

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
جامعة سعد دحلب البلدية
Université SAAD DAHLAB de BLIDA
كلية التكنولوجيا
Faculté de Technologie
قسم الإلكترونيك
Département d'Électronique



Mémoire de Master

Filière : *Électronique*

Spécialité : *Instrumentation*

Thème

**Automatisation des ramoneurs des chaudières de la
Raffinerie d'Alger**

Promoteur :

DR. AYAD HOCINE

Co-promotrice :

Mme S. TLIBA

Réalisé par :

Amiar Sanaa

Agoulmine Maya

Année universitaire : 2024–2025

Remerciements

Avant tout, nous remercions Dieu, le Tout-Puissant, pour nous avoir donné la force, la patience et le courage nécessaires pour mener à bien ce mémoire. Sa présence et Sa miséricorde nous ont accompagnés tout au long de ce parcours.

*Nous tenons à remercier sincèrement notre encadrant, **Monsieur Aiyad Hocine**, pour son suivi sérieux, ses conseils précieux et sa disponibilité. Son soutien a joué un rôle essentiel dans l'aboutissement de ce travail.*

*Nos remerciements vont aussi à **Madame S. Tliba**, promotrice du projet, pour son implication, son accompagnement permanent et ses remarques techniques très utiles. Grâce à son aide, nous avons pu avancer avec confiance dans notre projet.*

*Nous remercions **Madame H. TALEB** pour son aide et son orientation.*

*Nous remercions également **Monsieur Redouane**, pour son aide précieuse pendant notre stage et pour les explications claires qu'il nous a fournies sur le terrain.*

Nos remerciements s'adressent aussi à tout le personnel de la raffinerie d'Alger, pour leur accueil, leur disponibilité et leur coopération, qui nous ont permis d'apprendre dans de bonnes conditions.

Nous remercions également les membres du jury d'avoir accepté de lire et d'évaluer notre mémoire, et de nous consacrer de leur temps.

Un grand merci à nos parents et nos familles, pour leur soutien moral, leur patience et leur encouragement sans faille tout au long de nos études.

Enfin, nous exprimons toute notre gratitude à toutes les personnes qui, de près ou de loin, nous ont aidés et soutenus dans la réalisation de ce travail.

Dédicaces

À toute ma famille,

Ce mémoire reflète tout l'amour, le soutien et les sacrifices que vous m'avez donnés. Sans vous, rien n'aurait été possible.

À mes parents,

Papa et Mama, merci pour votre patience, votre amour et votre présence constante. Vous êtes ma force chaque jour.

À mes frères : Salah Dine, Anes, Abdo et Boba,

Merci pour votre soutien, vos encouragements et votre présence à mes côtés.

À mes cousines : Mimi, Soundous et Bouchra,

Merci pour votre gentillesse et votre écoute. Votre présence m'a toujours fait du bien.

À mes grands-mères,

Merci pour votre tendresse, votre amour et votre bienveillance. Vous êtes pour moi une source de réconfort et de force.

À la mémoire de mes deux grands-pères :

Papi Rabeh Amiar et Baba Amar Ouattassi,

Vous êtes toujours dans mon cœur. Ce travail est pour vous, en souvenir de votre amour, de votre fierté et de vos encouragements.

À ma binôme Maya,

Merci pour ton sérieux et ton soutien. Ta bonne humeur et ta patience ont rendu ce travail plus facile. Je suis heureuse d'avoir partagé ce projet avec toi.

Dédicaces

À mes chers parents,

Merci du fond du cœur pour votre amour, votre patience et votre soutien constant tout au long de ce parcours.

Merci de m'avoir encouragée à avancer, même lorsque le chemin semblait difficile. Papa, même si j'aurais aimé suivre tes pas en devenant médecin comme toi, je sais que tu es fier de moi, aujourd'hui, sur la voie de devenir ingénieure.

Votre confiance en moi a été ma plus grande force. Je vous dédie ce travail avec tout mon cœur.

À mes frères, Aymen et Abderrahmane,

Merci pour votre présence, vos encouragements et vos sourires dans les moments de doute.

À mes grands-parents,

Je vous porte dans mon cœur. J'aurais tant aimé que vous soyez là pour vivre ce moment avec moi. Votre souvenir m'accompagne à chaque pas. À toute ma famille,

Votre amour m'a portée dans les moments les plus exigeants. Merci d'être mon repère, mon refuge, ma force.

À ma cousine Tata Habiba,

Ta tendresse et ton écoute m'ont accompagnée plus que tu ne peux l'imaginer. Merci pour ton affection constante.

À mon binôme et chère amie Sanaa,

Merci pour ta complicité, ton aide précieuse et ta bienveillance, qui ont fait de ce travail une belle aventure.

Merci aussi pour les rires, la bonne humeur et tous les moments de joie partagés. Je suis heureuse d'avoir vécu cette expérience à tes côtés.

À Tata Safa et Monsieur Redouan,

Merci pour votre bienveillance, vos encouragements et votre soutien chaleureux.

À mes amis,

Merci pour votre soutien, votre bonne humeur et tous les moments partagés.

Résumé

Ce travail a été réalisé dans le cadre de notre projet de fin d'études pour l'obtention d'un master en Électronique Instrumentation. Au cours de ce projet, nous avons effectué un stage à la raffinerie d'Alger, où nous avons étudié l'automatisation des souffleurs de suie. Ces dispositifs permettent d'éliminer les dépôts de suie sur les tubes internes des chaudières lors de la combustion, afin d'éviter l'encrassement et de maintenir leur efficacité.

Ce projet propose une solution d'automatisation complète visant à améliorer la performance et l'efficacité énergétique des chaudières au sein de la raffinerie. Nous avons automatisé le système de souffleurs de suie en utilisant le logiciel Siemens STEP 7. Une interface homme-machine (IHM) a également été développée avec WinCC Flexible pour le contrôle et la supervision du système, en plus de son intégration dans la supervision globale de la raffinerie.

Mots clés : Ramonage, Chaudière, Automatisme industriel, Raffinerie, STEP 7, WinCC Flexible, Supervision, Système de contrôle distribué (DCS)

Abstract

This work was carried out as part of our final year project to obtain a master's degree in Electronic Instrumentation. During this project, we completed an internship at the Algiers refinery, where we studied the automation of soot blowers. These devices remove soot deposits from the internal tubes of boilers during combustion, to prevent fouling and maintain their efficiency.

This project proposes a complete automation solution aimed at improving the performance and energy efficiency of boilers within the refinery. We automated the soot blower system using Siemens STEP 7 software. A Human-Machine Interface (HMI) was also developed with WinCC Flexible for system control and supervision, in addition to its integration into the refinery's overall supervision system.

Keywords : Soot blowing, Boiler, Industrial automation, Refinery, STEP 7, WinCC Flexible, Supervision, Distributed Control System (DCS).

ملخص

تم تنفيذ هذا العمل في إطار مشروع نهاية الدراسة للحصول على ماستر في إلكترونيك وآلية. خلال هذا المشروع، أجرينا تدريباً في مصفاة الجزائر حيث درسنا أتمتة منظومة منفّخي السخام. تهدف هذه الأجهزة إلى إزالة ترسبات السخام على الأنابيب الداخلية للغلايات أثناء عملية الاحتراق، لمنع التراكم والحفاظ على كفاءة الغلاية. يقترح هذا المشروع حلاً أتمتة كاملاً يهدف إلى تحسين أداء وكفاءة الطاقة للغلايات داخل المصفاة. قمنا بأتمتة منظومة منفّخي السخام باستخدام برنامج Siemens STEP 7، وتم تطوير واجهة تشغيل بشرية (HMI) بواسطة WinCC Flexible لمراقبة النظام والتحكم فيه، بالإضافة إلى دمج في نظام الإشراف العام للمصفاة.

الكلمات المفتاحية: تنظيف السخام، الغلاية، الأتمتة الصناعية، المصفاة، ستب ٧، وين سي سي فليكسابل، الإشراف، نظام التحكم الموزع.

Liste des abréviations

API : Automate Programmable Industriel

CPU : Unité centrale de traitement

DCS : Distributed Control System

E/S : Entrée / Sortie

SNCC : Système Numérique De Contrôle A Commande

HART : Highway Addressable Remote Transducer - Protocol de communication de l'instrumentation

TOR : Tout Ou Rien

XV : Vanne Tout Ou Rien

HMI : Human Machine Interface - Interface homme machine

MOV : Motor Operated Valve - Vanne motorisée

MCC : Motor Control Center - Salle de commande des moteurs

NO : Normalement Ouvert

PLC : Programmable Logic Controller

RTD : Resistance Temperature Detector

VAC : Volts Alternating Current

VDC : Volts Direct Current

SLC : Sootblowers Logic Cabinet - Armoire de contrôle

SLP : Sootblowers Local Panel - Panneau local des ramoneurs

SPC : Sootblowers Power Cabinet - Armoire d'alimentation

SPBS : Sootblower Push-Button Station - Station de boutons-poussoirs

BP : Bouton poussoir

MP : Moyenne Pression

PT100 : Platinum Resistance Thermometer

TLH : Temperature Limit High

UA : Unité d'Alarme

UL : Unité Lumineuse

DCS : Système De Contrôle Distribué

Table des matières

Introduction Générale	1
Chapitre 1 : Raffinerie d'Alger et Procédé de Raffinage	4
1.1 Introduction	4
1.2 Présentation générale de la Raffinerie d'Alger	4
1.2.1 Départements et unités principales	5
1.3 Historique	7
1.4 Situation géographique	7
1.5 Procédé de Raffinage de La raffinerie d'Alger	8
1.6 Importance de la Production de vapeur	9
1.7 Problématique et cahier de charge	10
Chapitre 2 : Système de ramonage des chaudières	13
2.1 La chaudière	13
2.2 Le ramonage	16
2.2.1 Fonctionnement de la séquence de ramonage	17
2.3 Les souffleurs de suie	17
2.3.1 Souffleurs de suie rotatifs	18
2.3.2 Souffleurs de suie rétractables	18
2.3.3 Souffleurs de suie de type râteau	19

2.3.4	Système de commande et de contrôle des souffleurs de suie	19
2.4	Séquence de Ramonage des Souffleurs de Suie	20
2.4.1	Modes de Fonctionnement	21
2.5	La séquence de préchauffage	21
2.6	Séquence de ramonage en mode manuel	26
2.7	Séquence de ramonage en mode Automatique	27
2.8	conclusion	31
Chapitre 3 : Instrumentation et Appareillage		33
3.1	Étude des capteurs	33
3.1.1	Capteur de pression	33
3.1.2	Capteur de température	34
3.1.3	Détecteurs de position	36
3.2	Étude des actionneurs	37
3.2.1	Vanne à opercule sphérique motorisée (MOV) et servomoteur	37
3.2.2	Vanne TOR à opercule sphérique à servomoteur pneumatique (XV)	38
3.2.3	Moteurs des souffleurs de suie	39
3.3	Barrières galvanique et préactionneurs	41
3.3.1	Barrières à isolement galvanique	41
3.3.2	Relais	43
3.3.3	Contacteurs	44
3.4	Disjoncteurs de protection	44
3.5	Bilan Total des capteurs et préactionneurs	45
3.6	Architecture matérielle	46
3.6.1	Automate Programmable Industriel	47

3.6.2	Choix du CPU	47
3.6.3	Modules d'Entrées/Sorties	48
3.6.4	Interface Homme-Machine	49
3.6.5	Alimentation	50

Chapitre 4 : Réalisation, Programmation et Supervision du Système de Ramonage 54

4.1	Programmation de l'automate	55
4.1.1	Configuration matérielle	56
4.1.2	Structure du programme	57
4.1.3	Blocs organisationnels (OB)	58
4.1.4	Logique de fonctionnement	58
4.1.5	Simulation du programme	59
4.2	Supervision avec IHM	60
4.2.1	Intégration de l'interface dans le projet Step7	60
4.2.2	Structure de l'interface de supervision	61
4.3	Intégration du système de ramonage dans le DCS	65
4.3.1	Système de contrôle distribué (DCS)	65
4.3.2	Architecture matérielle du DCS	66
4.3.3	Logiciels et outils de supervision du DCS	68
4.3.4	Déclenchement du ramonage depuis le DCS :	71

Conclusion générale 75

Bibliographie 78

Annexes 80

Table des figures

Figure 1.1	La raffinerie	4
Figure 1.2	Organigramme des départements et unités principales de la raffinerie d'Alger	6
Figure 1.3	Localisation de la raffinerie	8
Figure 2.1	La chaudière	14
Figure 2.2	Principaux éléments de la chaudière	16
Figure 2.3	Souffleurs de suie rotatifs	18
Figure 2.4	Souffleurs de suie rétractables	19
Figure 2.5	Souffleurs de suie râteau	19
Figure 2.6	Organigramme des étapes de préchauffage	26
Figure 2.7	Organigramme de la séquence automatique de ramonage	31
Figure 3.1	Capteurs de pression	34
Figure 3.2	Capteurs de température	34
Figure 3.3	Capteurs Metis MY45 / MY46	35
Figure 3.4	Positions des bruleurs et des judas	36
Figure 3.5	Détecteurs de position	37
Figure 3.6	Vanne motorisée	38
Figure 3.7	vanne TOR	39
Figure 3.8	motor asynchrone	40
Figure 3.9	Barriere a isolement galvanique	42
Figure 3.10	Barriere a isolement galvanique MTL4541 et MTL5511	43
Figure 3.11	Relais de puissance de type 2DPDT	43
Figure 3.12	Contact auxiliaire et Contacteur inverseur	44
Figure 3.13	Disjoncteurs 0.9/1.25A, 1.4/2A , 0.7/1A	45

Figure 3.14	CPU315-2 PN/DP	48
Figure 3.15	Module d'entrées/sorties	48
Figure 3.16	SIMATIC HMI IPC577C	50
Figure 3.17	Alimentation QUINT-PS-1AC/24DC/20	51
Figure 4.1	Architecture du système de ramonage	54
Figure 4.2	Projet RAMONAGE sur le logiciel Step7 5.6	55
Figure 4.3	Configuration matérielle et du réseau de la station de contrôle de ramonage .	56
Figure 4.4	Structure du programme	57
Figure 4.5	Architecture du système de ramonage	58
Figure 4.6	Simulation des séquences du programme par S7-PLCSIM	59
Figure 4.7	Séquence permissive dans bloc OB1	60
Figure 4.8	Intégration de l'interface dans le projet	61
Figure 4.9	Liaison avec la station de contrôle	61
Figure 4.10	Vue de connexion	62
Figure 4.11	Vue Ramonage	63
Figure 4.12	Vue séquence automatique	63
Figure 4.13	Vue commande manuelle	64
Figure 4.14	Vue des conditions de démarrage et d'arrêt	65
Figure 4.15	DCS I/A Séries de FOXBORO	66
Figure 4.16	Processeur de contrôle FCP270	67
Figure 4.17	Module d'entrée/sortie FBM	68
Figure 4.18	Vue de l'interface Orchestra IDE avec les stratégies de contrôle	69
Figure 4.19	Interface de supervision sous FoxView	70
Figure 4.20	Éditeur graphique FoxDraw	70
Figure 4.21	Bloc PACKOUT_002 dans Orchestra IDE	71
Figure 4.22	Interface de supervision sous FoxView avec ajout du bouton 751HS1000 . .	72

Liste des tableaux

Tableau 2.1	Caractéristiques techniques des deux chaudières	14
Tableau 2.2	Bilan des signaux	22
Tableau 2.3	Bilan des TAG	26
Tableau 2.4	Bilan des TAG	27
Tableau 3.1	Bilan des actionneurs	41
Tableau 3.2	Bilan des entrées et des sorties	46
Tableau 3.3	Liste des modules d'automatisation du système de ramonage	49
Tableau 3.4	Bilan de consommation électrique des modules d'automatisation	52

Introduction Générale

Introduction Générale

L'automatisation industrielle est aujourd'hui un levier essentiel pour accroître la productivité, améliorer la sécurité des installations et réduire les coûts d'exploitation. En remplaçant des tâches manuelles par des systèmes de commande automatisés, elle assure un contrôle précis, rapide et fiable des processus industriels.

