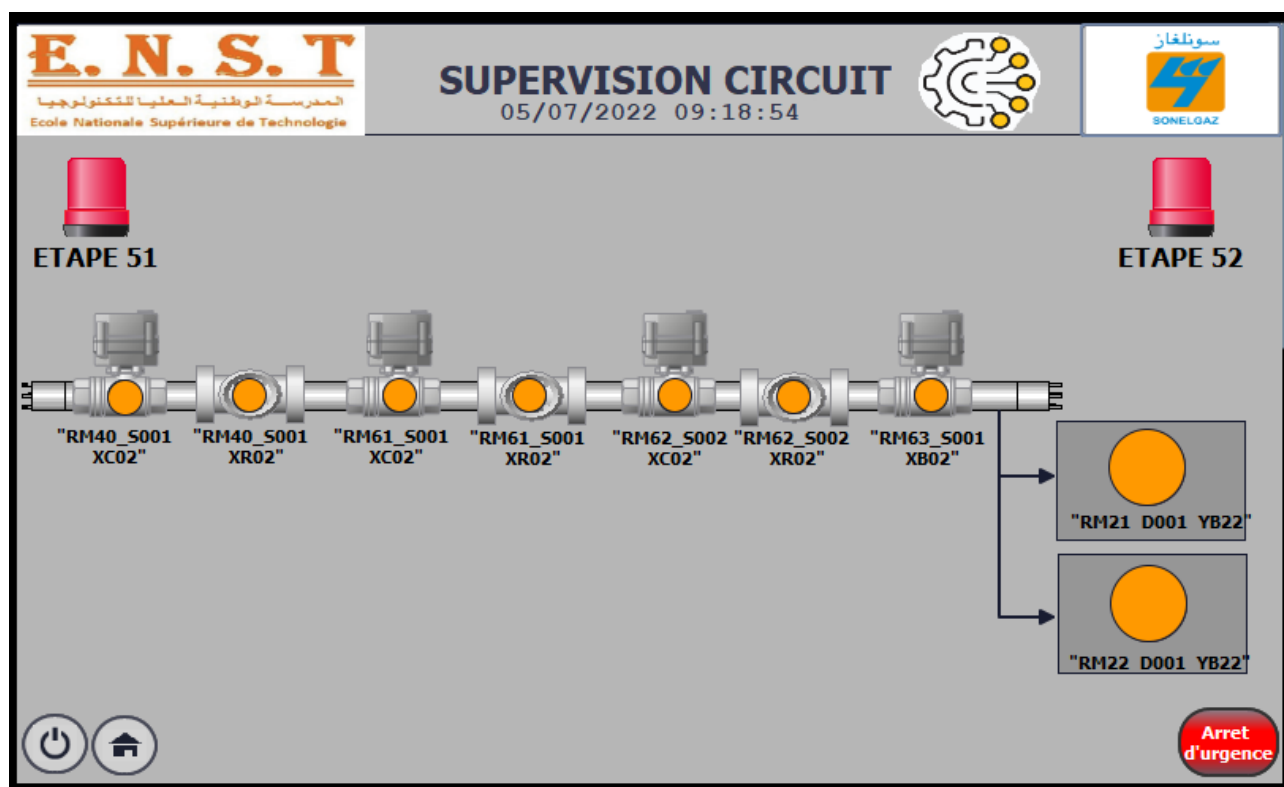


FIG. D.14 : Étape 52 en arrêt d'urgence.

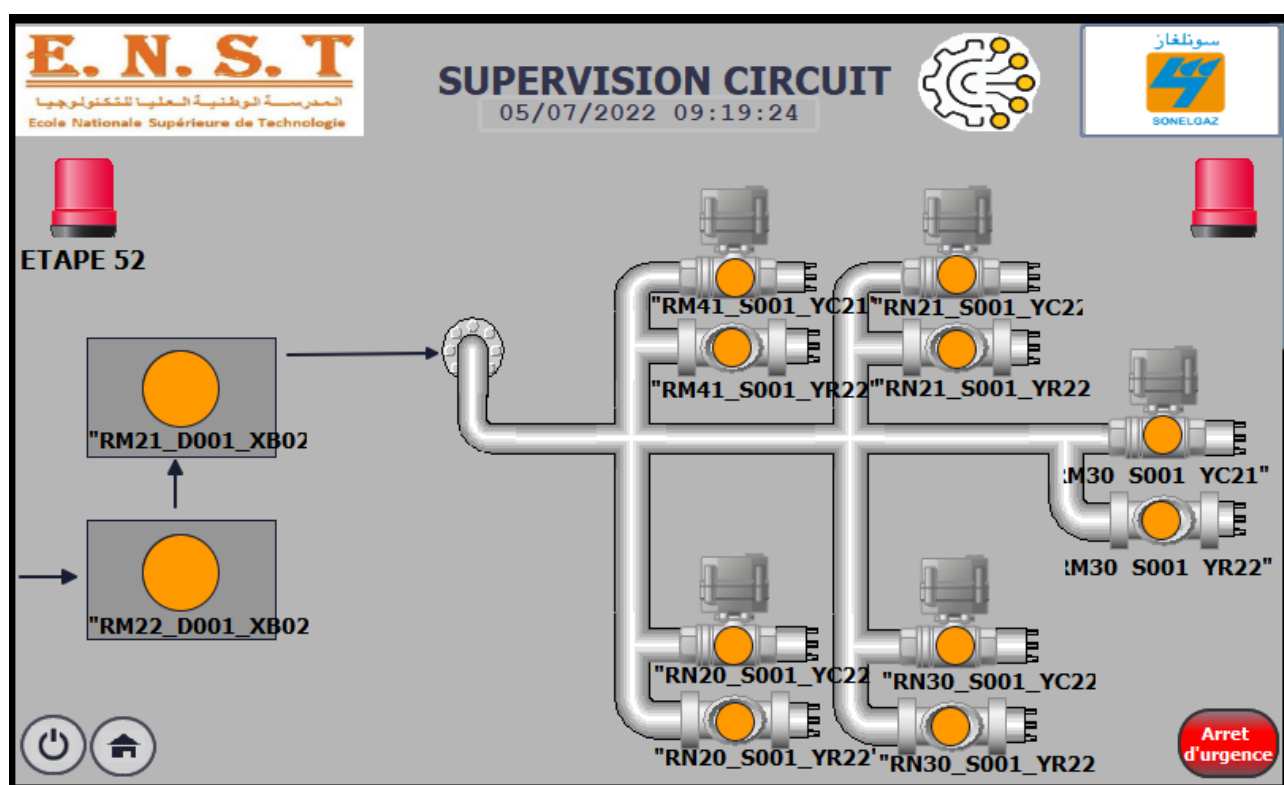


FIG. D.15 : Étape 53 en arrêt d'urgence.