Dans ce cadre, la raffinerie d'Alger a amorcé, depuis 2019, une modernisation progressive de ses installations à travers l'intégration d'un système numérique de contrôle-commande centralisé (SNCC). Toutefois, certains équipements, comme le système de ramonage des chaudières utilitaires, fonctionnent encore en mode manuel, impactant négativement leur rendement énergétique et la continuité de production.

Le ramonage, assuré par huit souffleurs (quatre rotatifs, deux en râtaux et deux rétractiles), vise à éliminer les dépôts de suie formés lors de la combustion. Ces dépôts nuisent à la production de vapeur haute pression, essentielle au fonctionnement des unités de production et à la turbine à vapeur. Une automatisation de ce procédé s'impose donc pour améliorer son efficacité et fiabiliser son fonctionnement.

Ce mémoire propose le développement d'un système automatisé de ramonage basé sur un automate Siemens S7-300 (CPU 315-2 PN/DP), permettant un pilotage automatique et manuel des souffleurs selon des séquences définies. Une interface HMI conçue sous WinCC Flexible permettra une supervision locale simple et intuitive. En complément, l'intégration au système DCS de la raffinerie assurera un pilotage centralisé cohérent avec les autres sous-systèmes.

Le travail est structuré comme suit :

Chapitre 1 : Présentation de la raffinerie d'Alger, son organisation, le procédé de raffinage et l'importance de la vapeur, avec introduction de la problématique du ramonage.

Chapitre 2 : Étude du système de ramonage, ses composantes, les différents types de souffleurs et leur rôle dans le maintien du rendement des chaudières.

Chapitre 3 : Description des capteurs, actionneurs et instruments nécessaires à l'automatisation du système.

Chapitre 4 : Conception et réalisation du système automatisé (API Siemens S7-300, programmation STEP7, supervision HMI sous WinCC Flexible), suivie de l'intégration dans le DCS existant.

Ce mémoire propose une solution complète pour automatiser et superviser localement le système de ramonage des chaudières, participant à l'optimisation globale de la raffinerie d'Alger.

Chapitre 1 :
Raffinerie d'Alger et Procédé de Raffinage

1.1 Introduction

Dans le secteur pétrolier, les raffineries jouent un rôle central dans la transformation du pétrole brut en produits finis destinés au marché national et international.

La raffinerie d'Alger (RA1G), exploitée par la société SONATRACH, constitue un maillon stratégique de l'industrie pétrolière algérienne. Située à Sidi Arcine (Baraki, Alger), elle a bénéficié de nombreuses modernisations pour améliorer ses performances, sa sécurité, et son impact environnemental.

Ce chapitre présente l'organisation, les installations, le procédé de raffinage, ainsi que les enjeux énergétiques liés à la production de vapeur. Il introduit également la problématique du ramonage des chaudières qui constitue le cœur de ce projet



FIGURE 1.1 – La raffinerie

1.2 Présentation générale de la Raffinerie d'Alger

La raffinerie d'Alger, opérée par SONATRACH, est une installation industrielle spécialisée dans le traitement du pétrole brut et la production de produits pétroliers raffinés. Elle traite principalement le brut de Hassi Messaoud et les condensats de Hassi R'Mel, pour répondre à la demande

croissante en carburants au niveau national.

Après modernisation, sa capacité de traitement atteint 3,645 millions de tonnes par an, soit environ 59 000 barils par jour. [1]

1.2.1 Départements et unités principales

La raffinerie d'Alger est organisée en plusieurs départements et unités opérationnelles, ainsi que des services supports essentiels : [1]

- Département Production : Responsable de la fabrication et de la qualité des produits.

- Unité de distillation atmosphérique (U100) : Première étape du raffinage, fractionnant le pétrole brut en hydrocarbures légers, essence, kérosène, gazole, fioul et produits intermédiaires.
- Unité de reforming catalytique (U200) : Transforme les coupes à bas indice d'octane en essence à haut indice, base des carburants automobiles (capacité : 2 500 m³/jour).
- Unité de séparation de gaz GPL (U300) : Sépare et valorise le propane et le butane issus de la distillation et du craquage catalytique.
- Unités MS-Block : Production d'essences conformes aux normes Euro V (hydrotraitement, isomérisation, reformage continu).
- Unité RFCC : Craquage catalytique fluide pour transformer les résidus lourds en produits plus légers (essence, gazole, GPL).
- Unité de mélange et d'éthylation : Préparation des essences normales et super, ajout d'additifs.
- Unité d'expédition : Gestion de la réception du brut et de l'expédition des produits finis.

- Département Maintenance : Garantit la disponibilité et la fiabilité des équipements (services d'instrumentation, mécanique, électricité, chaudronnerie).

- Département Technique : Regroupe le contrôle, le laboratoire d'analyse, et les études techniques.

- Département Hygiène, Sécurité et Environnement (HSE) :

- Service Intervention.

- Service Prévention.
- Cellule Environnement.

- **Service Télésurveillance et Contrôle d'Accès** : Sécurité des accès, vidéosurveillance, gestion des visiteurs.

- **Département Approvisionnement** : Achats, gestion des matières premières et consommables.

- **Département Finances, Ressources Humaines et Moyens Généraux** : Support administratif, financier, gestion du personnel, logistique.

- **Installations Générales et Utilitaires** :

- Centrale thermoélectrique : production de vapeur (deux chaudières de 47 t/h à 410°C et 35 bars), d'électricité (groupe turboalternateur de 6 MW) et d'air comprimé.
- Salle de contrôle centralisée.
- Station de traitement des effluents.
- Parc de stockage (capacité : 290 000 m³).

Grâce à cette organisation, la raffinerie d'Alger assure une production continue et sécurisée, conforme aux normes Euro V et aux exigences environnementales internationales .

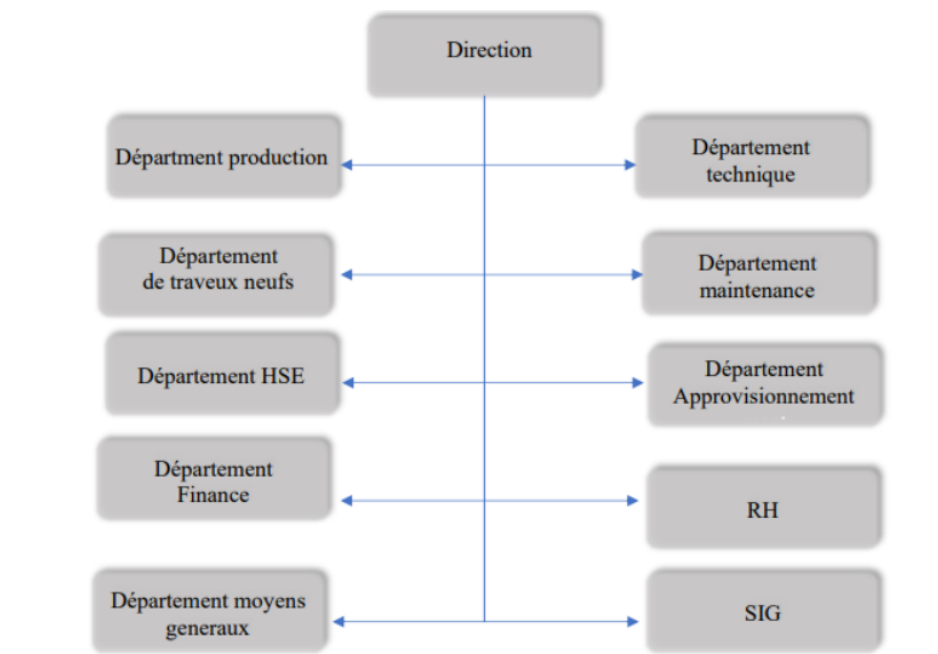


FIGURE 1.2 – Organigramme des départements et unités principales de la raffinerie d'Alger

1.3 Historique

La raffinerie d'Alger a été créée en décembre 1959, peu après la découverte du pétrole dans le sud algérien. La construction a débuté en janvier 1960 sous la direction de la Compagnie Française des Pétroles (CFP/Foster Wheeler), avec la participation de sociétés internationales telles que Shell, BP, Mobil Oil et Standard Oil.

La mise en service a eu lieu le 19 janvier 1964, et l'inauguration officielle le 15 avril 1964. Le coût initial était d'environ 210 millions de dinars.

Initialement, la capacité de traitement était de 2,5 millions de tonnes par an, avec un approvisionnement d'abord par tanker, puis par pipeline (oléoduc de 18 puis 20 pouces, reliant Hassi Messaoud à Alger). Le raffinage était d'abord intégré à SONATRACH, puis transféré à NAFTEC en 1982, avant d'être réintégré à SONATRACH en 2009.

La raffinerie a connu plusieurs modernisations, notamment un programme de réhabilitation (2015-2019) qui a porté la capacité à 3,6 millions de tonnes/an et permis d'atteindre les standards Euro V. [1]

1.4 Situation géographique

La raffinerie est située à Sidi Arcine, à 5 km au sud d'El-Harrach et à 20 km du centre d'Alger, sur une superficie de 182 hectares [1]. Sa localisation stratégique permet un approvisionnement efficace en brut (oléoducs, tankers) et une distribution optimale des produits finis vers le marché national et l'exportation.



FIGURE 1.3 – Localisation de la raffinerie

1.5 Procédé de Raffinage de La raffinerie d'Alger

Le procédé de raffinage du pétrole est un ensemble d'opérations physico-chimiques permettant de transformer le pétrole brut en une large gamme de produits finis, tels que les carburants (essence, diesel, kérosène), les lubrifiants, les gaz de pétrole liquéfié (GPL) ou encore les matières premières pour la pétrochimie. Ce processus s'organise en trois grandes étapes : la distillation, la conversion, et le traitement ou amélioration des produits. [2]

1. **La distillation atmosphérique :** La première étape, la distillation atmosphérique, consiste à chauffer le pétrole brut à une température comprise entre 350 et 400 °C dans une colonne de distillation où la température décroît du bas vers le haut. Les hydrocarbures s'y séparent selon leur température d'ébullition : les gaz légers (propane, butane) s'évaporent à moins de 30 °C, les essences légères (naphta) entre 30 °C et 90 °C, le kérosène entre 150 °C et 250 °C, le gazole entre 250 °C et 350 °C, et les résidus lourds au-delà de 350 °C. Ces résidus sont ensuite dirigés vers une distillation sous vide pour extraire d'autres fractions utilisables. Une partie du fuel lourd produit est valorisée en interne comme combustible pour alimenter les

fours et chaudières, ce qui permet d'optimiser les ressources de la raffinerie et de réduire les coûts énergétiques. [2]

2. **La conversion :** La deuxième étape, appelée conversion, permet de transformer les fractions lourdes en produits plus légers et plus utiles. Le craquage catalytique fluide (RFCC) casse les longues chaînes d'hydrocarbures à haute température à l'aide d'un catalyseur pour produire de l'essence et du gazole. L'hydrocraquage utilise de l'hydrogène sous pression pour obtenir des carburants plus propres. Le reformage catalytique transforme le naphta en essence à haut indice d'octane, tout en produisant de l'hydrogène utilisé dans d'autres unités. [2]
3. **Le traitement et l'amélioration des produits :** La troisième étape vise à éliminer les impuretés telles que le soufre, l'azote et les métaux, à travers des procédés comme l'hydrotraitement et la désulfuration, essentiels pour répondre aux normes environnementales strictes. Les produits sont ensuite soumis à un mélange précis (blending) pour obtenir les carburants finaux, auxquels on peut ajouter des additifs ou agents d'éthylation afin d'améliorer leurs performances. Un contrôle qualité rigoureux est réalisé pour s'assurer que tous les produits respectent les normes techniques et environnementales avant leur stockage et distribution. [2, 3]

Ainsi, le raffinage optimise chaque composant du pétrole brut pour fournir des produits variés, performants et conformes aux exigences du marché.

1.6 Importance de la Production de vapeur

La production de vapeur constitue un levier essentiel pour le bon fonctionnement des unités de traitement de la raffinerie d'Alger. Elle intervient dans de nombreuses opérations critiques du procédé de raffinage, telles que la distillation, le stripping, le réchauffage des charges, ou encore le maintien en température des circuits de fluides. La vapeur est produite localement au sein de la raffinerie à partir de chaudières industrielles alimentées principalement par du fioul lourd. Ce combustible, bien que disponible en interne, présente plusieurs contraintes techniques et économiques

majeures. [2]

Le fioul lourd est caractérisé par une viscosité élevée et une teneur importante en carbone, nécessitant des installations spécifiques pour son stockage (bacs avec serpentins de chauffage), son réchauffage, et son transport (tuyauteries isolées et équipées de systèmes de circulation). Sa manipulation implique donc des consommations d'énergie supplémentaires et une maintenance rigoureuse. De plus, sa combustion génère une quantité importante de suie, laquelle se dépose rapidement sur les surfaces d'échange thermique des chaudières. Ce phénomène entraîne une baisse significative du rendement énergétique, une surchauffe des équipements, et, à long terme, une dégradation mécanique (obstruction de tubes, perte d'intégrité thermique, formation d'hernies). Face à ces défis, il est impératif d'adopter des solutions de nettoyage internes régulières et efficaces, en intégrant des systèmes automatisés de ramonage à vapeur pour maintenir une performance énergétique optimale et prolonger la durée de vie des installations.

1.7 Problématique et cahier de charge

La production de vapeur constitue un maillon essentiel du processus de raffinage. Toute interruption des chaudières entraîne inévitablement l'arrêt complet de l'installation, ce qui peut avoir des conséquences économiques et opérationnelles majeures.

À la raffinerie d'Alger, les chaudières sont alimentées soit par du fioul lourd, soit par du gaz de procédé, tous deux générés au cours des opérations de raffinage. En raison du design spécifique des fours et des chaudières, ainsi que de la disponibilité et du pouvoir calorifique du fioul lourd, ce dernier est utilisé comme combustible principal. Cependant, ses conditions particulières de stockage et de transport impliquent des contraintes techniques et des coûts supplémentaires.

La raffinerie produit environ 216 tonnes de fioul lourd par jour, destinées à la combustion, avec une capacité totale de stockage d'environ 10 000 m³, assurant une autonomie de 45 jours dans des conditions normales d'exploitation. Les deux bacs dédiés au stockage sont équipés de serpentins de chauffage à vapeur, d'une conduite d'aération atmosphérique et d'un agitateur à hélices pour

garantir la fluidité et l'homogénéité du produit stocké. Le système comprend également des pompes de circulation et des filtres à fioul pour alimenter les utilités et les unités de production, tandis qu'un réchauffeur de fioul est installé en aval des pompes afin d'ajuster la température et atteindre la viscosité requise à l'entrée des brûleurs des chaudières et des fours.