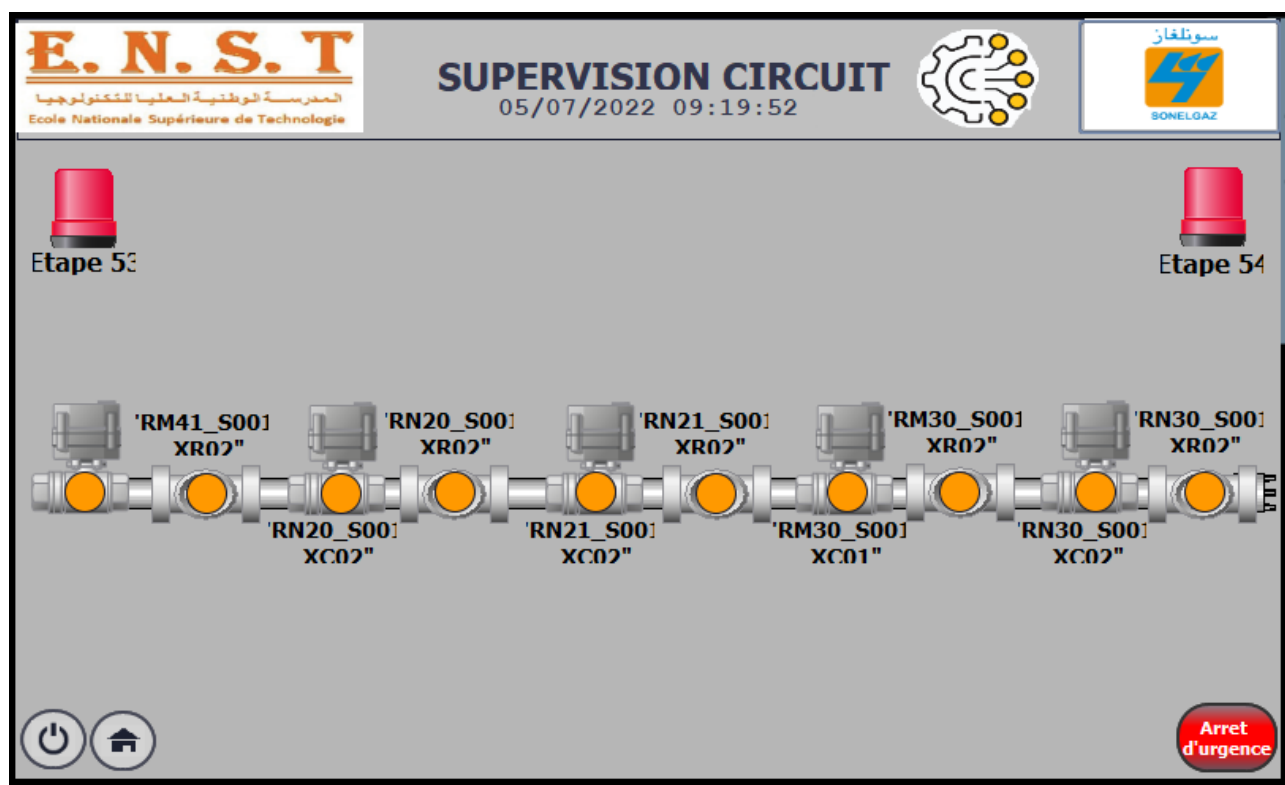


FIG. D.16 : Étape 54 en arrêt d'urgence.

Annexe E

Application d'apprentissage profond pour la prédiction

E.1 Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA)

Les modèles ARIMA sont la forme de base et la plus générale des techniques de prédiction des séries temporelles. Ils sont basés sur l'idée de transformer la série temporelle pour qu'elle soit stationnaire par le processus de différenciation. On peut supposer que la série temporelle est stationnaire si ses propriétés statistiques sont toutes constantes dans le temps.

E.2 Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average (SARIMA)

seasonal ARIMA est utilisé, afin de tenir compte de l'effet saisonnier inhérent à la production d'électricité photovoltaïque. Le modèle ARIMA saisonnier est généralement appelé SARIMA $(p,d,q) \times (P,D,Q)$, où p , d , q et P , D , Q sont des entiers non négatifs qui font référence à l'ordre polynomial du modèle autogène. l'ordre polynomial de la partie autorégressive (AR), intégrée (I), intégrées (I) et de la moyenne mobile (MA) des composantes non saisonnières du modèle, respectivement

E.3 SARIMAX (Modélisation SARIMA avec facteur exogène)

Le modèle SARIMAX est une extension du modèle SARIMA, enrichie de la possibilité d'intégrer des variables exogènes (explicatives), afin d'augmenter ses performances de prévision. Cette version multivariée du modèle SARIMA, appelée Seasonal ARIMA with eXogenous factor (i.e. SARIMAX).

E.4 Loss

la perte est un nombre indiquant à quel point la prédiction du modèle était mauvaise sur un seul exemple. Si la prédiction du modèle est parfaite, la perte est nulle ; sinon, la perte est plus

grande. L'objectif de l'apprentissage d'un modèle est de trouver un ensemble de poids et de biais qui ont une faible perte, en moyenne, sur tous les exemples.

E.5 LSTM

des dérivés des RNN. Ils peuvent apprendre et mémoriser des dépendances sur une longue période de temps. Les LSTM conservent donc les informations stockées sur le long terme. Ils sont particulièrement utiles pour prédire les séries temporelles, ils se souviennent des entrées précédentes. En plus de ce cas d'utilisation, les LSTM sont également utilisés pour composer des notes de musique et reconnaître la voix.

E.6 LSTM bidirectionnels

Les RNN bidirectionnels combinent deux couches cachées qui vont dans des directions opposées vers une seule sortie, ce qui leur permet d'accepter des données du passé comme du futur. Contrairement aux réseaux récurrents standard, les RNN bidirectionnels sont entraînés à prédire les directions temporelles positives et négatives en même temps. Un LSTM bidirectionnel, souvent connu sous le nom de BiLSTM, est une extension de LSTM qui peut améliorer les performances du modèle.

E.7 Réseaux neuronaux convolutifs (CNN)

également appelés ConvNets, sont l'une des techniques les plus techniques les plus établies parmi les diverses méthodes d'apprentissage méthodes d'apprentissage profond basées sur la fonction connue sous le nom de Convolution, qui est une opération mathématique exprimant la forme d'une fonction évaluée dans une autre fonction. la forme d'une fonction évaluée dans une autre fonction. Les CNN sont constitués d'une multitude de trois couches : (i) convolutionnelles, (ii) de mise en commun et (iii) entièrement connectées, responsables du traitement et de l'extraction des caractéristiques des données. D'extraire les caractéristiques des données. Commençons par la couche convolutive, qui est une simple opération linéaire qui applique un ensemble de noyaux aux données. un ensemble de noyaux aux données d'entrée. Et chaque noyau est balayé sur les données d'entrée pour former sa sortie pour chaque position de balayage. Cette opération réduit le nombre de paramètres qui peuvent être appris et ajoute de la robustesse au processus. Paramètres qui peuvent être appris et ajoute de la robustesse à le système contre les anomalies telles que les décalages et les rotations mineures. Rotations mineures. La deuxième couche est l'opération de pooling la plus populaire La deuxième couche est l'opération de mise en commun la plus populaire, à savoir la mise en commun maximale (max pooling). Toutes les valeurs sauf la valeur maximale de la région.

E.8 Réseaux neuronaux récurrents (RNN)

Un réseau de neurones récurrents (RNN) est un type de ANN qui est capable de détecter des modèles temporels dans des données séquentielles ou des données de séries temporelles. Cet algorithme possède le concept de "mémoire" qui permet de stocker les états ou informations ou les informations des entrées précédentes et de les utiliser pour prédire la sortie. Il a été appliqué avec succès au traitement du langage, à la reconnaissance vocale et au sous-titrage

d'images. sous-titrage d'images. Son principe Apprentissage de caractéristiques à travers des couches convolutives et de mise en commun empilées. Parmi ces avantages Robuste et évolutif, et aussi peu pratique.

E.9 Machines de Boltzmann restreintes (RBM)

Les machines de Boltzmann restreintes (RBM) constituent un autre algorithmes de réseaux neuronaux artificiels qui consistent en une architecture de réseau à deux couches contenant une couche cachée cachée et une couche visible. Dans les RBM, seules les couches cachées cachée et visible sont connectées, mais il n'y a pas de connexion entre elles.

corrélation entre les neurones d'une même couche. couche visible est responsable des données d'entrée, tandis que la couche la couche cachée effectue l'extraction des caractéristiques. De plus, dans les RBM, les nœuds cachés sont conditionnellement autodéterminés et n'ont pas d'interdépendance dans les RBM. Les décalages et les poids des couches visibles et cachées sont mis à jour de manière itérative de sorte que la couche visible puisse estimer les données d'entrée. puisse estimer les données d'entrée. La figure illustre une architecture par couches généralisée des RBM, où a et b sont les biais (décalages), v_1 , v_2 et v_3 sont les nœuds de la couche visible, h_1 et h_2 sont les nœuds de la couche cachée. et W_{ij} désigne les poids reliant les couches cachées et visibles. couches visibles. Son principe Les variables de la couche cachée relient l'entrée et la sortie. Parmi ces avantages Robuste à l'ambiguïté de l'entrée et ne nécessite pas d'étiquette formation, et aussi comme inconvénient Le coût de calcul élevé.

E.10 Auto-encodeurs

est un réseau neuronal d'apprentissage non supervisé qui découvre les propriétés latentes des données. les valeurs cibles équivalentes aux données d'entrée originales utilisées pour l'apprentissage d'un codage efficace des données sous la forme de vecteurs latents. Il est possible de de générer la formation des AE pour générer les données d'entrée elles-mêmes, qui se composent principalement de trois parties, le encodeur, le décodeur et le code. L'encodeur est responsable de l'apprentissage d'un moyen de compresser efficacement les données dans une représentation de dimension réduite en générant un code dans les données d'entrée, tandis que le décodeur a pour but de reconstruire les données en les décompressant dans le but de les rendre plus lisibles. décompression dans le but de faciliter l'apprentissage non supervisé de l'encodeur et du décodeur.

E.11 MAE (Erreur absolue moyenne)

représente la différence entre les valeurs originales et prédites extraites par la moyenne de la différence absolue sur l'ensemble des données.

E.12 MSE (Erreur quadratique moyenne)

représente la différence entre les valeurs originales et prédites extraites par le carré de la différence moyenne sur l'ensemble des données.

E.13 RMSE (root mean square error)

est le taux d'erreur par la racine carrée de MSE.

E.14 Numpy : (Numerical Python)

est le paquetage fondamental pour le calcul numérique en Python ; il contient un puissant objet tableau à N dimensions, C'est un paquetage de traitement de tableaux à usage général qui fournit des objets multidimensionnels performants appelés tableaux et des outils pour travailler avec eux. NumPy s'attaque également au problème de la lenteur en partie en fournissant ces tableaux multidimensionnels ainsi que des fonctions et des opérateurs qui fonctionnent efficacement sur ces tableaux.

E.15 Pandas

Puisque tout dans le domaine de la data science est basé sur des données, il est nécessaire de disposer de bibliothèques de préparation des données. Actuellement, la meilleure et la plus utilisée des bibliothèques Python dans ce domaine est pandas . Pandas dispose d'un large éventail de capacités pour l'entrée et la sortie de formats de données, tels que Excel, csv, Python, etc. formats de données, comme Excel, csv, Python/NumPy, HTML, SQL, etc. et bien d'autres encore. De plus, pandas offre de puissantes possibilités de d'interrogation, de calculs statistiques et de visualisations de base.

E.16 Matplotlib

Matplotlib est une implémentation Python de la fonction de traçage de type MATLAB. Graphiques de type MATLAB et est écrite à un bas niveau, avec de nombreuses possibilités de personnalisation. En raison des graphiques et les graphiques qu'il produit, il est largement utilisé pour la visualisation de données. Il fournit également une API orientée objet, qui peut être utilisée pour intégrer ces parcelles dans des applications.

E.17 statsmodels

statsmodels est un module Python qui fournit des classes et des fonctions pour l'estimation de nombreux modèles statistiques différents, ainsi que pour la réalisation de tests statistiques et l'exploration de données statistiques. Une liste exhaustive de statistiques de résultats est disponible pour chaque estimateur.

E.18 TensorFlow

TensorFlow est une bibliothèque pour les calculs numériques à haute performance. Les principales caractéristiques de TensorFlow sont les suivantes : meilleures visualisations des graphes de calcul, réduction des erreurs de 50 à 60 % dans l'apprentissage automatique neuronal, calcul parallèle pour exécuter des modèles complexes, gestion transparente de la bibliothèque soutenue par Google, mises à jour plus rapides et nouvelles versions fréquentes pour vous offrir les dernières fonctionnalités.

E.19 Jupyter

Jupyter C'est une application Web basée sur une structure serveur-client qui est gratuite, open-source et facile à utiliser. Il s'agit d'un IDE basé sur le Web pour la data science qui constitue un excellent point de départ pour les débutants en data science. Il fournit une sortie interactive, ce qui signifie que vous pouvez écrire votre code et le tester sur place. Il fournit une sortie interactive, ce qui signifie que vous pouvez écrire votre code et le tester sur place. Cela devient extrêmement utile lorsque vous êtes un débutant et que vous commencez votre voyage dans l'apprentissage automatique et la data science.

E.20 le code du programme

```
In [2]: array=[1.1,  
0.145,  
0.202,  
0.273,  
0.264,  
0.303,  
0.268,  
0.248,  
0.311,  
0.349,  
0.351,  
0.444,  
0.464,  
0.664,  
0.545,  
1.25,  
0.552,  
1.21,  
0.893,  
0.503,  
0.81,  
1.08,  
0.781,  
0.725,  
0.776,  
0.871,  
0.676,  
0.497,  
0.374,  
0.389,  
0.426,  
0.561,  
0.541,  
0.855,  
0.844,  
0.724,  
0.678,  
0.666,  
0.514,  
0.572,  
0.331,  
0.379,  
0.31,  
0.224,  
0.268,  
0.406,  
0.311,  
0.305,  
0.5,  
0.695,  
0.695,  
0.674,  
1.36,  
0.327,  
0.558,  
0.504,
```

```
0.938,  
0.46,  
1.21,  
1.22,  
1.37,  
1.46,  
0.975,  
0.76,  
0.548,  
0.377,  
1.05,  
1.03,  
1.07,  
0.754,  
0.49,  
0.57,  
0.455,  
0.614,  
1.5,  
1.9,  
1.23,  
0.342,  
0.431,  
0.363,  
0.338,  
0.855,  
1.17,  
0.453,  
0.5,  
0.479,  
]
```

```
In [3]: array=np.transpose(array)
```

```
In [4]: df=pd.DataFrame(array)
```

```
In [5]: df.rename(columns = {0:'Acc PAL1AX'}, inplace = True)
```

```
In [6]: index=pd.date_range(start='1/3/2015', periods=len(df), freq='M')
```

```
In [7]: df.index=index
```

In [8]: df

Out[8]:

Acc PAL1AX	
2015-01-31	1.100
2015-02-28	0.145
2015-03-31	0.202
2015-04-30	0.273
2015-05-31	0.264
...	...
2021-10-31	0.855
2021-11-30	1.170
2021-12-31	0.453
2022-01-31	0.500
2022-02-28	0.479

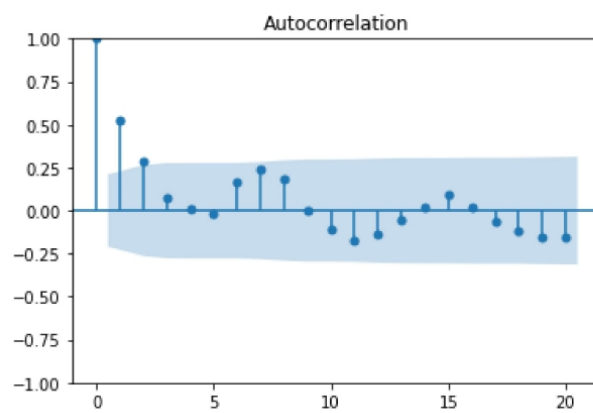
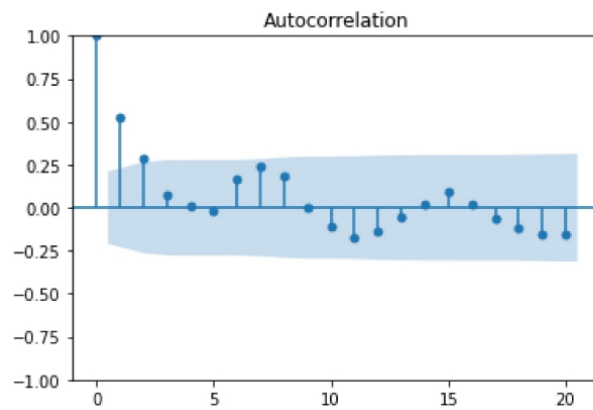
86 rows × 1 columns

```
In [9]: import math
from sklearn.metrics import mean_squared_error
from sklearn.metrics import mean_absolute_error
from sklearn.metrics import mean_absolute_percentage_error
```

```
In [10]: from statsmodels.graphics.tsaplots import plot_acf
from statsmodels.graphics.tsaplots import plot_pacf
```

```
In [11]: plot_acf(df)
```