Sans ces dispositifs de maintien en température, la viscosité du fioul lourd augmente sensiblement sous l'effet de la température ambiante, rendant son transport difficile dans les tuyauteries, voire provoquant leur obstruction. Sa commercialisation externe étant limitée, seule une partie est expédiée vers d'autres raffineries disposant d'unités de production de bitume. Il devient donc impératif de consommer en interne le fioul lourd produit, sous peine de dépasser la capacité de stockage.

Toutefois, la combustion du fioul lourd, du fait de sa forte teneur en carbone, génère des dépôts importants de suie sur les surfaces d'échange thermique. Cette accumulation réduit l'efficacité énergétique des chaudières et peut, à terme, entraîner leur dégradation mécanique, notamment par la formation d'hernies dans les tubes.

Un nettoyage régulier des surfaces internes s'impose. Celui-ci est réalisé à l'aide de souffleurs de suie, déjà installés sur site mais non encore exploités de manière automatique.

L'objectif de ce projet est donc de développer une solution d'automatisation et de supervision du fonctionnement des souffleurs de suie. Le cycle de nettoyage devra cibler successivement les surfaces de chauffage du surchauffeur, la batterie de tubes d'évaporation et la conduite de l'économiseur, en injectant de la vapeur à moyenne pression, tout en veillant à préserver le rendement énergétique global des chaudières.

Les armoires de contrôle, ainsi que les équipements nécessaires, sont déjà disponibles sur site ; il reste à configurer et à programmer les automates afin d'assurer un fonctionnement automatique, fiable et optimisé du système de ramonage.

Le chapitre suivant est consacré à la présentation technique de la solution d'automatisation du ramonage, incluant la description des équipements, les séquences de fonctionnement, ainsi que les modalités d'optimisation mises en œuvre.

Chapitre 2 :
Système de ramonage des chaudières

Dans une raffinerie telle que celle de Sonatrach à Alger, la production continue de vapeur constitue un élément vital pour assurer le bon déroulement des procédés de traitement et de transformation du pétrole brut. Les chaudières à vapeur utilisées dans cette raffinerie fonctionnent principalement au fioul lourd, un combustible à fort pouvoir calorifique mais qui engendre une quantité importante de suie lors de sa combustion. Cette suie, en se déposant sur les surfaces d'échange thermique telles que les surchauffeurs, les économiseurs ou les tubes d'évaporation, nuit considérablement à l'efficacité énergétique de l'installation. Elle agit comme un isolant thermique, réduisant les transferts de chaleur, augmentant la consommation de combustible et risquant, à terme, de provoquer des dégradations mécaniques. [2]

le ramonage s'impose comme une opération de maintenance cruciale. Ce nettoyage périodique des surfaces internes permet de restaurer le rendement thermique des chaudières, d'assurer leur fiabilité et d'éviter des arrêts non planifiés. Jusqu'à présent, ces opérations de soufflage de suie étaient réalisées manuellement, entraînant des pertes de temps, une dépendance à l'intervention humaine, et des risques d'erreurs.

L'objectif de ce chapitre est de présenter en détail le système de ramonage automatisé mis en place dans la raffinerie d'Alger. Nous étudierons la configuration des équipements, le rôle des souffleurs de suie, ainsi que les différentes séquences de fonctionnement (manuel, automatique), en mettant l'accent sur l'architecture de commande pilotée par automate Siemens S7-300. Cette automatisation vise à améliorer la performance énergétique des chaudières tout en assurant une sécurité et une fiabilité accrues du processus.

2.1 La chaudière

La raffinerie d'Alger est équipée de deux chaudières à vapeur identiques de type TITAN M, fabriquées par MACCHI (références 751-G-001A et 751-G-001B) (Figure 2.1). Ces chaudières à tubes d'eau, à circulation naturelle, assurent une production continue de vapeur pour répondre aux besoins énergétiques des différentes unités industrielles. [4]

Chaque chaudière fonctionne sous pression positive les gaz issus de la combustion traversent le four, puis passent dans les batteries de tubes d'évaporation. L'ensemble est entièrement automatisé grâce à un système de contrôle-commande et un système de gestion des brûleurs (Burner Management System, BMS), assurant une supervision efficace de l'exploitation.



FIGURE 2.1 – La chaudière

Caractéristiques principales des chaudières (tableau 2.1) :

Caractéristiques	Valeurs
Capacité de production de vapeur	81 500 kg/h
Température de la vapeur (B/L)	405 °C
Pression de la vapeur (B/L)	36 kg/cm ² g
Nombre de brûleurs	4
Combustibles utilisés	Gaz naturel / Fioul
Combustible pilote	Gaz naturel

TABEAU 2.1 – Caractéristiques techniques des deux chaudières

Chaque chaudière (Figure 2.2) comprend les équipements suivants :

- **Ballons** : Deux ballons, un pour la vapeur et un pour l'eau, assurant la séparation des phases et la stabilisation du niveau

- **Équipements de combustion :** Quatre brûleurs frontaux à faibles émissions de NO_x, capables de fonctionner soit au gaz de procédé, soit au fioul, soit en mode bi-combustible (mélange gaz/fioul), sous réserve de conditions optimales de pression, de température et de composition.
- **Batterie de tubes d'évaporation :** Ensemble de tubes reliant les ballons, placé dans la chambre principale pour assurer l'évaporation de l'eau.
- **Surchauffeur :** Il sert à rendre la vapeur sèche en éliminant les petites gouttes d'eau qui se trouvent dans la vapeur à la sortie du ballon de vapeur
- **Économiseur :** Il récupère la chaleur des gaz chauds sortant de la chaudière pour réchauffer l'eau d'alimentation, ce qui améliore le rendement.
- **Châssis mobile de pompage du fioul :** Un système commun aux deux chaudières pompe le fioul pour alimenter le brûleur. Les pompes peuvent fournir jusqu'à 100 % du débit nécessaire en fonctionnement normal.
- **Ventilateur :** La chaudière possède un ventilateur centrifuge qui apporte l'air nécessaire à la combustion des brûleurs.
- **Souffleurs de suie :** La vapeur haute pression est utilisée pour nettoyer les surfaces de chauffe du surchauffeur, des tubes d'évaporation et de l'économiseur grâce à des souffleurs de suie.
- **Analyseurs en ligne :** Des capteurs mesurent en continu les gaz d'émission (O₂, SO₂, NO_x, CO) dans le dispositif de surveillance des émissions.

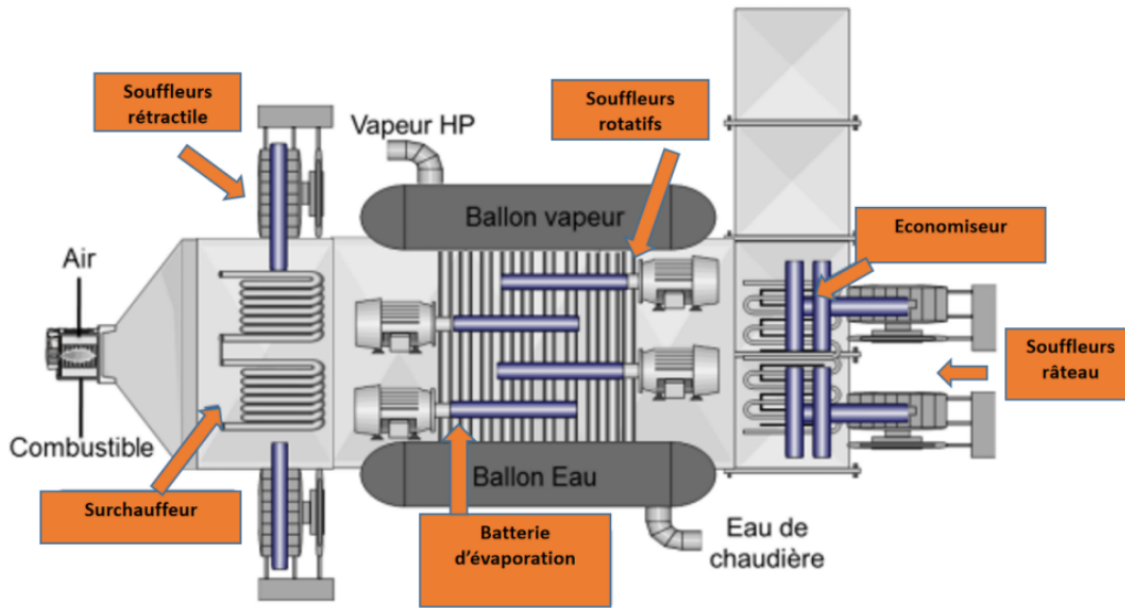


FIGURE 2.2 – Principaux éléments de la chaudière

2.2 Le ramonage

Le ramonage est un procédé de nettoyage indispensable pour maintenir l'efficacité des chaudières, des systèmes de chauffage et des installations de combustion. Il consiste à éliminer les dépôts de suie et de cendres qui se forment lors de la combustion des combustibles. Si ces résidus ne sont pas régulièrement retirés, ils réduisent l'efficacité thermique de l'équipement et peuvent provoquer des pannes ou des risques de défaillance.

Ce nettoyage est particulièrement crucial pour les chaudières fonctionnant au fioul ou au charbon, dont les combustibles contiennent entre 10 et 12 % de cendres. Environ 85 % de ces cendres sont évacuées par les fumées, tandis que les 15 % restants se déposent dans le foyer sous forme de mâchefers, qui ne posent pas de problème s'ils sont correctement éliminés. En revanche, les dépôts de suie sur les parois du foyer, des surchauffeurs et des réchauffeurs d'air rotatifs doivent être nettoyés régulièrement afin d'éviter une baisse des performances.

Le ramonage s'effectue généralement par l'action mécanique d'un jet de fluide sous pression, à l'aide de dispositifs tels que les ramoneurs ou souffleurs de suie. Cette opération permet de main-

tenir propres les surfaces de chauffe, garantissant ainsi une combustion optimale et une production de vapeur efficace

2.2.1 Fonctionnement de la séquence de ramonage

Les gaz de combustion produits par les chaudières entraînent l'encrassement progressif des composants essentiels du système, tels que les tubes du surchauffeur, la batterie de tubes d'évaporation, et la conduite de l'économiseur. Pour maintenir une performance optimale, un nettoyage périodique de ces éléments est indispensable.

La séquence de ramonage suit généralement les étapes suivantes :

- Ramonage de la conduite de l'économiseur
- Ramonage des tubes du surchauffeur
- Ramonage de la batterie de tubes d'évaporation
- Ramonage final de la conduite de l'économiseur (répétée pour garantir l'efficacité du nettoyage)

2.3 Les souffleurs de suie

Les souffleurs de suie, également appelés ramoneurs, sont des dispositifs mécaniques utilisés pour éliminer les dépôts de suie et de cendres qui s'accumulent sur les surfaces d'échange thermique à l'intérieur des chaudières. Leur rôle est crucial pour maintenir un rendement thermique optimal, éviter la surconsommation d'énergie, et prolonger la durée de vie des équipements.

Dans la raffinerie d'Alger, chaque chaudière est équipée de huit souffleurs de suie, répartis selon la zone à nettoyer : [4]

- 4 souffleurs rotatifs
- 2 souffleurs rétractables
- 2 souffleurs de type râteau

2.3.1 Souffleurs de suie rotatifs

Les souffleurs rotatifs sont installés au niveau de la batterie de tubes d'évaporation. Chaque dispositif comprend une lance fixe qui pivote à 360° à l'intérieur de la chaudière, permettant de nettoyer les surfaces encrassées afin d'éliminer les dépôts de suie et de cendres. Le mouvement de rotation est assuré par un moteur électrique, et chaque souffleur est équipé d'un capteur de fin de course qui signale la fin du cycle de soufflage.

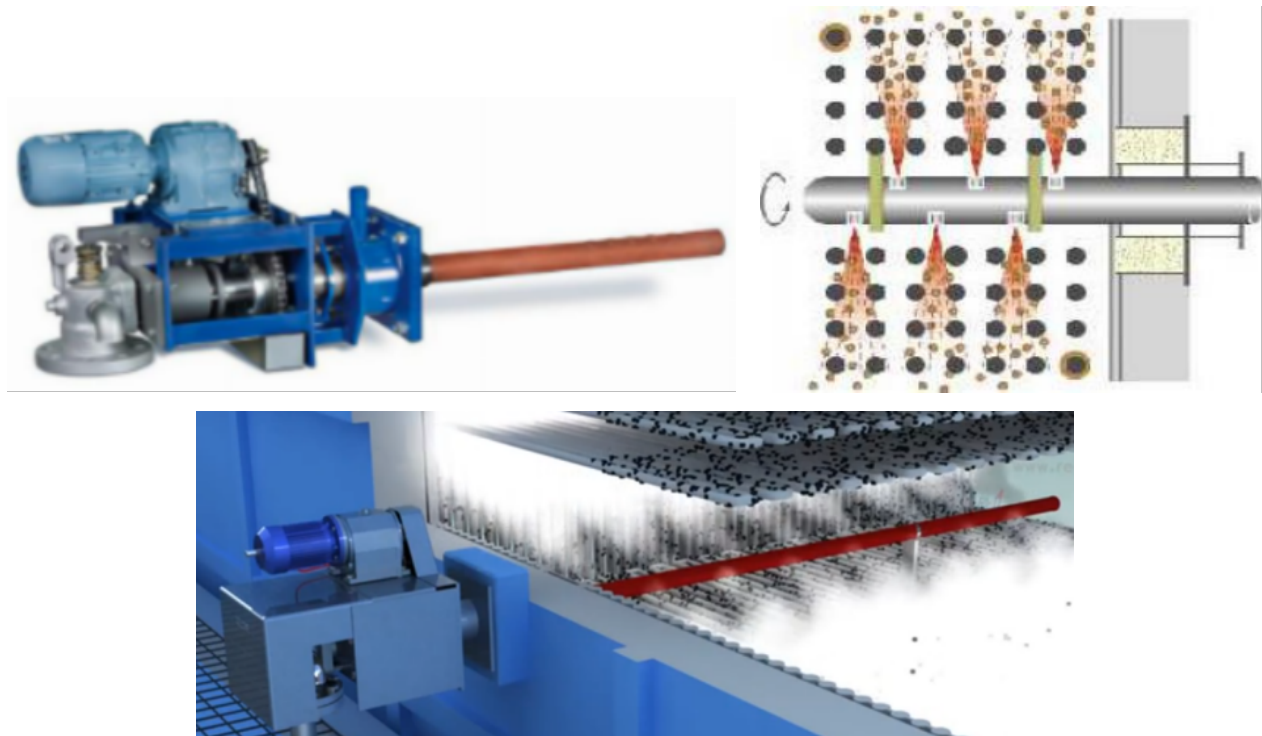


FIGURE 2.3 – Souffleurs de suie rotatifs

2.3.2 Souffleurs de suie rétractables

Situés au niveau des faisceaux du surchauffeur, ces souffleurs sont équipés d'une lance mobile qui s'introduit dans la chaudière pendant le cycle de soufflage, puis se rétracte une fois l'opération terminée. Chaque souffleur est entraîné par un moteur électrique et dispose de deux capteurs de fin de course l'un pour détecter la position rétractée, et l'autre pour indiquer la fin du cycle de soufflage.