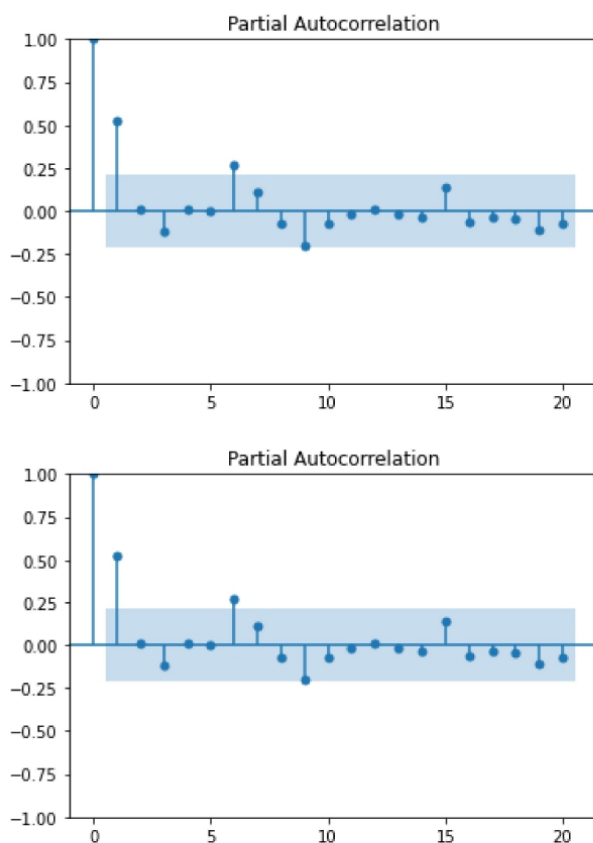
```
Out[11]:
```



In [12]: `plot_pacf(df)`

C:\Users\Kassi\anaconda3\lib\site-packages\statsmodels\graphics\tsaplots.py:348: FutureWarning: The default method 'yw' can produce PACF values outside of the [-1,1] interval. After 0.13, the default will change to unadjusted Yule-Walker ('yw'). You can use this method now by setting method='yw'.
warnings.warn(

Out[12]:



In [13]: `y=df[29:]`

FIG. E.1 : GRAFCET de démarrage de circuit RM.

In [14]:

y

Out[14]:

Acc PAL1AX	
2017-06-30	0.389
2017-07-31	0.426
2017-08-31	0.561
2017-09-30	0.541
2017-10-31	0.855
2017-11-30	0.844
2017-12-31	0.724
2018-01-31	0.678
2018-02-28	0.666
2018-03-31	0.514
2018-04-30	0.572
2018-05-31	0.331
2018-06-30	0.379
2018-07-31	0.310
2018-08-31	0.224
2018-09-30	0.268
2018-10-31	0.406
2018-11-30	0.311
2018-12-31	0.305
2019-01-31	0.500
2019-02-28	0.695
2019-03-31	0.695
2019-04-30	0.674
2019-05-31	1.360
2019-06-30	0.327
2019-07-31	0.558
2019-08-31	0.504
2019-09-30	0.938
2019-10-31	0.460
2019-11-30	1.210
2019-12-31	1.220
2020-01-31	1.370
2020-02-29	1.460
2020-03-31	0.975

Acc PAL1AX	
2020-04-30	0.760
2020-05-31	0.548
2020-06-30	0.377
2020-07-31	1.050
2020-08-31	1.030
2020-09-30	1.070
2020-10-31	0.754
2020-11-30	0.490
2020-12-31	0.570
2021-01-31	0.455
2021-02-28	0.614
2021-03-31	1.500
2021-04-30	1.900
2021-05-31	1.230
2021-06-30	0.342
2021-07-31	0.431
2021-08-31	0.363
2021-09-30	0.338
2021-10-31	0.855
2021-11-30	1.170
2021-12-31	0.453
2022-01-31	0.500
2022-02-28	0.479

```
In [15]: train_end = datetime(2021,8,31)
test_end = datetime(2022,2,28)

train_data = df[:train_end]
test_data = df[train_end + timedelta(days=1):test_end]
```

In [60]: train_data

Out[60]:

	Acc PAL1AX
2015-01-31	1.100
2015-02-28	0.145
2015-03-31	0.202
2015-04-30	0.273
2015-05-31	0.264
...	...
2021-09-30	0.338
2021-10-31	0.855
2021-11-30	1.170
2021-12-31	0.453
2022-01-31	0.500

85 rows × 1 columns

In [61]: test_data

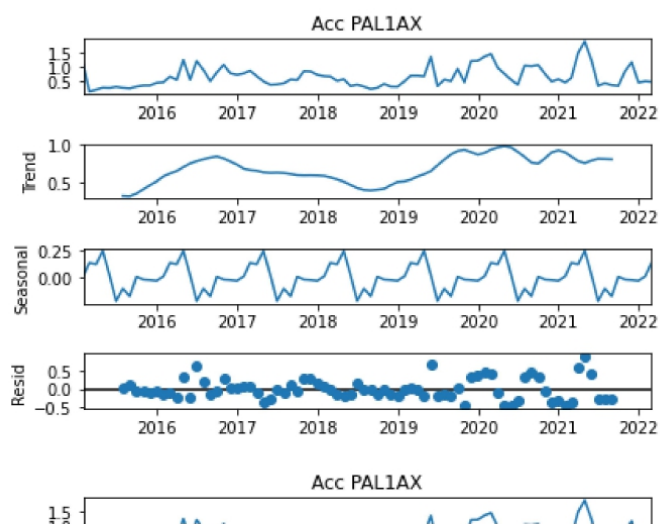
Out[61]:

	Acc PAL1AX	predicted
2021-09-30	0.338	0.346708
2021-10-31	0.855	0.426126
2021-11-30	1.170	0.861005
2021-12-31	0.453	0.909856
2022-01-31	0.500	0.185609
2022-02-28	0.479	0.457229

```
In [16]: from statsmodels.tsa.statespace.sarimax import SARIMAX
from pmdarima import auto_arima
from statsmodels.tsa.seasonal import seasonal_decompose

res = seasonal_decompose(df['Acc PAL1AX'])
res.plot()
```

Out[16]:



```
In [17]: auto_arima(df['Acc PAL1AX'],m=7, trace =True).summary()
```

```
Performing stepwise search to minimize aic
ARIMA(2,0,2)(1,0,1)[7] intercept : AIC=47.772, Time=0.46 sec
ARIMA(0,0,0)(0,0,0)[7] intercept : AIC=69.540, Time=0.02 sec
ARIMA(1,0,0)(1,0,0)[7] intercept : AIC=42.934, Time=0.11 sec
ARIMA(0,0,1)(0,0,1)[7] intercept : AIC=50.671, Time=0.06 sec
ARIMA(0,0,0)(0,0,0)[7] intercept : AIC=195.644, Time=0.02 sec
ARIMA(1,0,0)(0,0,0)[7] intercept : AIC=43.700, Time=0.03 sec
ARIMA(1,0,0)(2,0,0)[7] intercept : AIC=44.927, Time=0.23 sec
ARIMA(1,0,0)(1,0,1)[7] intercept : AIC=45.345, Time=0.26 sec
ARIMA(1,0,0)(0,0,1)[7] intercept : AIC=43.021, Time=0.07 sec
ARIMA(1,0,0)(2,0,1)[7] intercept : AIC=46.605, Time=0.53 sec
ARIMA(0,0,0)(1,0,0)[7] intercept : AIC=65.722, Time=0.21 sec
ARIMA(2,0,0)(1,0,0)[7] intercept : AIC=44.502, Time=0.27 sec
ARIMA(1,0,1)(1,0,0)[7] intercept : AIC=44.673, Time=0.29 sec
ARIMA(0,0,1)(1,0,0)[7] intercept : AIC=50.618, Time=0.11 sec
ARIMA(2,0,1)(1,0,0)[7] intercept : AIC=43.922, Time=0.28 sec
ARIMA(1,0,0)(1,0,0)[7] intercept : AIC=60.160, Time=0.08 sec

Best model: ARIMA(1,0,0)(1,0,0)[7] intercept
Total fit time: 3.073 seconds
```

Out[17]: SARIMAX Results

Dep. Variable:	y	No. Observations:	86
Model:	SARIMAX(1, 0, 0)x(1, 0, 0, 7)	Log Likelihood	-17.467
Date:	Tue, 05 Jul 2022	AIC	42.934
Time:	13:15:03	BIC	52.751
Sample:	0	HQIC	46.885
	- 86		
Covariance Type:	opg		

	coef	std err	z	P> z	[0.025	0.975]
intercept	0.2613	0.092	2.845	0.004	0.081	0.441
ar.L1	0.5090	0.092	5.516	0.000	0.328	0.690
ar.S.L7	0.1884	0.129	1.462	0.144	-0.064	0.441
sigma2	0.0873	0.012	6.995	0.000	0.063	0.112

Ljung-Box (L1) (Q):	0.12	Jarque-Bera (JB):	10.52
Prob(Q):	0.72	Prob(JB):	0.01
Heteroskedasticity (H):	1.45	Skew:	0.71
Prob(H) (two-sided):	0.32	Kurtosis:	3.97

Warnings:

[1] Covariance matrix calculated using the outer product of gradients (complex-step).

```
In [18]: my_order = (1,0,0)
my_seasonal_order = (1, 0, 0, 7)
# define model
model = SARIMAX(train_data, order=my_order, seasonal_order=my_seasonal_order)
```

```
In [19]: model
```

```
Out[19]: <statsmodels.tsa.statespace.sarimax.SARIMAX at 0x264eaa7a130>
```

Type *Markdown* and LaTeX: α^2

```
In [20]: start = time()
model_fit = model.fit()
end = time()
print('Model Fitting Time:', end - start)
```

Model Fitting Time: 0.10587692260742188

```
In [21]: predc=[]
for train_end in test_data.index:
    train_data = df[:train_end-timedelta(days=1)]
    model = SARIMAX(train_data, order=my_order, seasonal_order=my_seasonal_order)
    model_fit = model.fit()

    pred = model_fit.forecast()
    predc.append(pred)
```

```
In [22]: predictions=(np.diag(pd.DataFrame(predc)))
```

```
In [23]: predictions
```

```
Out[23]: array([0.34670775, 0.42612588, 0.86100488, 0.9098559 , 0.18560881,
0.4572289 ])
```

```
In [24]: test_data['predicted']=predictions
```

C:\Users\Kassi\AppData\Local\Temp\ipykernel_19300\1702755291.py:1: SettingWithCopyWarning:

A value is trying to be set on a copy of a slice from a DataFrame.
Try using .loc[row_indexer,col_indexer] = value instead

See the caveats in the documentation: https://pandas.pydata.org/pandas-docs/stable/user_guide/indexing.html#returning-a-view-versus-a-copy (https://pandas.pydata.org/pandas-docs/stable/user_guide/indexing.html#returning-a-view-versus-a-copy)

```
test_data['predicted']=predictions
```

In [25]: `test_data`

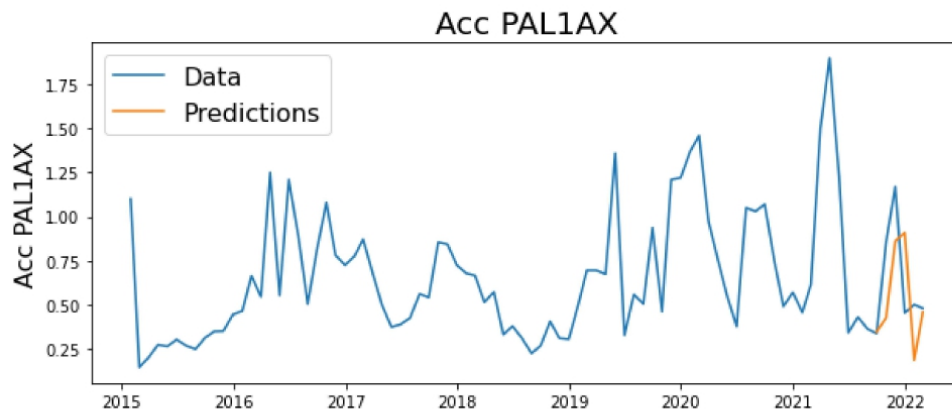
Out[25]:

	Acc PAL1AX	predicted
2021-09-30	0.338	0.346708
2021-10-31	0.855	0.426126
2021-11-30	1.170	0.861005
2021-12-31	0.453	0.909856
2022-01-31	0.500	0.185609
2022-02-28	0.479	0.457229

In [26]: `rolling_residuals = np.diff(np.asarray(test_data), axis = 1)`

In [28]: `plt.figure(figsize=(10,4))`
`plt.plot(df)`
`plt.plot(test_data['predicted'])`
`plt.legend(('Data', 'Predictions'), fontsize=16)`
`plt.title('Acc PAL1AX', fontsize=20)`
`plt.ylabel('Acc PAL1AX', fontsize=16)`

Out[28]: `Text(0, 0.5, 'Acc PAL1AX')`



In [29]: `mae=mean_absolute_error(df[80:],predictions)`

Now We going to introduce our deepLearning model!

```
In [30]: mae
```

```
Out[30]: 0.25659919660734715
```

```
In [31]: print('Root Mean Squared Error:', np.sqrt(np.mean(rolling_residuals**2)))
```

```
Root Mean Squared Error: 0.31292169780480256
```

```
In [32]: def to_supervised(data, dropNa = True, lag=3):  
    df = pd.DataFrame(data)  
    column = []  
    column.append(df)  
    for i in range(1,4):  
        column.append(df.shift(-i))  
    df = pd.concat(column,axis=1)  
    df.dropna(inplace = True)  
    features = 1  
    df = df.values  
    supervised_data = df[:,1*3]  
  
    return supervised_data
```

```
In [33]: timeSteps = 3  
supervised1 = to_supervised(df,timeSteps)
```

```
In [34]: supervised1.shape
```

```
Out[34]: (83, 3)
```

```
In [35]: supervised1
```

```
Out[35]: array([[1.1 , 0.145, 0.202],
 [0.145, 0.202, 0.273],
 [0.202, 0.273, 0.264],
 [0.273, 0.264, 0.303],
 [0.264, 0.303, 0.268],
 [0.303, 0.268, 0.248],
 [0.268, 0.248, 0.311],
 [0.248, 0.311, 0.349],
 [0.311, 0.349, 0.351],
 [0.349, 0.351, 0.444],
 [0.351, 0.444, 0.464],
 [0.444, 0.464, 0.664],
 [0.464, 0.664, 0.545],
 [0.664, 0.545, 1.25 ],
 [0.545, 1.25 , 0.552],
 [1.25 , 0.552, 1.21 ],
 [0.552, 1.21 , 0.893],
 [1.21 , 0.893, 0.503],
 [0.893, 0.503, 0.81 ],
 [0.503, 0.81 , 1.08 ],
 [0.81 , 1.08 , 0.781],
 [1.08 , 0.781, 0.725],
 [0.781, 0.725, 0.776],
 [0.725, 0.776, 0.871],
 [0.776, 0.871, 0.676],
 [0.871, 0.676, 0.497],
 [0.676, 0.497, 0.374],
 [0.497, 0.374, 0.389],
 [0.374, 0.389, 0.426],
 [0.389, 0.426, 0.561],
 [0.426, 0.561, 0.541],
 [0.561, 0.541, 0.855],
 [0.541, 0.855, 0.844],
 [0.855, 0.844, 0.724],
 [0.844, 0.724, 0.678],
 [0.724, 0.678, 0.666],
 [0.678, 0.666, 0.514],
 [0.666, 0.514, 0.572],
 [0.514, 0.572, 0.331],
 [0.572, 0.331, 0.379],
 [0.331, 0.379, 0.31 ],
 [0.379, 0.31 , 0.224],
 [0.31 , 0.224, 0.268],
 [0.224, 0.268, 0.406],
 [0.268, 0.406, 0.311],
 [0.406, 0.311, 0.305],
 [0.311, 0.305, 0.5 ],
 [0.305, 0.5 , 0.695],
 [0.5 , 0.695, 0.695],
 [0.695, 0.695, 0.674],
 [0.695, 0.674, 1.36 ],
 [0.674, 1.36 , 0.327],
 [1.36 , 0.327, 0.558],
 [0.327, 0.558, 0.504],
 [0.558, 0.504, 0.938],
```

```
[0.504, 0.938, 0.46 ],
[0.938, 0.46 , 1.21 ],
[0.46 , 1.21 , 1.22 ],
[1.21 , 1.22 , 1.37 ],
[1.22 , 1.37 , 1.46 ],
[1.37 , 1.46 , 0.975],
[1.46 , 0.975, 0.76 ],
[0.975, 0.76 , 0.548],
[0.76 , 0.548, 0.377],
[0.548, 0.377, 1.05 ],
[0.377, 1.05 , 1.03 ],
[1.05 , 1.03 , 1.07 ],
[1.03 , 1.07 , 0.754],
[1.07 , 0.754, 0.49 ],
[0.754, 0.49 , 0.57 ],
[0.49 , 0.57 , 0.455],
[0.57 , 0.455, 0.614],
[0.455, 0.614, 1.5 ],
[0.614, 1.5 , 1.9 ],
[1.5 , 1.9 , 1.23 ],
[1.9 , 1.23 , 0.342],
[1.23 , 0.342, 0.431],
[0.342, 0.431, 0.363],
[0.431, 0.363, 0.338],
[0.363, 0.338, 0.855],
[0.338, 0.855, 1.17 ],
[0.855, 1.17 , 0.453],
[1.17 , 0.453, 0.5 ]])
```

```
In [38]: # splitting the data
# training on only first year data
features = 1
train_months = 70
X = supervised1[:,:(features*timeSteps)]

x_train1 = X[:train_months,:]
x_test1 = X[train_months:len(X)-timeSteps,:]

print (x_train1.shape,x_test1.shape)

(70, 3) (10, 3)
```

```
In [39]: import tensorflow as tf
```

```
In [40]: y = df[3:]
```

```
In [41]: y
```