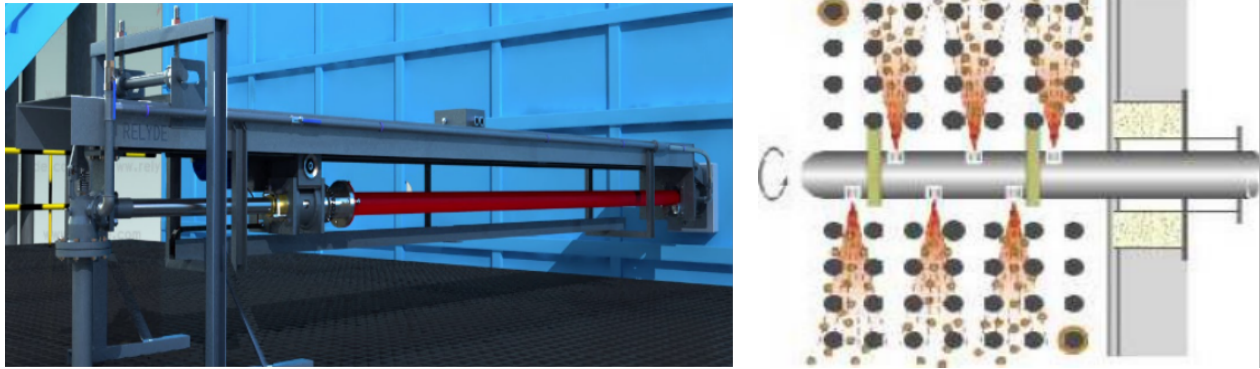


FIGURE 2.4 – Souffleurs de suie rétractables

2.3.3 Souffleurs de suie de type râteau

Ces souffleurs sont montés au niveau de la conduite de l'économiseur. Contrairement aux souffleurs rotatifs, ils fonctionnent avec un mouvement linéaire avant-arrière, basé sur un mécanisme de type crémaillère. Ce déplacement est particulièrement efficace pour nettoyer les surfaces longues ou irrégulières. Chaque souffleur de type râteau est muni de deux capteurs de position un pour confirmer le retrait complet et un autre pour signaler la fin du cycle de nettoyage.

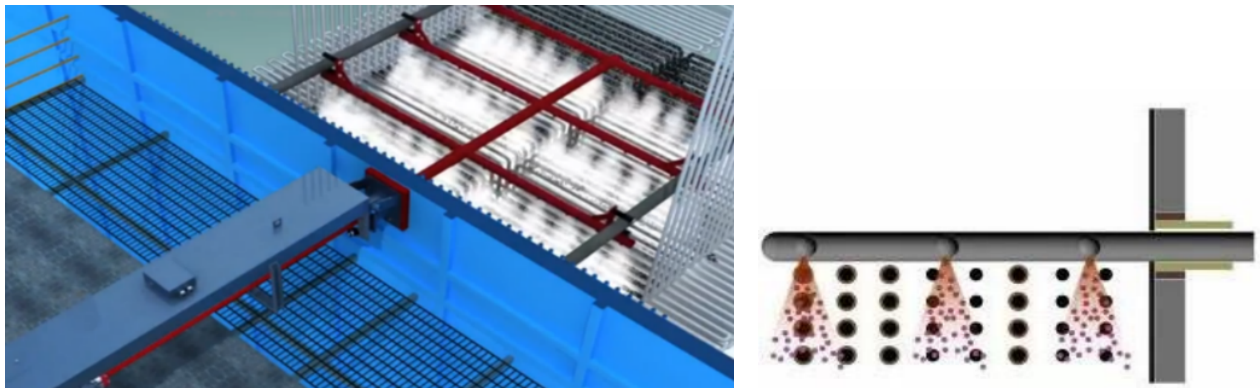


FIGURE 2.5 – Souffleurs de suie râteau

2.3.4 Système de commande et de contrôle des souffleurs de suie

Les souffleurs de suie sont pilotés automatiquement selon des séquences logiques préprogrammées, implémentées dans une armoire dédiée appelée Sootblowers Logic Cabinet (SLC), référencée R41-UCP-0033 [4]. Cette armoire intègre un automate programmable Siemens S7-300, chargé

de commander l'ensemble du système de ramonage en fonction des conditions d'exploitation de la chaudière (temps de cycle, température, pression, etc...). Ce système de commande centralisé interagit avec plusieurs éléments essentiels, notamment :

- le panneau local des ramoneurs (SLP – 751-LP-1001), permettant à l'opérateur de lancer une séquence de soufflage en mode manuel ou automatique, de surveiller l'état des équipements et de réaliser des tests de fonctionnement.
- l'armoire de puissance des ramoneurs (SPC – 751-G-001-A-SW), qui assure l'alimentation électrique des moteurs des souffleurs et commande la vanne motorisée de vapeur (MOV-1020).
- Cette vanne motorisée contrôle l'ouverture et la fermeture de l'alimentation en vapeur vers les souffleurs, garantissant que le soufflage ne démarre que lorsque la vanne est correctement ouverte.
- la vanne pneumatique de purge des condensats (XV-1020), qui permet d'évacuer l'eau condensée dans les conduites avant chaque opération de soufflage, assurant ainsi un jet de vapeur sec et efficace.
- les stations de boutons-poussoirs (SPBS) placées à proximité de chaque souffleur pour les tests manuels.
- les capteurs de fin de course, garantissant une synchronisation sécurisée et efficace des cycles de soufflage.

2.4 Séquence de Ramonage des Souffleurs de Suie

La séquence de ramonage des souffleurs de suie est une opération essentielle pour assurer la propreté et l'efficacité du système. Avant d'entamer ce processus, l'opérateur doit choisir le mode de fonctionnement du ramonage manuel ou automatique [4], ainsi que l'emplacement de démarrage de la séquence, que ce soit localement depuis le panneau de commande (SLP) ou à distance via la station de supervision.

2.4.1 Modes de Fonctionnement

Mode Manuel : Dans ce mode, l'opérateur a la possibilité de contrôler le cycle de ramonage de manière individuelle et flexible, sans suivre une séquence prédéfinie. Ce mode est activé via les commandes de la station de supervision ou du panneau local (SLP), permettant à l'opérateur de lancer les opérations de ramonage à tout moment en fonction des besoins spécifiques.

Mode Automatique : Le mode automatique exécute une séquence de ramonage prédéfinie, selon une procédure régulière et déterminée. Ce mode est celui habituellement utilisé pour garantir le bon fonctionnement continu du système. La séquence peut être lancée soit depuis la station de supervision, soit depuis le panneau local (SLP), et suit une série d'étapes pour maintenir une performance optimale.

Quel que soit le mode de fonctionnement, le soufflage de suie ne doit être réalisé que si la séquence de préchauffage a été menée à bien. [4]

2.5 La séquence de préchauffage

La séquence de préchauffage est une étape automatique indispensable qui précède toute opération de ramonage. Elle permet de préparer les souffleurs de suie et les conduites de vapeur, garantissant ainsi un fonctionnement sûr et efficace du système de ramonage.

Avant de détailler cette séquence, il convient de présenter les principaux TAG utilisés dans le processus.

Le bilan des signaux d'alarmes, d'états et de commandes regroupe l'ensemble des informations échangées entre les capteurs, les actionneurs et l'automate programmable (API).

Bilan des TAG utilisés dans la séquence de préchauffage :

Description	TAG
Chaudière en fonctionnement avec une charge $\geq 40 \%$	US-1064
Alarme pression vapeur MP < 7 bar	PAL-1014
Position de repos	MSC
Vanne de drainage ouverte / fermée (états)	XSC-1020 / XSO-1020
Commande ouverture vanne XY	XY-1020
Défaut électrique (alarme)	MAXE
Ramonage échec (alarme)	UA-1056A / B
Permissive de ramonage (état)	UL-1050A / B
Démarrage / Arrêt ramonage (BP)	HS-1060 A / HS-1061
Arrêt d'urgence ramonage (BP)	HS-1063A
Alarme température préchauffage $> 250^{\circ}\text{C}$	TLH-1020 / 21 / 22 / 23
Préchauffage terminé (voyant d'état)	UL-1052 A/B

TABLEAU 2.2 – Bilan des signaux

Conditions permissives suivantes :

- Chaudière en fonctionnement, avec une charge $\geq 40 \%$ (signal US-1064 activé).
- Vanne motorisée de vapeur moyenne pression (MP) vers les souffleurs fermée (MVSC-1020).
- Pression de la vapeur MP supérieure à 7 bar (PAL-1014).
- Tous les souffleurs de suie configurés en mode « démarrage à distance ».
- Tous les souffleurs en position de repos(signaux MSC activés)
- Vanne pneumatique d'évacuation des condensats fermée (XSC-1020).
- Aucune alarme de défaut électrique présente (signaux MAXE désactivés).
- Aucune alarme d'échec de ramonage active ou non réinitialisée (UA-1056A/B).
- Aucune alarme de fin de temps de déplacement active ou non réinitialisée.

Lorsque toutes ces conditions sont remplies, l'indication « Permissif de ramonage » (UL-1050A/B) s'active, autorisant le démarrage de la séquence de préchauffage.

Déclenchement de la séquence :

Si le sélecteur « Local / Distance » sur le panneau local est en position Local, l'opérateur lance manuellement la séquence en appuyant sur le bouton-poussoir « Démarrage Ramonage » (HS-1060B).

Si le sélecteur est en position Distance, la séquence démarre automatiquement après une temporisation, une fois le permissif actif.

Étapes automatiques de la séquence de préchauffage :

- Ouverture automatique de la vanne pneumatique d'évacuation des condensats (XV-1020).
- Ouverture progressive à 20 % de la vanne motorisée d'arrivée de vapeur MP vers les souffleurs (MOV-1020).
- Attente de 5 minutes ou jusqu'à ce que la température de la conduite vapeur atteigne la température prédéfinie (250 °C) mesurée par les capteurs TLH-1020 ,TLH-1021 ,TLH-1022 ,TLH-1023.
- Ouverture complète (100 %) de la vanne motorisée de vapeur MP (MOV-1020).
- Fermeture automatique de la vanne pneumatique d'évacuation des condensats (XV-1020).
- La séquence est considérée terminée lorsque la vanne d'évacuation des condensats est fermée, signalée par le voyant UL-1052A/B.

ces étapes sont schématisées dans l'organigramme de la (Figure 2.5).

La séquence est arrêtée automatiquement ou manuellement dans les cas suivants :

- Activation du bouton-poussoir « Arrêt des souffles de suie » (HS-1061B) en local.
- Activation du bouton-poussoir « Arrêt d'urgence ramonage » (HS-1063A/B) sur le panneau local (SLP) ou l'armoire de puissance (SPC).
- Charge de la chaudière inférieure à 25 % de la capacité maximale (signal US-1064 désactivé).
- La vanne motorisée de vapeur MP (MOV-1020) ne s'ouvre pas complètement.

- La vanne pneumatique d'évacuation des condensats (XV-1020) ne se ferme pas.

En cas d'arrêt, les actions suivantes sont automatiquement exécutées :

- Fermeture complète des vannes MOV-1020 et XV-1020.
- Activation des alarmes « Échec du préchauffage » (UA-1053A/B) en cas de défaillance détectée.

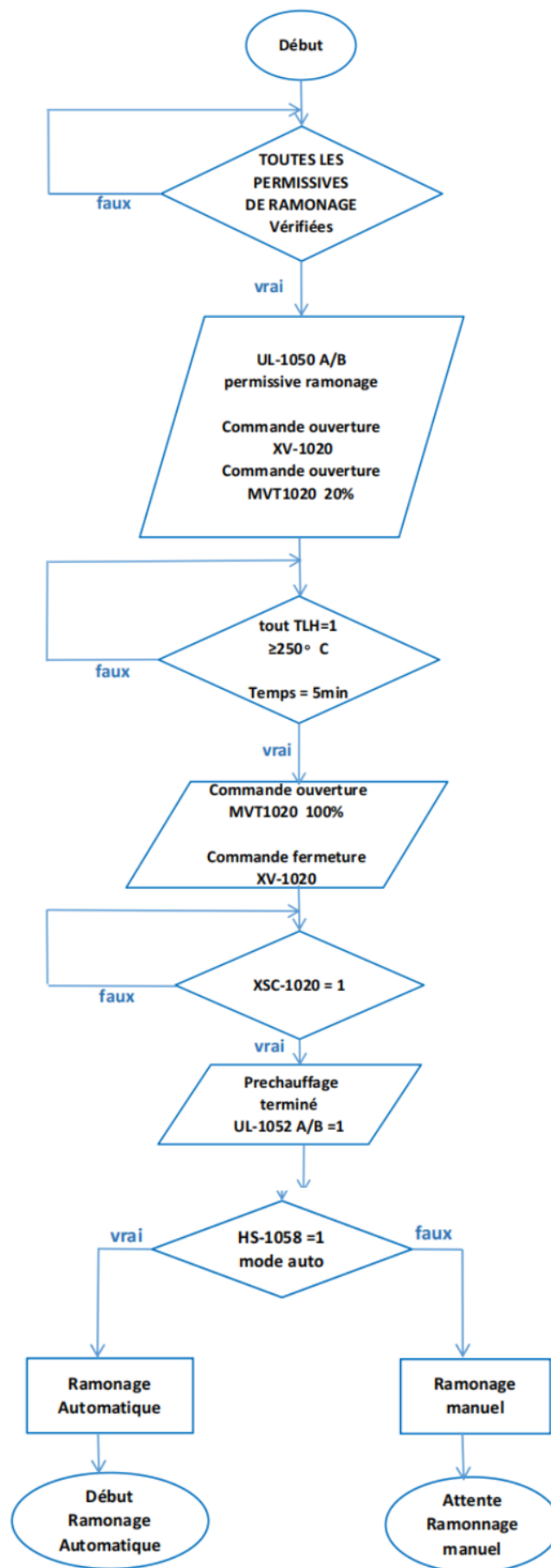


FIGURE 2.6 – Organigramme des étapes de préchauffage

2.6 Séquence de ramonage en mode manuel

La séquence de ramonage en mode manuel nécessite une intervention directe de l'opérateur pour démarrer chaque souffleur. Ce mode offre une grande flexibilité, permettant à l'opérateur de choisir l'ordre et la fréquence de fonctionnement des souffleurs selon les besoins.

Bilan des TAG utilisés dans la séquence de ramonage manuel :

Description	TAG
Sélection de souffleur	HS-1065
Démarrage (BP)	HS-1066
Arrêt(BP)	HS-1067
Bouton d'arrêt d'urgence (BP)	HS-1063A/B
Souffleur en marche (voyant d'état)	MIR-10xxA/B
Ramonage en marche (voyant d'état)	UL-1054A/B
Ramonage fin (voyant d'état)	UL-1055A/B
Vanne motorisée vapeur souffleurs	MOV-1020

TABLEAU 2.3 – Bilan des TAG

- Le commutateur HS-1065 sert à sélectionner le souffleur à mettre en marche.
- Le bouton-poussoir HS-1066 permet de démarrer le souffleur choisi.
- Chaque souffleur démarre indépendamment, sans ordre prédéfini, selon la décision de l'opérateur.
- Le signal MIR-100xA/B indique que le souffleur est en fonctionnement.
- Le souffleur effectue automatiquement son cycle complet, puis s'arrête en position de repos.
- L'opérateur peut arrêter manuellement un souffleur en marche via le bouton-poussoir HS-1067.