	Acc PAL1AX
2015-04-30	0.273
2015-05-31	0.264
2015-06-30	0.303
2015-07-31	0.268
2015-08-31	0.248
...	...
2021-10-31	0.855
2021-11-30	1.170
2021-12-31	0.453
2022-01-31	0.500
2022-02-28	0.479

83 rows × 1 columns

```
In [42]: y_train = y[:train_months ]
y_test = y[train_months:len(y)-timeSteps]
```

```
In [43]: len(y_train)
```

```
Out[43]: 70
```

```
In [44]: len(y_test)
```

```
Out[44]: 10
```

```
In [45]: import keras
from keras.layers import Dense
```

```
In [46]: first_channel = tf.keras.Input(shape=(3,1))

X1=tf.keras.layers.Bidirectional(tf.keras.layers.LSTM(10, return_sequences=False

X11=Dense(1)(X1)
```

```
In [47]: model=tf.keras.Model(first_channel,X11)

model.compile(optimizer='adam',loss='mse')
model.summary()
```

Model: "model"

Layer (type)	Output Shape	Param #
=====		
input_1 (InputLayer)	[(None, 3, 1)]	0
bidirectional (Bidirectional)	(None, 20)	960
dense (Dense)	(None, 1)	21
=====		
Total params: 981		
Trainable params: 981		
Non-trainable params: 0		

```
In [48]: tf.keras.utils.plot_model(model, show_shapes=True)
```

You must install pydot (`pip install pydot`) and install graphviz (see instructions at <https://graphviz.gitlab.io/download/>) (<https://graphviz.gitlab.io/download/>) for plot_model/model_to_dot to work.

```
In [49]: model.evaluate(x_test1,y_test)
```

1/1 [=====] - 1s 1s/step - loss: 1.4938

```
Out[49]: 1.4938209056854248
```

```
In [50]: early_stopping = tf.keras.callbacks.EarlyStopping(monitor="val_loss", patience=10)
with tf.device('/GPU:0'):
    history = model.fit(x_train1,y_train, validation_data=(x_test1,y_test),epochs=2000)

Epoch 575/2000
3/3 [=====] - 0s 17ms/step - loss: 0.0612 - val_loss: 0.1979
Epoch 576/2000
3/3 [=====] - 0s 15ms/step - loss: 0.0612 - val_loss: 0.1978
Epoch 577/2000
3/3 [=====] - 0s 16ms/step - loss: 0.0612 - val_loss: 0.1978
Epoch 578/2000
3/3 [=====] - 0s 18ms/step - loss: 0.0612 - val_loss: 0.1977
Epoch 579/2000
3/3 [=====] - 0s 16ms/step - loss: 0.0612 - val_loss: 0.1977
Epoch 580/2000
3/3 [=====] - 0s 19ms/step - loss: 0.0612 - val_loss: 0.1976
Epoch 581/2000
3/3 [=====] - 0s 16ms/step - loss: 0.0611 - val_loss: 0.1976

In [51]: prediction=model.predict(x_test1)

1/1 [=====] - 1s 1s/step

In [52]: df_final=pd.DataFrame(y_test)

In [53]: df_final[["pred"]]=prediction
```

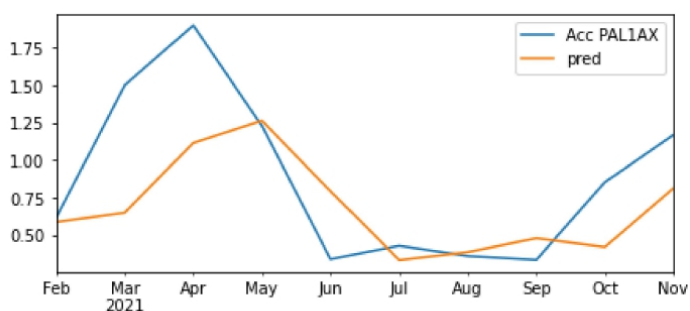
In [54]: df_final

Out[54]:

	Acc PAL1AX	pred
2021-02-28	0.614	0.588567
2021-03-31	1.500	0.650733
2021-04-30	1.900	1.115952
2021-05-31	1.230	1.263940
2021-06-30	0.342	0.794602
2021-07-31	0.431	0.336035
2021-08-31	0.363	0.388364
2021-09-30	0.338	0.481046
2021-10-31	0.855	0.422766
2021-11-30	1.170	0.814591

In [55]: df_final[['Acc PAL1AX', "pred"]].plot(figsize=(7,3))

Out[55]: <AxesSubplot:>



```
In [56]: import math
from sklearn.metrics import mean_squared_error
from sklearn.metrics import mean_absolute_error
from sklearn.metrics import mean_absolute_percentage_error
# calculate mean_absolute_error
testScore = mean_absolute_error(df_final['Acc PAL1AX'], df_final["pred"])
print('Test Score: %.2f MAE' % (testScore))
#calculate mean absolute error
mse=mean_squared_error(df_final['Acc PAL1AX'], df_final["pred"])
print('\nmse Score: %.2f ' % (mse))
```

Test Score: 0.32 MAE

mse Score: 0.19

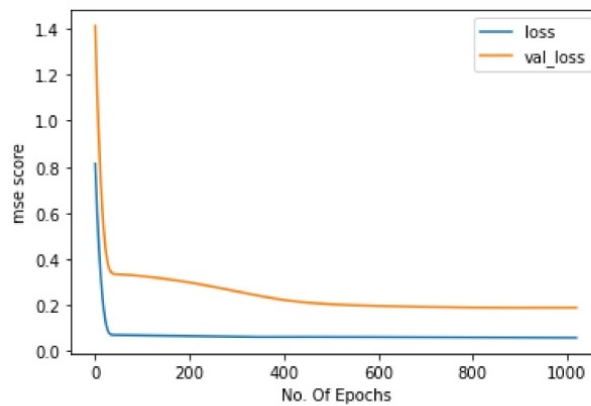
```
In [57]: test_series = df_final['Acc PAL1AX']
# state of model performance
if testScore < test_series.std():
    print('\n[ Model performance is GOOD enough ]')
    print('\nRMSE of test prediction < Standard deviation of test dataset')
    print('%0.2f' % (testScore), '<', '%0.2f' % (test_series.std()))
else:
    print('\n[ Model performance is NOT GOOD enough ]')
    print('\nRMSE of test prediction > Standard deviation of test dataset')
    print('%0.2f' % (testScore), '>', '%0.2f' % (test_series.std()))
```

[Model performance is GOOD enough]

RMSE of test prediction < Standard deviation of test dataset
0.32 < 0.55

```
In [58]: plt.plot(history.history["loss"],label="loss")
plt.plot(history.history["val_loss"],label="val_loss")
plt.legend(loc="best")
plt.xlabel("No. Of Epochs")
plt.ylabel("mse score")
```

Out[58]: Text(0, 0.5, 'mse score')



E.21 base des données des paramètre de la pompe d'extraction

date	Acc PAL1AX	Acc PAL1RH	Acc PAL2AX	Acc PAL2RH	VitVib PAL1AX
18/10/2021	1,1	5,5	6,61	2,23	0,454
12/09/2021	0,145	0,347	0,206	0,172	0,299
17/08/2021	0,202	0,264	0,3	0,254	0,683
06/07/2021	0,273	0,161	0,329	0,204	0,48
21/04/2021	0,264	0,36	0,32	0,283	0,379
08/04/2021	0,303	0,569	0,202	0,169	0,355
25/02/2021	0,268	0,221	0,374	0,258	0,431
28/01/2021	0,248	0,206	0,341	0,258	0,384
01/07/2020	0,311	0,277	0,598	0,458	0,986
25/06/2020	0,349	0,228	0,544	0,464	0,625
06/02/2020	0,351	0,24	0,449	0,324	0,493
18/08/2019	0,444	0,311	0,447	0,395	0,52
20/06/2019	0,464	0,405	0,383	0,397	0,468
16/05/2019	0,664	0,525	0,672	0,463	0,462
09/04/2019	0,545	0,441	0,591	0,466	0,645
06/02/2019	1,25	0,276	0,278	0,215	0,451
08/01/2019	0,552	0,573	0,368	0,31	0,433
06/12/2018	1,21	0,69	0,219	0,187	0,428
14/11/2018	0,893	0,366	0,279	0,231	0,631
08/10/2018	0,503	0,5	0,463	0,509	0,752
04/09/2018	0,81	0,261	0,368	0,208	0,498
15/08/2018	1,08	0,638	0,356	0,294	0,604
24/07/2018	0,781	0,694	0,435	0,438	0,511
11/03/2018	0,725	0,524	0,173	0,483	0,32
08/02/2018	0,776	0,326	0,454	0,514	0,366
11/01/2018	0,871	0,555	0,33	0,25	0,372
26/12/2017	0,676	0,461	0,416	0,39	0,46
09/10/2017	0,497	0,167	0,239	0,374	0,453
07/09/2017	0,374	0,183	0,36	0,246	0,462
09/08/2017	0,389	0,252	0,351	0,302	0,626
12/07/2017	0,426	0,171	0,312	0,258	0,645
08/05/2017	0,561	0,368	0,29	0,249	0,409
02/04/2017	0,541	0,458	0,231	0,387	0,448
01/03/2017	0,855	0,589	0,303	0,219	0,326
05/02/2017	0,844	0,558	0,284	0,486	0,342
05/01/2017	0,724	0,437	0,218	0,245	0,333
01/12/2016	0,678	0,513	0,269	0,333	0,352
09/11/2016	0,666	0,353	0,24	0,244	0,52
21/09/2016	0,514	0,458	0,231	0,387	0,448
27-juil	0,572	0,215	0,222	0,216	0,487
07/06/2016	0,331	0,23	0,213	0,151	0,495
05/05/2016	0,379	0,257	0,157	0,187	0,346
15/03/2016	0,31	0,165	0,195	0,25	0,413
18/02/2016	0,224	0,179	0,197	0,469	0,409
03/01/2016	0,268	0,183	0,26	0,258	0,459
15/12/2015	0,406	0,22	0,394	0,467	0,759

29/11/2015	0,311	0,164	0,215	0,228	0,44
09/11/2015	0,305	0,177	0,298	0,18	0,46
26/12/2013	0,512	0,398	0,293	0,268	0,597
15/12/2013	0,695	0,664	0,209	0,249	0,309
24/11/2013	0,695	0,664	0,209	0,249	0,309
12/11/2013	0,674	0,483	0,23	0,356	0,313
13/10/2013	1,36	1,15	0,274	0,397	0,36
05/09/2013	0,327	0,227	0,315	0,481	0,43
21/08/2013	0,558	0,286	0,333	0,293	0,514
28/07/2013	0,504	0,48	0,341	0,359	0,457
26/06/2013	0,938	0,64	0,262	0,268	0,45
20/05/2013	0,46	0,267	0,296	0,294	0,469
18/04/2013	1,21	0,443	0,373	0,331	0,341
20/03/2013	1,22	0,742	0,273	0,198	0,332
16/01/2013	1,37	0,673	0,268	0,233	0,554
17/12/2012	1,46	0,827	0,263	0,32	0,34
19/11/2012	0,975	0,565	0,309	0,304	0,304
18/10/2012	0,76	0,653	0,339	0,355	0,357
22/08/2012	0,548	0,51	0,335	0,443	0,73
08/07/2012	0,377	0,335	0,373	0,445	0,427
23/05/2012	1,05	0,61	0,174	0,98	0,396
08/05/2012	1,03	0,771	0,245	0,304	0,337
17/04/2012	1,07	0,659	0,287	0,191	0,31
05/04/2012	0,754	0,658	0,2	0,211	0,311
13/03/2012	0,49	0,382	0,317	0,436	0,546
23/02/2012	0,57	0,507	0,295	0,422	0,469
30/01/2012	0,455	0,502	0,323	0,367	0,485
23/01/2012	0,614	0,415	0,507	0,359	0,49
06/12/2011	1,5	0,893	0,249	0,211	0,331
20/11/2011	1,9	1,24	0,276	0,257	0,575
05/10/2011	1,23	0,659	0,274	0,194	0,373
13/09/2011	0,342	0,206	0,409	1,19	0,674
18/08/2011	0,431	0,377	0,513	1,18	0,469
19/07/2011	0,363	0,344	0,811	1,45	0,585
23/06/2011	0,338	0,407	0,56	0,999	0,598
22/05/2011	0,855	0,566	0,189	0,191	0,385
14/04/2011	1,17	0,571	0,191	0,305	0,288
08/03/2011	0,453	0,347	0,382	1,06	0,7
09/02/2012	0,5	0,233	0,807	1,12	0,704
04/07/2010	0,479	0,421	0,451	0,716	0,533

VitVib PAL1RH	VitVib PAL2AX	VitVib PAL2RH	DefRoul PAL1AX	DefRoul PAL1RH
1,45	1,11	0,598	2,56	7,67
0,405	0,428	0,197	2,47	2,98
0,507	0,392	0,269	2,51	2,44
0,382	0,371	0,259	2,7	2,47
0,379	0,344	0,217	2,47	2,81
0,378	0,405	0,202	3,02	3,2
0,376	0,353	0,225	2,38	2,45
0,356	0,423	0,196	2,37	2,71
0,418	1,01	0,386	2,96	2,53
0,404	0,829	0,335	2,69	2,7
0,364	0,616	0,209	2,81	2,74
0,429	0,662	0,38	2,97	2,96
0,404	0,603	0,351	3,18	3,15
0,42	0,66	0,272	3,62	3,63
0,453	0,894	0,343	3,3	3,07
0,437	0,54	0,216	0,452	2,82
0,408	0,623	0,281	3,29	3,8
0,408	0,436	0,17	4,23	3,4
0,545	0,624	0,266	3,79	2,84
0,555	0,924	0,337	3,24	3,35
0,403	0,378	0,232	3,84	2,88
0,462	0,703	0,234	4,1	3,68
0,452	0,77	0,369	3,65	3,43
0,372	0,374	0,259	3,82	3,96
0,371	0,48	0,295	3,76	2,86
0,37	0,41	0,186	3,85	3,78
0,398	0,421	0,21	3,65	3,75
0,407	0,418	0,364	3,47	2,64
0,415	0,412	0,253	3,09	2,65
0,461	0,406	0,281	3,4	2,73
0,439	0,514	0,315	3,16	2,54
0,413	0,757	1,16	3,3	3,03
0,388	0,732	1	3,42	3,1
0,344	0,659	1,09	3,7	3,3
0,346	0,69	0,919	3,74	3,57
0,359	0,735	0,982	3,61	3,09
0,347	0,734	1,13	3,51	3,57
0,393	0,839	1,11	3,76	3,1
0,388	0,732	1	3,42	3,1
0,427	0,974	1,09	3,3	2,66
0,374	0,907	1,12	2,8	2,85
0,306	0,728	1,14	3,76	2,7
0,39	0,731	1,21	2,62	2,77
0,371	0,692	0,897	2,3	2,41
0,435	0,738	1,19	2,42	3,36
0,789	1,35	1,37	2,76	2,48