Plusieurs cycles successifs peuvent être lancés sur un même souffleur sans limitation.

La séquence manuelle ne peut débuter qu'après la réussite de la séquence de préchauffage, signalée par UL-1052A/B.

L'opérateur commande les souffleurs depuis le panneau local (SLP) ou la station de supervision.

- Depuis la station de supervision, l'opérateur utilise les boutons logiciels « Démarrer » (souffleur rotatif) ou « Avancer » (souffleur rétractable/râteau).
- Depuis le panneau local, l'opérateur sélectionne le souffleur via HS-1065, puis utilise les boutons « Démarrer » ou « Avancer » selon le type de souffleur.
- Le signal UL-1054A/B indique que la séquence est prête, et MIR-10xxxA/B confirme le démarrage.

La séquence s'arrête automatiquement si une condition d'arrêt liée au préchauffage est détectée (arrêt chaudière, alarmes) ou manuellement via HS-1067 ou HS-1063A/B.

En cas d'arrêt, le souffleur revient en position de repos, les vannes MOV-1020 et XV-1020 se ferment, et le voyant UL-1055A/B signale la fin du ramonage.

2.7 Séquence de ramonage en mode Automatique

Dans ce mode, les souffleurs de suie sont activés les uns après les autres selon une séquence prédéfinie et des temps de cycle fixes.

Bilan des TAG utilisés dans la séquence de ramonage Automatique :

Description	TAG
Temps d'attente pour le prochain cycle (voyant d'état)	UL-1070A/B
Démarrage de ramonage (bouton poussoir)	HS-1060B
Souffleur Inclus/Exclu (commutateur)	MXHS-100x
Ramonage mode Auto/Man (commutateur)	HS-1058

TABLEAU 2.4 – Bilan des TAG

Début de séquence :

- La séquence démarre automatiquement après la réussite de la séquence de préchauffage (signaux UL-1052A/B activés).
- Les signaux « Ramonage en marche » (UL-1054A/B) s'allument, indiquant que la séquence est en cours.

Séquence d'activation des souffleurs :

1. Souffleur en râteau 751-G-001-A-X04A
2. Souffleur en râteau 751-G-001-A-X04B
3. Souffleur rétractile SH 751-G-001-A-X02A
4. Souffleur rétractile SH 751-G-001-A-X02B
5. Souffleur rotatif 751-G-001-A-X03A S
6. Souffleur rotatif 751-G-001-A-X03B
7. Souffleur rotatif 751-G-001-A-X03C
8. Souffleur rotatif 751-G-001-A-X03D
9. Souffleur en râteau 751-G-001-A-X04A
10. Souffleur en râteau 751-G-001-A-X04B

Il est possible d'exclure certains souffleurs de la séquence via l'interrupteur « Inclure / Exclure »(MXHS-100x) prévu sur le PLC.

La séquence s'arrête automatiquement après que le dernier souffleur sélectionné a terminé son cycle de soufflage de suie.

Les actions suivantes sont alors exécutées automatiquement :

- Fermeture automatique de la vanne motorisée MOV-1020.
- Activation du voyant « Fin de ramonage »(UL-1055A/B).
- Désactivation du voyant « Ramonage en marche » (UL-1054A/B).

- Activation des signaux « Attente du prochain cycle » (UL-1070A/B) avec temporisation réglée par défaut à 8 heures.

Après expiration du temps d'attente , la séquence redémarre automatiquement si toutes les permissives sont satisfaites.

L'opérateur peut déclencher la séquence automatique avant la fin de la temporisation par le bouton poussoir HS-1060B.

Ces étapes sont schématisées dans l'organigramme de (la figure 2.6).

la séquence s'arrête automatiquement en cas de :

- Détection d'une panne : échec de démarrage d'un souffleur, surcharge moteur, temps de déplacement dépassé.
- Activation d'une condition d'arrêt du préchauffage.

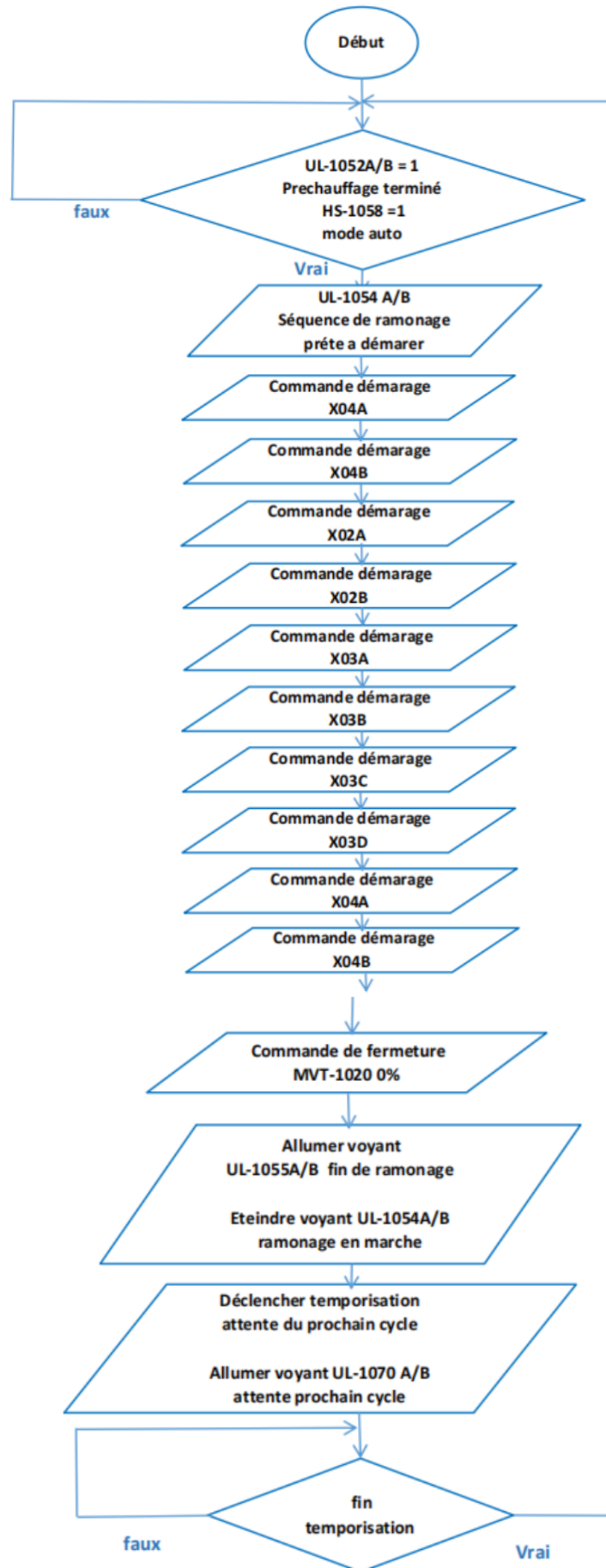


FIGURE 2.7 – Organigramme de la séquence automatique de ramonage

2.8 conclusion

Le système de ramonage des chaudières joue un rôle central dans la performance énergétique et la fiabilité des unités de production de vapeur de la raffinerie d'Alger. L'encrassement progressif des surfaces d'échange thermique, dû à la combustion du fioul ou du gaz, compromet fortement l'efficacité des chaudières et peut engendrer des dysfonctionnements majeurs si un nettoyage régulier n'est pas effectué.

À travers ce chapitre, nous avons mis en lumière l'importance du ramonage comme opération de maintenance préventive incontournable. Nous avons détaillé les différents types de souffleurs de suie utilisés rotatifs, rétractables et râteau, chacun adapté à une zone spécifique de la chaudière, ainsi que leur fonctionnement mécanique et leur intégration dans une architecture de commande automatisée.

L'adoption d'un système automatisé piloté par un automate Siemens S7-300, en coordination avec une série de capteurs, de vannes et d'armoires de commande, permet aujourd'hui d'optimiser les séquences de soufflage, de réduire l'intervention humaine et d'améliorer la sécurité et la régularité des opérations.

Ce chapitre constitue une base essentielle pour comprendre le processus d'automatisation mis en œuvre, qui sera approfondi dans le chapitre suivant à travers l'étude des équipements utilisés pour la mesure, le contrôle et la protection du système de ramonage, notamment les capteurs, les actionneurs, ainsi que les dispositifs assurant la commande et la supervision.

Chapitre 3 :
Instrumentation et Appareillage

Ce chapitre présente les différents équipements utilisés pour la mesure, le contrôle et la protection au sein du système de ramonage, notamment les capteurs, les actionneurs, ainsi que les éléments assurant la commande et la supervision.

3.1 Étude des capteurs

3.1.1 Capteur de pression

Le processus de ramonage des chaudières nécessite de la vapeur à moyenne pression, qui doit être maintenue à une valeur supérieure à 7 bars pour démarrer le cycle. Si cette pression minimale n'est pas atteinte, le démarrage automatique du ramonage est bloqué, garantissant ainsi la sécurité du système.

Pour mesurer et contrôler cette pression, un transducteur-transmetteur à diaphragme Yokogawa, modèle EJX630A, est installé sur chaque chaudière. Cet instrument intelligent mesure la pression manométrique, c'est-à-dire la différence entre la pression du fluide et la pression atmosphérique, avec une précision de $\pm 0,075$ % de son étendue de mesure.[5]

Conçu pour des environnements de travail exigeants, ce capteur supporte des températures allant jusqu'à 260 °C et des pressions maximales de 15,1 kg/cm²g. Il fonctionne avec une alimentation de 24 V DC et transmet un signal analogique 4-20 mA via une connexion à deux fils, compatible avec la communication HART, une norme reconnue pour sa fiabilité, sa résistance aux interférences électriques et sa capacité à transmettre des signaux sur de longues distances.

L'instrument est équipé d'un système d'autodiagnostic, permettant l'envoi d'alertes en cas de défauts. Un manifold à deux voies facilite la vérification et la calibration. Deux transmetteurs sont installés, un sur chaque chaudière, assurant ainsi un contrôle et une sécurité optimaux du cycle de soufflage de suie.



FIGURE 3.1 – Capteurs de pression

3.1.2 Capteur de température

Le cycle de ramonage démarre après une phase de préchauffage, durant laquelle la température des condensats doit atteindre 250°C , seuil nécessaire pour activer la permissive de démarrage. Pour cette mesure, des sondes RTD Pt100 à trois fils sont utilisées, reconnues pour leur précision, fiabilité et large plage de fonctionnement (-100°C à 600°C). [6]

Ces sondes sont connectées à des transmetteurs intelligents Yokogawa YTA110 (Figure 3.2), qui convertissent le signal résistif en un signal analogique 4-20 mA compatible avec la communication HART. Le YTA110 est alimenté en 24 V DC, dispose d'un autodiagnostic et peut envoyer des alertes à l'automate en cas d'anomalie. Huit transmetteurs sont installés (quatre par chaudière), avec un manifold à deux voies pour la calibration et la maintenance.



FIGURE 3.2 – Capteurs de température

Au sein de la raffinerie d'Alger, les chaudières sont actuellement équipées uniquement de thermocouples pour la mesure des températures de l'eau de chaudière et de la vapeur à différents points.

La régulation de la combustion repose sur un taux de production fixe et une température de vapeur de sortie maintenue à 405°C. Cependant, une dégradation de l'échange thermique peut entraîner une augmentation de la combustion sans que la température mesurée dans les conduites des fumées ne reflète cette variation.

Pour pallier cette limitation, il est proposé d'installer un capteur infrarouge sans contact à l'extérieur de la chaudière afin de mesurer la température dans le passage des fumées de combustion. Cette mesure sans contact est essentielle, car les thermocouples en contact ne mesurent que la température de la paroi, généralement inférieure à celle du centre du foyer - la chambre de combustion interne de la chaudière où se produit la flamme et où la température est la plus élevée. De plus, les dépôts de suie isolants peuvent fausser les mesures en isolant les thermocouples.

Le capteur Metis MY45 / MY46 (Figure 3.3) est adapté à cette application. Il mesure la température par détection infrarouge des flammes et des gaz chauds contenant du CO₂, dans une plage allant de 50°C à 2500°C [7]. Le rayonnement infrarouge émis par l'objet à mesurer est focalisé sur un détecteur via une optique d'entrée.

Ce détecteur génère un signal électrique, qui est amplifié et traité numériquement, puis converti en une grandeur proportionnelle à la température. Le signal est affiché ou transmis sous forme d'un signal analogique 4-20 mA.



FIGURE 3.3 – Capteurs Metis MY45 / MY46

Le transmetteur fonctionne sous alimentation 24 V DC, transmet un signal 4-20 mA et communique via le protocole HART. Il intègre un système d'autodiagnostic capable d'envoyer des alertes

d'erreur vers l'automate. Deux transducteurs-transmetteurs sont prévus, un par chaudière, pour assurer une surveillance continue et précise.

Pour obtenir une indication fiable de la chaleur dégagée et estimer les dépôts de suie au point le plus chaud, il est recommandé de positionner le capteur à l'entrée de la chaudière, juste après la chambre de combustion. Deux judas d'observation sont installés à cet emplacement, et le détecteur sera placé au centre de ces judas, permettant ainsi de mesurer la température au cœur des quatre brûleurs (Figure 3.4).

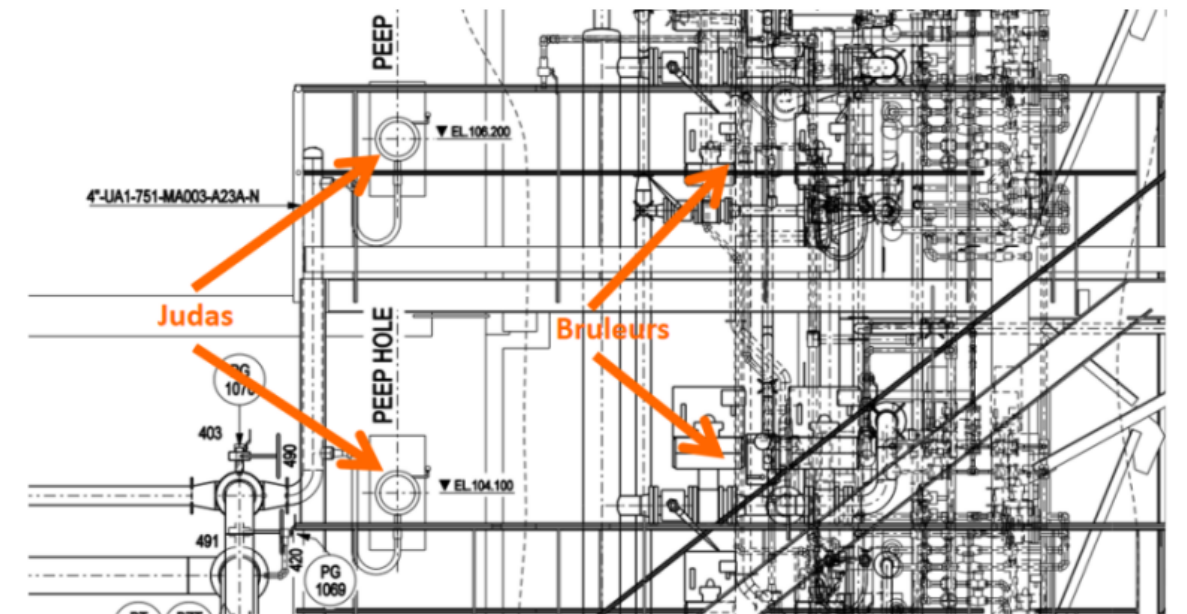


FIGURE 3.4 – Positions des brûleurs et des judas

3.1.3 Détecteurs de position

La supervision des positions des souffleurs de suie (début et fin de course) ainsi que des vannes de vapeur (états ouverts et fermés) est un élément essentiel pour garantir la sécurité et la fiabilité du processus. Cette fonction est assurée par des détecteurs de proximité inductifs sans contact, de type normalement ouvert (NO), modèle NJ6S1+U1+N1 de la marque Pepperl+Fuchs (Figure 3.5).

Ces détecteurs sont spécialement conçus pour les environnements industriels à risques, notamment les zones à atmosphères potentiellement explosives. Ils détectent des objets métalliques à courte distance, avec une portée maximale assurée de 4,86 mm, et fonctionnent sous une tension

d'alimentation de 8,2 V conformément aux recommandations NAMUR. Les caractéristiques limitées de courant et de tension réduisent les risques d'étincelle, renforçant ainsi la sécurité intrinsèque du système. [8]

Les signaux émis par ces capteurs, de type tout ou rien (TOR), sont directement transmis à l'automate de contrôle, ce qui permet de valider ou d'inhiber certaines séquences du cycle de soufflage en fonction des positions détectées.

L'installation comprend au total 34 détecteurs, soit 17 par chaudière, assurant une surveillance précise et continue des mouvements des organes critiques du système.



FIGURE 3.5 – Détecteurs de position

3.2 Étude des actionneurs

3.2.1 Vanne à opercule sphérique motorisée (MOV) et servomoteur

La vanne d'arrivée de vapeur à moyenne pression, utilisée pour le ramonage des chaudières, est une vanne motorisée équipée d'un servomoteur. Lors de la phase de préchauffage, cette vanne s'ouvre à 20 %. Lorsque la température des condensats atteint 250°C, la vanne s'ouvre complètement. À la fin du cycle de ramonage, elle se referme totalement. Le fonctionnement de cette vanne est de type tout ou rien, mais avec trois positions distinctes : 0 %, 20 % et 100 % d'ouverture.

Le servomoteur motorisé permet, via un signal électrique, de faire tourner un moteur réversible qui actionne la vanne dans les deux sens, assurant ainsi une ouverture précise selon les besoins du procédé. Un réducteur est intégré pour diminuer le couple transmis, évitant ainsi que le moteur ne

force sur la crémaillère de la vanne.

Le moteur utilisé est un modèle IQ12F10A de ROTORK (Figure 3.6). Il fonctionne en triphasé sous une tension de 400V AC, avec une puissance nominale de 0,21KW. Le courant nominal est de 1,7A, tandis que le courant de démarrage peut atteindre 5,15A. Ce servomoteur est équipé d'un capteur de position sans contact qui fournit un signal analogique 4-20mA ainsi qu'un signal de diagnostic compatible avec le protocole HART. [9]

La vanne est de type normalement bloquée, ce qui signifie qu'en cas de perte du signal de commande, elle reste dans sa dernière position connue.



FIGURE 3.6 – Vanne motorisée

3.2.2 Vanne TOR à opercule sphérique à servomoteur pneumatique (XV)

Durant l'étape de préchauffage du cycle de ramonage, l'introduction de vapeur à moyenne pression peut entraîner la condensation dans les conduites. La présence de condensat sous forme de gouttelettes d'eau représente un risque important pour l'intégrité des matériaux de la chaudière, en plus de provoquer une baisse du rendement thermique. Pour éviter ce phénomène, une vanne TOR de purge est utilisée afin d'évacuer le condensat durant cette phase critique.

Cette vanne, de type opercule sphérique, reste entièrement ouverte pendant le préchauffage, puis se referme complètement dès que la température du condensat atteint 250°C. Elle est équipée d'un actionneur pneumatique vérin à piston simple effet, modèle GT 143 SE, couplé à une vanne AP50, fournis par Alfa Valvole.

Le principe de fonctionnement repose sur une sphère (boule) dont le diamètre nominal corres-

pond à celui de la tuyauterie. Cette sphère pivote à 90° via une tige mécanique reliée au servomoteur pneumatique. Elle est en contact permanent avec un joint d'étanchéité, garantissant une fermeture hermétique, critère essentiel pour cette application.

Ce type de vanne est normalement fermée, ce qui signifie qu'en l'absence d'alimentation en air comprimé, un ressort de rappel intégré dans le servomoteur la ramène automatiquement en position de sécurité (fermée). Cette fonction de sécurité protège le système en cas de coupure d'air. Le servomoteur à simple effet nécessite une pression d'air minimale de 6,8kg/cm²g pour fonctionner efficacement.

L'utilisation de ce système assure un drainage rapide et sécurisé du condensat, tout en maintenant une température optimale dans la chaudière, contribuant ainsi à la sécurité et à la performance énergétique du processus de ramonage automatisé.



FIGURE 3.7 – vanne TOR

3.2.3 Moteurs des souffleurs de suie

Dans le système de ramonage automatisé des chaudières, trois types de souffleurs de suie sont déployés : rotatif, rétractile et à râteau. Chaque type est spécifiquement choisi en fonction de la configuration et de l'emplacement des tubulures à nettoyer, afin d'optimiser le rendement du nettoyage et de préserver l'efficacité thermique des chaudières.

Malgré la diversité des mécanismes, l'ensemble des souffleurs est motorisé par le même type de moteur : un moteur asynchrone triphasé, reconnu pour sa robustesse, sa simplicité de conception

et sa faible exigence en matière de maintenance. Ces caractéristiques en font un appareil particulièrement fiable, idéal pour les environnements industriels exigeants.

Le système comprend seize moteurs asynchrones triphasés, répartis à raison de huit moteurs par chaudière. Ils sont alimentés en 400 V AC triphasé via une armoire de puissance connectée à la sous-station électrique dédiée (MCC).

Chaque moteur est sélectionné selon la nature et la sollicitation mécanique du souffleur auquel il est associé :

- Souffleur rotatif : moteur de 0,25 kW, courant nominal 0,77 A
- Souffleur à râteau : moteur de 0,37 kW, courant nominal 1,09 A
- Souffleur rétractile : moteur de 0,55 kW, courant nominal 1,55 A



FIGURE 3.8 – moteur asynchrone

Ces moteurs sont commandés automatiquement par l'automate programmable selon les séquences définies dans le cycle de soufflage. Leur démarrage et leur arrêt sont conditionnés par des variables de sécurité, garantissant ainsi une exécution fiable et synchronisée du processus.

Le tableau (3.1) présente un récapitulatif de l'ensemble des actionneurs utilisés dans le système de ramonage, incluant les moteurs et leurs caractéristiques techniques.

Type d'actionneur	Alimentation	Puissance (kW)	Nombre	Mode de démarrage
Moteur (Souffleur rotatif)	400 VAC	0,25	8	Direct
Moteur (Souffleur rétractile)	400 VAC	0,55	4	Direct
Moteur (Souffleur à râteau)	400 VAC	0,37	4	Direct
Vanne motorisée (MOV)	400 VAC	0,21	2	Direct
Vanne TOR à servomoteur pneumatique	24 VDC	—	2	Direct

TABLEAU 3.1 – Bilan des actionneurs

3.3 Barrières galvanique et préactionneurs

3.3.1 Barrières à isolement galvanique

Les instruments déployés dans ce système sont tous compatibles avec les zones classées dangereuses (zones ATEX). Pour garantir la sécurité dans ces environnements à risque, une limitation de l'énergie électrique est assurée par l'utilisation de dispositifs appelés barrières à isolement galvanique.

Ces équipements, installés en zone sûre, permettent de restreindre l'énergie transmise vers la zone explosive, quelle que soit la nature du raccordement effectué en amont. Cela rend l'ensemble de la boucle (capteur + câblage + alimentation) intrinsèquement sûr, à condition que la barrière soit correctement sélectionnée et installée. [10]

Une barrière à isolement galvanique se compose généralement des éléments suivants :

- Transformateurs de sécurité.
- Relais de sécurité intrinsèque.
- Résistances.
- Fusibles.

- Diodes Zener.

Les câbles allant vers la zone dangereuse sont totalement isolés électriquement de ceux situés en zone sûre, ce qui rend inutile la mise à la terre de la barrière elle-même.

Dans le système étudié (figure (3.9)), chaque équipement A situé en zone explosive est alimenté via une barrière B, elle-même commandée par l'automate C.

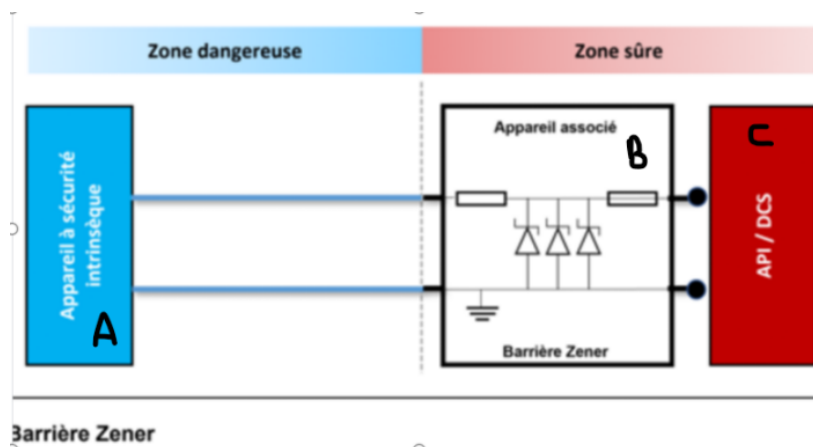


FIGURE 3.9 – Barrière à isolement galvanique

Modules utilisés dans l'installation (Figure 3.10)

MTL4541 : Ce module fournit une alimentation en courant continu flottante pour des transmetteurs analogiques 4-20 mA à 2 ou 3 fils installés en zone ATEX. Il réplique le signal vers un circuit flottant en zone sûre, assurant une lecture fiable par l'automate. Dans le système, six MTL4541 sont installés par chaudière, correspondant à six signaux analogiques.

MTL5511 : Ce module transmet les signaux tout-ou-rien provenant de détecteurs ou interrupteurs situés en zone explosive vers des circuits en zone sûre. Il offre également une fonction de détection de défaut de ligne, permettant d'identifier les courts-circuits ou coupures de câblage. Dix-sept MTL5511 sont utilisés par chaudière, correspondant à dix-sept signaux numériques de position.



FIGURE 3.10 – Barrière a isolement galvanique MTL4541 et MTL5511

3.3.2 Relais [11]

Un relais de puissance est un dispositif électromécanique composé essentiellement d'un électroaimant qui, lorsqu'il est alimenté, actionne un système de commutation électrique appelé contacts. Selon les besoins, l'électroaimant peut être alimenté en très basse tension (12 V, 24 V, 48 V), en courant continu ou alternatif, ou en basse tension (230 V, 400 V).

Le système de commutation peut comporter plusieurs types de contacts :

contacts normalement ouverts (NO), contacts normalement fermés (NF), ou encore des inverseurs (repos-travail, RT), selon la fonction souhaitée. Ces contacts sont conçus pour commuter des courants et des tensions adaptés à la partie puissance du système.

Dans notre application, toutes les sorties de l'automate sont de type numérique et sont connectées à des relais 2DPDT (double pôle double throw) (Figure 3.11). Ces relais à bobine, modèle RT424024 de la marque SCHRACK, sont alimentés en 24 V DC. Pour chaque chaudière, 68 relais sont installés, dont 56 en fonctionnement et 12 en réserve, assurant la commutation sécurisée des signaux de commande.



FIGURE 3.11 – Relais de puissance de type 2DPDT

3.3.3 Contacteurs [12]

Le contacteur est un dispositif électromécanique utilisé pour commander des actionneurs électriques, tels que les moteurs, via une bobine et un ensemble de contacts de puissance appelés pôles. Ces contacts sont capables d'établir, de supporter et de couper des courants de forte intensité. Le contacteur est généralement équipé de contacts auxiliaires (normalement ouverts NO et normalement fermés NF) utilisés pour les fonctions de commande ou de signalisation.

La bobine du contacteur est activée par une tension souvent inférieure à celle utilisée par les pôles, ce qui permet une commande automatique et sécurisée de l'équipement.

Dans le système de ramonage, chaque chaudière est équipée de huit souffleurs, chacun entraîné par un moteur électrique. Ces moteurs sont pilotés à l'aide de contacteurs inverseurs tripolaires (3P), modèle 3RA1315-8XB30-1AF0 de Siemens, couplés à des contacts auxiliaires 3NO/1NC, modèle 3RH1911-1FA31, également de Siemens. Ces équipements sont spécifiquement adaptés pour assurer une commande fiable et sécurisée des moteurs intégrés dans le processus de soufflage de suie.



FIGURE 3.12 – Contact auxiliaire et Contacteur inverseur

3.4 Disjoncteurs de protection

Les disjoncteurs sont des dispositifs de protection essentiels dont le rôle principal est d'interrompre automatiquement le courant électrique en cas de court-circuit ou de surcharge. Ils sont généralement multipolaires, ce qui leur permet de couper simultanément plusieurs phases en cas de

défaut sur l'une d'entre elles.

Dans le système de ramonage, le choix des disjoncteurs est réalisé en fonction du courant nominal de chaque moteur. Ainsi :

- Chaque moteur de souffleur rotatif est protégé par un disjoncteur modèle 3RV2011-0JA15 (0,7 à 1 A).
- Chaque moteur de souffleur rétractile est équipé d'un disjoncteur 3RV2011-1BA15 (1,4 à 2 A).
- Les moteurs des souffleurs à râteau sont protégés par des disjoncteurs 3RV2011-0KA15 (0,9 à 1,25 A).

Ces équipements garantissent une protection adaptée à chaque type de souffleur.



FIGURE 3.13 – Disjoncteurs 0.9/1.25A, 1.4/2A , 0.7/1A

3.5 Bilan Total des capteurs et préactionneurs

Le bilan global des entrées et sorties du système de ramonage permet de distinguer, d'une part, le nombre de capteurs utilisés ainsi que la nature des signaux qu'ils délivrent en entrée, et d'autre part, le nombre d'actionneurs et le type de signaux de commande envoyés en sortie. À noter que les retours d'informations concernant les moteurs sont constitués de signaux numériques transmis depuis la sous-station électrique MCC (tableau 3.2).

Éléments	Nombre	Type	Signal de sortie
Entrées			
Capteurs de température	10	Analogique	4–20 mA
Capteurs de pression	2	Analogique	4–20 mA
Capteurs de position	2	Analogique	4–20 mA
Détecteurs de proximité	28	Numérique	24 V DC
Retours informations moteurs rétractile	28	Numérique	24 V DC
Retours informations moteurs râteau	28	Numérique	24 V DC
Retours informations moteurs rotatif	40	Numérique	24 V DC
Boutons poussoirs	14	Numérique	24 V DC
Retours d'informations divers	16	Numérique	24 V DC
Sorties			
Relais à bobine 2DPDT	112	Numérique	24 V DC / 0,5 A

TABLEAU 3.2 – Bilan des entrées et des sorties

3.6 Architecture matérielle

Cette section détaille les choix effectués concernant les principaux composants matériels, à savoir l'automate programmable industriel, CPU, les modules d'entrées/sorties, l'HMI, et l'alimentation électrique. Ces éléments ont été sélectionnés en tenant compte des critères de performance, de fiabilité, et de compatibilité avec les exigences du système de ramonage des chaudières.