0,43	0,763	1,28	2,77	2,63
0,421	0,639	0,362	2,67	2,56
0,565	0,973	1,21	3,63	3,15
0,319	0,658	1,1	3,52	3,68
0,319	0,658	1,1	3,52	3,68
1,21	0,682	1,09	3,61	3,23
0,346	0,815	1,15	4,82	4,46
0,307	0,764	1,1	3,07	2,62
0,925	0,902	2,38	3,68	2,88
1,14	0,79	15	3,97	3,62
0,398	0,95	1,08	3,89	3,52
0,477	0,765	1,09	3,14	3,1
0,321	0,72	1,13	4,54	3,1
0,333	0,752	1,16	4,36	3,71
0,464	1,11	1,05	4,6	3,59
0,296	0,689	1,05	4,8	3,72
0,303	0,679	1,09	3,95	3,53
0,359	0,882	1,15	3,74	3,94
0,617	1,13	1,25	3,25	3,21
0,54	0,744	1,28	3,25	3,1
0,314	0,706	1,06	4,24	3,87
0,305	0,658	1,05	4,18	4,26
0,297	0,642	1,01	4,13	3,83
0,3	0,654	1,07	3,87	3,9
0,57	0,817	1,19	3,79	3,41
0,539	0,777	1,21	4,54	4,05
0,489	0,762	1,2	3,48	3,79
0,477	0,692	1,18	3,77	3,19
0,299	0,638	1,14	4,77	3,78
0,438	1,07	1,04	5,46	4,43
0,327	0,385	1,12	4,49	3,62
0,386	1,14	1,07	2,88	2,8
0,569	0,759	1,34	3,19	2,95
0,567	1,02	1,3	2,97	2,98
0,584	1,01	1,34	2,93	3,05
0,304	0,718	1,14	3,74	3,56
0,293	0,662	1,11	4,19	3,49
0,642	1,23	1,27	3,74	3,34
0,586	1,08	1,22	3,42	2,89
0,588	0,835	1,31	3,36	3,66

DefRoul PAL2AX	DefRoul PAL2RH	Temp PAL1RH	Temp PAL2RH
7,03	5,89	20,8	25,5
2,98	2,45	34,6	48,4
2,55	2,64	38,3	49,7
2,37	2,58	38,1	54,5
2,7	2,63	24,7	39,3
2,61	2,6	25,3	44,5
2,35	2,45	28	38,2
2,43	2,49	24,1	36,6
3,51	3,07	32	37,8
2,83	3,02	22,1	42,8
2,69	2,79	22,8	48,6
2,75	2,96	31,4	43,8
2,89	3,25	27,4	44,7
4,71	3,41	24,5	41,3
3,93	3,5	21,7	40,7
2,79	2,82	22,8	49,2
3,17	2,93	22,6	41,6
2,65	2,62	27,8	45,3
2,89	2,85	31,3	42,7
3,04	3,59	24,8	44,4
2,42	2,84	35,9	53,9
2,94	3,06	37	50,9
3,55	3,52	39,2	54,1
2,63	2,87	24,7	39,8
3,68	3,88	24,3	43,5
2,86	2,78	20,8	37,5
2,51	2,62	19,7	39
2,51	3,06	20,5	35,6
2,51	2,6	34,9	43,5
2,57	2,5	34,1	38,8
2,58	2,98	33,3	43,4
2,3	2,79	24,1	34,8
2,42	3,11	22,2	34,3
2,71	2,81	22,3	35,1
2,95	3,23	24,8	40,8
2,62	2,41	19,1	39,2
2,77	3,36	23,9	38,8
2,42	2,89	20,1	39,4
2,42	3,11	22,2	34,3
2,34	2,51	30,5	40,3
2,41	2,64	2,6	37,6
1,61	2,49	24,7	37
2,43	2,43	23,9	36,5
2,51	2,77	26	35,5
2,98	2,72	21,9	35,4
2,75	3,22	21,8	30,6

2,46	2,8	18,7	34,1
2,14	3,36	29	32,4
2,65	3,02	21,6	39,9
2,58	3,07	23,6	41,9
2,85	3,07	23,6	41,9
2,51	2,9	20,6	45,5
2,63	3,3	28,4	47,1
2,76	3,45	28,5	49,4
2,9	2,93	32,1	48,3
2,93	3,18	33,6	46,4
2,53	2,88	27,7	41,4
2,83	2,93	31	42,5
2,9	3,06	26	40,5
2,71	2,8	25,7	36,7
2,4	2,52	24,8	47,7
2,62	2,84	26,7	37,1
2,81	2,93	27,6	41,4
2,96	3,05	36	53
2,61	3,35	32,8	46,5
3,03	3,28	34,1	47,2
2,42	2,73	25	43,6
2,78	2,9	29,8	42,3
2,83	3,02	20	41,7
2,65	2,85	26,6	44,3
2,77	3	17,8	33,5
2,73	3,15	16,5	37,1
2,73	2,88	12,5	39
3,26	3,35	13,9	37,4
2,62	3,29	25,7	49,9
2,6	2,8	24,5	43,1
2,68	2,76	29,4	47,5
3,21	5,12	33,1	51,2
3,41	4,46	34,7	49,1
3,67	5,22	36	42,1
3,36	4,2	38,5	42,4
2,53	2,62	29,1	39,3
2,42	2,75	29,1	43
2,93	4,28	31,8	45,4
3,63	4,31	21,1	32,8
3,33	3,79	37,4	61,4

Résumé

ملخص

الميكاترواالميكاترونكس هو تخصص يؤثر على عدة جوانب (ميكانيكي ، إلكتروني ، آلي ، وعلوم الكمبيوتر) ، في مشروعنا ساهمنا في حل مشكلة حقيقية لنظام ميكاترونيك من أجل تطوير واجهة plc إلى واجهة plc مطورة ، ومن أجل تشغيل الأنظمة باستخدام واجهة متصلة بالبرنامج ، ثم استخدمنا بيانات حقيقية لتنفيذ نموذجين للتنبؤ لتشخيص سلوك نظام ميكاترونيك.

كلمات مفتاحية : تعلم عميق ,ميكاترونكس,الأتمتة الصناعية,تراجع,تحكم منطقي قابل للبرمجة,إشراف

Résumé

La mécatronique est une discipline qui touche plusieurs aspect (mécanique, électronique, automatique, et informatique), dans notre projet nous avons contribué une solution pour une problématique réel d'un système mécatronique dans le but de faire une émigration à partir d'un ancien API vers un API développée , et de supervisé le fonctionnement du systèmes par l'utilisation d'une interface de communication avec le programme effectuer, par la suite nous avons utiliser des données réels pour implémenter deux modelés de prédiction pour le diagnostic et prévenir le comportement de notre système mécatronique.

Mots clés : apprentissage profond, mécatronique, automatisme industriel, régression, automate programmable, supervision.

Abstract

Mechatronics is a discipline that touches several aspects (mechanical, electronic, automatic, and computer), in our project we have contributed a solution for a real problem of a mechatronic system in order to emigrate an old PLC to a developed PLC, and to supervise the operation of the system by using a communication interface with the executed program , thereafter we have used real data to implement two predictive models for the diagnosis and prediction of the behavior of our mechatronic system.

Keywords : Deep learning, mecatronics , industrial automation, regression , programmable logic controler , supervised.