3.6.1 Automate Programmable Industriel

L'automate programmable industriel constitue l'élément central du système de contrôle automatisé. Il est chargé de traiter les informations issues des capteurs, d'exécuter les programmes de contrôle et de commander les actionneurs. Le choix de l'API repose sur sa capacité à gérer des processus industriels complexes et sur sa flexibilité d'intégration.

Dans ce projet, l'API Siemens S7-300 a été retenu pour sa modularité, sa robustesse et sa grande capacité de traitement, permettant une gestion efficace des différentes fonctions d'automatisation. De plus, il offre une compatibilité étendue avec une large gamme de modules d'entrées/sorties déportées et des interfaces de communication adaptées aux réseaux industriels, assurant ainsi une intégration optimale avec l'ensemble des dispositifs du système de ramonage.

3.6.2 Choix du CPU

Le processeur central joue un rôle fondamental dans le système automatisé, étant responsable de l'exécution des programmes de contrôle et de la gestion des échanges d'informations entre les équipements. Le Siemens S7-300 CPU 315-2 PN/DP a été choisi pour ses caractéristiques techniques adaptées aux besoins du projet.

Ce CPU se distingue par ses capacités de traitement élevées, une mémoire de travail de 384 KB, et la présence d'interfaces de communication modernes, notamment PROFINET et MPI/DP.

- L'interface PROFINET permet une communication rapide et fiable avec les équipements de supervision tels que l'HMI ou un système DCS via un réseau Ethernet. Cette interface facilite l'échange de données en temps réel et garantit une intégration fluide dans l'architecture réseau.
- L'interface DP (Decentralized Peripherals), basée sur le protocole PROFIBUS DP, assure la gestion décentralisée des modules d'entrées/sorties via ces interfaces, améliorant ainsi la flexibilité et la fiabilité du système.



FIGURE 3.14 – CPU315-2 PN/DP

3.6.3 Modules d'Entrées/Sorties

Les modules d'entrées/sorties constituent l'interface essentielle entre la partie commande (l'automate) et la partie opérative (capteurs et actionneurs). Ils assurent l'échange d'informations : les capteurs transmettent des données à l'automate via les modules d'entrées, tandis que les actionneurs reçoivent des commandes via les modules de sorties.

Les modules d'E/S peuvent traiter des signaux numériques ou analogiques. Le nombre de voies détermine combien de signaux peuvent être gérés à la fois. Pour garantir une évolution future du système, les modules d'E/S sont placés dans des modules esclaves, permettant ainsi d'ajouter facilement des entrées et sorties supplémentaires.



FIGURE 3.15 – Module d'entrées/sorties

Le détail des entrées et sorties du système est présenté ci-dessous, distinguant les capacités actuelles ainsi que la réserve prévue pour de futurs ajouts de signaux :

- 7 entrées analogiques, réparties sur 1 module, avec une réserve d'1 entrée, représentant 12,5% de capacité supplémentaire
- 77 entrées numériques, réparties sur 3 modules, avec une réserve de 19 entrées, soit 20%.
- 56 sorties numériques, réparties sur 2 modules, avec une réserve de 8 sorties, soit 15%.

(Le tableau 3.3) présente l'ensemble des modules d'automatisation utilisés dans le système de ramonage. Il indique pour chaque module son type, le nombre de voies disponibles, ainsi que sa référence constructeur.

Module	Type	Nombre	Référence
CPU 315-2 PN/DP	CPU	2	6ES7 315-2EH14-0AB0
IM153-1	Interface PROFIBUS	2	6ES7 153-1AA03-0XB0
CP 343	Interface Ethernet	2	6GK 7343-1CX10-0XE0
AI8x12Bit	Analogique	2	6ES7 331-7KF02-0AB0
DI32xDC24V	Numérique	6	6ES7 321-1BL00-0AA0
DO32xDC24V/0.5A	Numérique	4	6ES7 322-1BL00-0AA0

TABLEAU 3.3 – Liste des modules d'automatisation du système de ramonage

3.6.4 Interface Homme-Machine

Dans l'architecture initiale du système de ramonage, aucun dispositif de supervision locale n'avait été prévu. Toutefois, afin d'améliorer le suivi opérationnel et de permettre un contrôle direct depuis la salle de commande locale, l'ajout d'un HMI s'est avéré nécessaire. Cette interface permet aux opérateurs de visualiser en temps réel l'état du processus, de recevoir les alarmes et d'intervenir manuellement si besoin, grâce à une interaction intuitive via un écran tactile.

Le choix s'est naturellement porté sur un SIMATIC HMI IPC577C de Siemens, disponible en stock chez le client. Ce terminal industriel, doté d'un écran tactile de 19 pouces haute résolution,

offre une excellente lisibilité des données et une ergonomie parfaitement adaptée aux environnements industriels.

L'intégration de cet HMI assure ainsi une supervision locale efficace du système de ramonage, tout en renforçant l'autonomie et la réactivité des équipes d'exploitation.

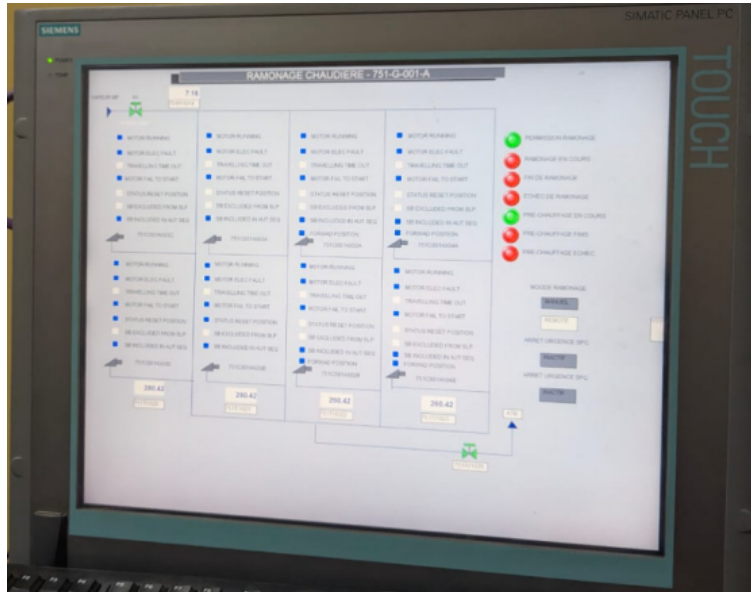


FIGURE 3.16 – SIMATIC HMI IPC577C

3.6.5 Alimentation

Dans une architecture d'automatisme, le choix de l'alimentation revêt une importance capitale. Elle constitue la source d'énergie principale pour tous les composants du système, et sa sélection doit impérativement tenir compte des exigences en termes de tension, de courant, ainsi que des marges de sécurité pour garantir la fiabilité et la continuité de fonctionnement du processus automatisé.

Dans le système de ramonage, il a été décidé d'opter pour une alimentation industrielle de type QUINT-PS/1AC/24DC/20 de la marque PHOENIX CONTACT. Ce modèle fournit une tension de 24 V DC avec un courant nominal de 20 A.

Ce choix s'appuie sur plusieurs considérations techniques :

- Une capacité de courant largement suffisante pour alimenter l'ensemble des modules de l'ar-

chitecture, même en fonctionnement simultané à pleine charge.

- Une haute disponibilité, assurée par des fonctionnalités avancées de surveillance préventive, permettant de détecter les états de fonctionnement critiques avant l'apparition de pannes.
- Une stabilité remarquable de la tension de sortie, même en présence de variations de charge transitoires.



FIGURE 3.17 – Alimentation QUINT-PS-1AC/24DC/20

Afin de dimensionner correctement l'alimentation, un bilan énergétique détaillé a été établi. Ce bilan repose sur les fiches techniques des modules composant l'architecture d'automatisme.

Le tableau ci-dessous présente la consommation en courant nominale et maximale sans charge de chaque module :

Module	Référence	Nombre	Consommation nominale (A)	Consommation maximale (A)
CPU 315-2 PN/DP	6ES7 315-2EH14-0AB0	1	0.75	4.00
IM153-1	6ES7 153-1AA03-0XB0	1	0.35	0.35
CP 343	6GK7343-1CX10-0XE0	1	0.16	0.20
AI 8x12 Bit	6ES7 331-7KF02-0AB0	1	0.03	0.05
DI 32xDC24V	6ES7 321-1BL00-0AA0	3	0.015	0.015
DO 32xDC24V/0.5A	6ES7 322-1BL00-0AA0	2	0.11	0.16
SIMATIC HMI IPC577C 19"	6AV7885-0AB20-2AA0	1	0.72	3.33
Total			2.135 A	8.105 A

TABLEAU 3.4 – Bilan de consommation électrique des modules d'automatisation

Ce dimensionnement confirme que l'alimentation sélectionnée est parfaitement adaptée, offrant non seulement une puissance suffisante mais également une marge de sécurité confortable pour prévenir toute défaillance en cas de surcharge ou de future extension du système.

Chapitre 4 :
Réalisation, Programmation et Supervision
du Système de Ramonage

Le processus exposé au chapitre 2 a été traduit en une solution technique automatisée, conçue pour répondre aux exigences fonctionnelles définies dans le cahier des charges. Cette solution repose sur une architecture d'automatisme capable non seulement d'assurer le contrôle séquentiel du ramonage, mais aussi de garantir une communication fluide avec le centre de commande électrique des moteurs (MCC) ainsi qu'avec le système de contrôle-commande centralisé (SNCC) via une liaison Ethernet.

Chaque chaudière est équipée de son propre système de ramonage, intégrant un automate programmable dédié et un module d'entrées/sorties déporté, installés dans une armoire commune. Cette configuration offre une modularité avantageuse, permettant des extensions futures sans modifications majeures de l'infrastructure existante.

Actuellement, aucune interface homme-machine (HMI) n'est installée. Toutefois, l'architecture prévoit l'intégration d'un dispositif de supervision local au niveau de la même armoire, connecté à l'automate via un réseau Profibus, comme illustré sur la figure (4.1)

La gestion des sorties numériques est assurée par des relais intermédiaires, tandis que les entrées analogiques sont traitées via des signaux en boucle 4–20 mA, sécurisés par des barrières à isolement galvanique afin de garantir la protection en zone ATEX.

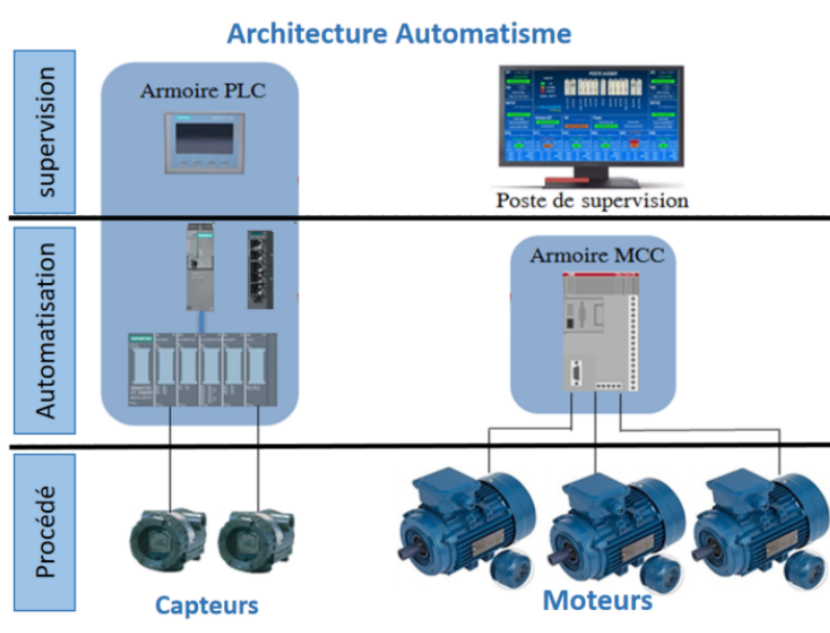


FIGURE 4.1 – Architecture du système de ramonage

Dans ce chapitre, nous présenterons successivement la logique de programmation adoptée pour l'automate Siemens S7-300, la conception de l'interface opérateur avec WinCC Flexible, l'intégration au système de supervision DCS.

4.1 Programmation de l'automate

Après les études fonctionnelle et matérielle présentées respectivement aux chapitres 2 et 3 ,comprenant l'analyse des besoins, l'identification des signaux d'entrée/sortie, les conditions de fonctionnement, ainsi que le choix des équipements, l'architecture matérielle et les modules d'automatisme ,la phase suivante consiste à développer le programme automate.

Ce développement a été réalisé à l'aide du logiciel Step7 version 5.6 de Siemens (figure 4.2), qui permet non seulement la programmation des automates de la gamme S7-300, mais aussi la configuration du matériel, la mise en réseau, la simulation et le diagnostic du système. Cette étape constitue le cœur du processus d'automatisation, traduisant les exigences fonctionnelles en une logique de commande structurée, robuste et évolutive.

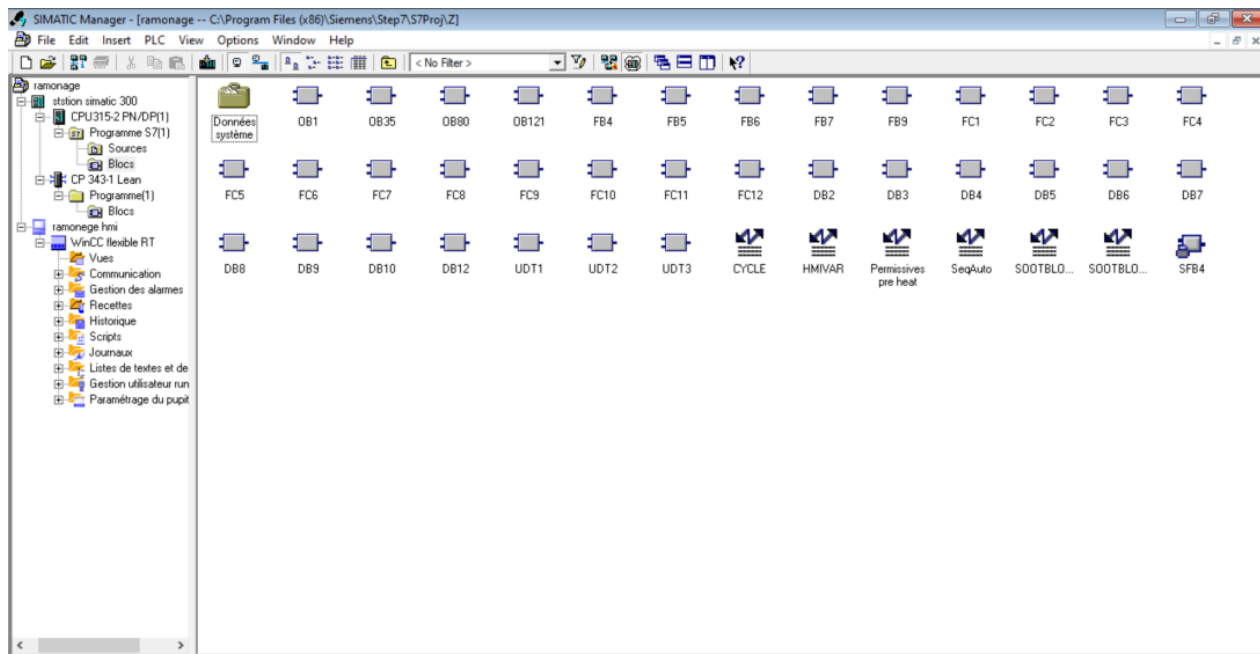


FIGURE 4.2 – Projet RAMONAGE sur le logiciel Step7 5.6

4.1.1 Configuration matérielle

La configuration matérielle permet de paramétrer l'API, le module déporté avec les modules d'entrées/sorties présentés dans le tableau (3.3), ainsi que l'HMI de supervision, puis de les connecter en réseau via un protocole de communication spécifique, tel que Profibus ou Ethernet.

La figure (4.3) illustre successivement la configuration matérielle de l'API S7-315-2 PN/DP, du module d'entrées/sorties déporté IM153-1, de l'HMI de supervision, ainsi que leur interconnexion réseau.

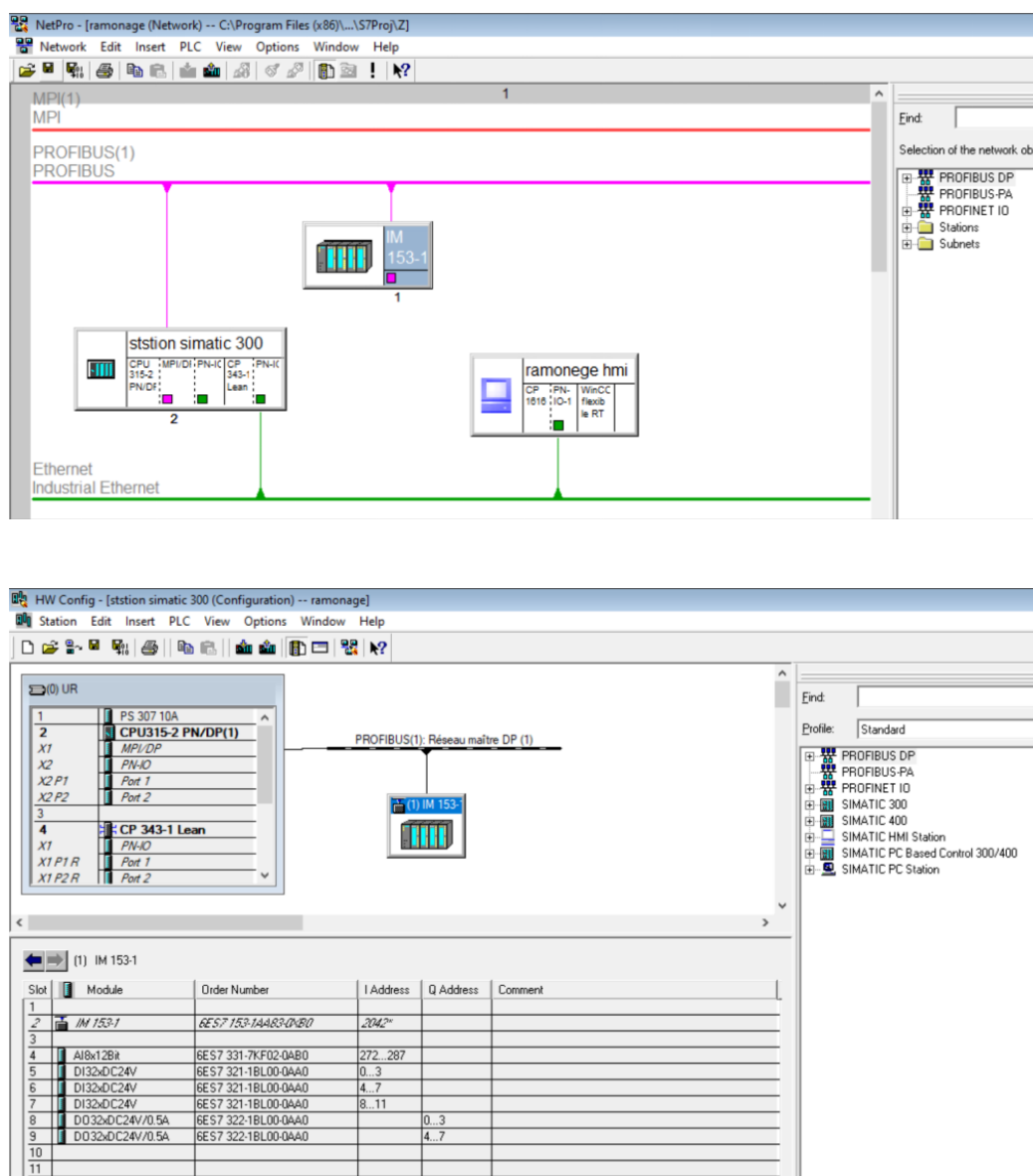


FIGURE 4.3 – Configuration matérielle et du réseau de la station de contrôle de ramonage

4.1.2 Structure du programme

La programmation est réalisée principalement en langage CONT (langage âcontacts ou LADDER), reconnu pour sa simplicité de lecture et sa ressemblance avec les schémas électriques classiques. Ce choix facilite l'appropriation du programme par les techniciens de maintenance et garantit une maintenance plus aisée en environnement industriel.

Le programme est structuré de manière modulaire et hiérarchique :

- Un programme principal (OB1) orchestre l'appel aux différents sous-programmes.

- Plusieurs blocs fonctionnels (FC) ont été développés, chacun correspondant à une tâche précise du système :

- **FC1 à FC8** : gestion individuelle de chaque souffleur de suie (rotatif, rétractable ou râteau).
- **FC10** : gestion centralisée des entrées/sorties du système.
- **FC11** : paramétrage et pilotage des différents modes (manuel, automatique).
- **FC12** : échange de données avec l'interface HMI.

- D'autres blocs supplémentaires ont été utilisés pour le traitement des alarmes, la gestion des temporisations, la lecture des entrées analogiques (pression, température), et la génération des signaux d'erreur ou d'état.

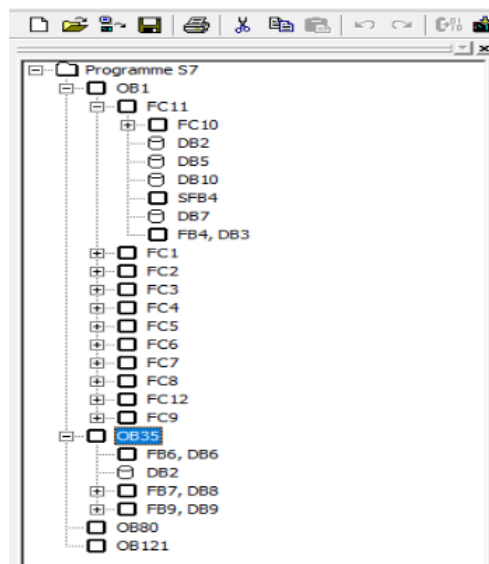


FIGURE 4.4 – Structure du programme

4.1.3 Blocs organisationnels (OB)

Plusieurs blocs organisationnels standards de Siemens sont utilisés :

- **OB1** : exécution principale du programme.
- **OB35** : lecture cyclique des entrées analogiques (pression, température vapeur).
- **OB80** : gestion des erreurs de temporisation (ex : dépassement de temps de cycle d'un souffleur).
- **OB121** : traitement des erreurs systèmes ou matérielles (interruption de communication, absence de périphérique...).

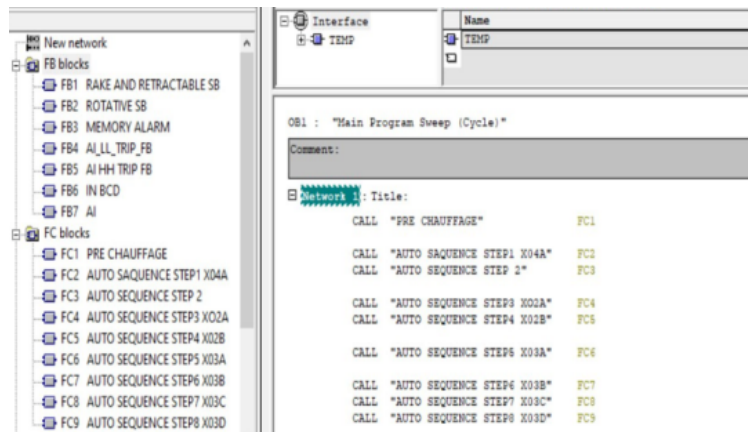


FIGURE 4.5 – Architecture du système de ramonage

4.1.4 Logique de fonctionnement

Le fonctionnement des souffleurs dépend du mode de commande sélectionné :

- En mode manuel, chaque souffleur peut être activé individuellement via le panneau local ou l'HMI, pour des opérations ponctuelles ou de maintenance.
- En mode automatique, les souffleurs sont activés en séquence, dans un ordre prédéfini, avec vérification des états (position, fin de course, défaut moteur).

Chaque FC lié à un souffleur assure également la surveillance des défauts de fonctionnement : surcharge moteur, échec de démarrage, dépassement de temps, absence de retour de position.

4.1.5 Simulation du programme

Avant tout déploiement sur site, le programme a été testé et simulé à l'aide de l'outil S7-PLCSIM (figure 4.4). Ce simulateur permet de vérifier la logique de fonctionnement, les transitions d'états, l'interaction entre les blocs et la communication avec l'IHM, en reproduisant les signaux d'entrée et les réponses du système.

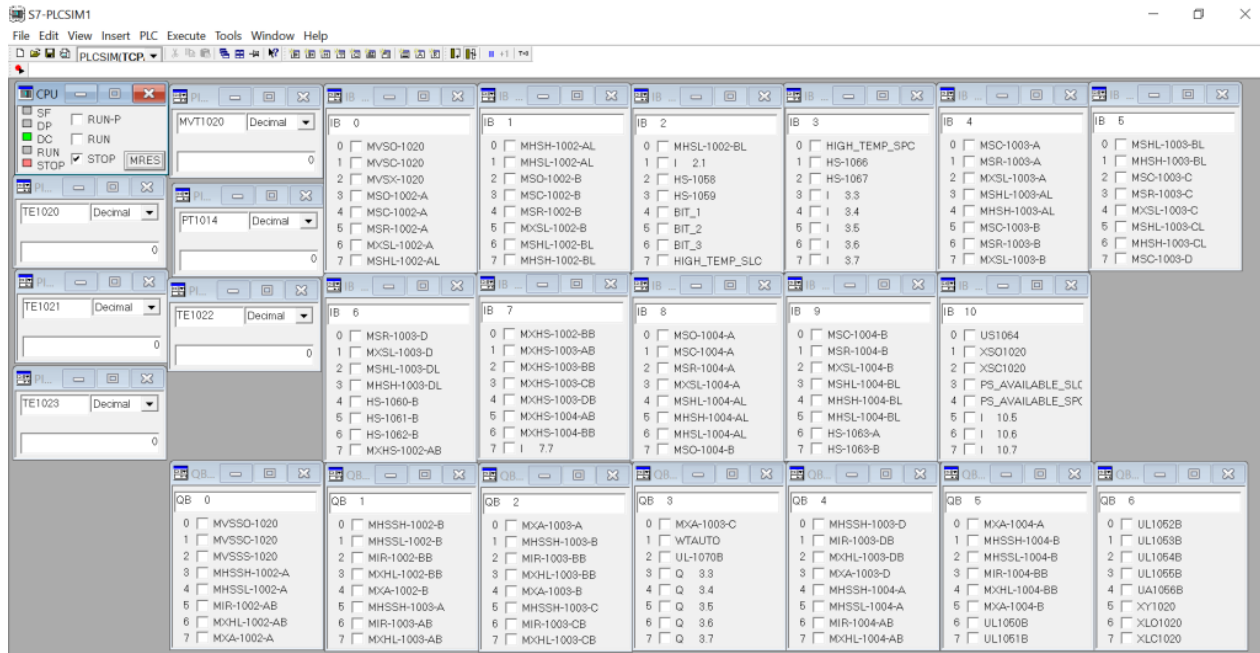
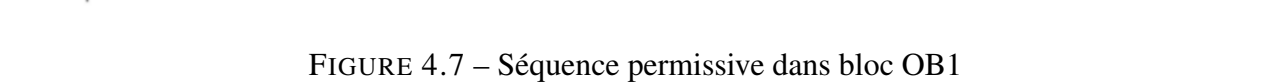


FIGURE 4.6 – Simulation des séquences du programme par S7-PLCSIM

Exemple de Simulation de Bloc OB1 :

Dans notre programme, nous avons choisi d'illustrer la séquence FC1, relative au fonctionnement du séquence permissive.



DOI: 10.1002/anie.201100011

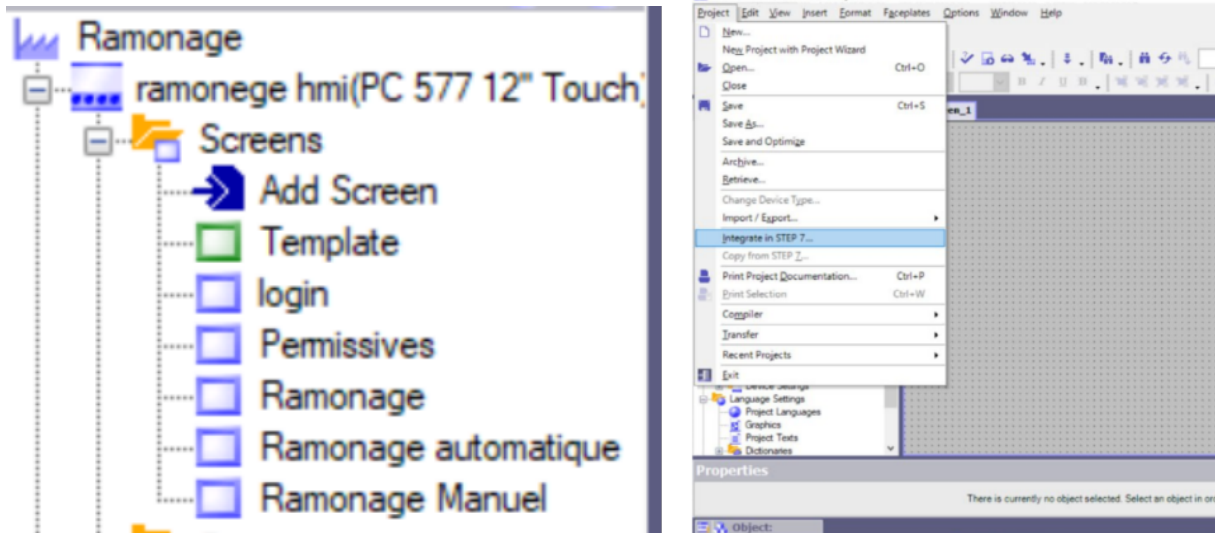


FIGURE 4.8 – Intégration de l’interface dans le projet

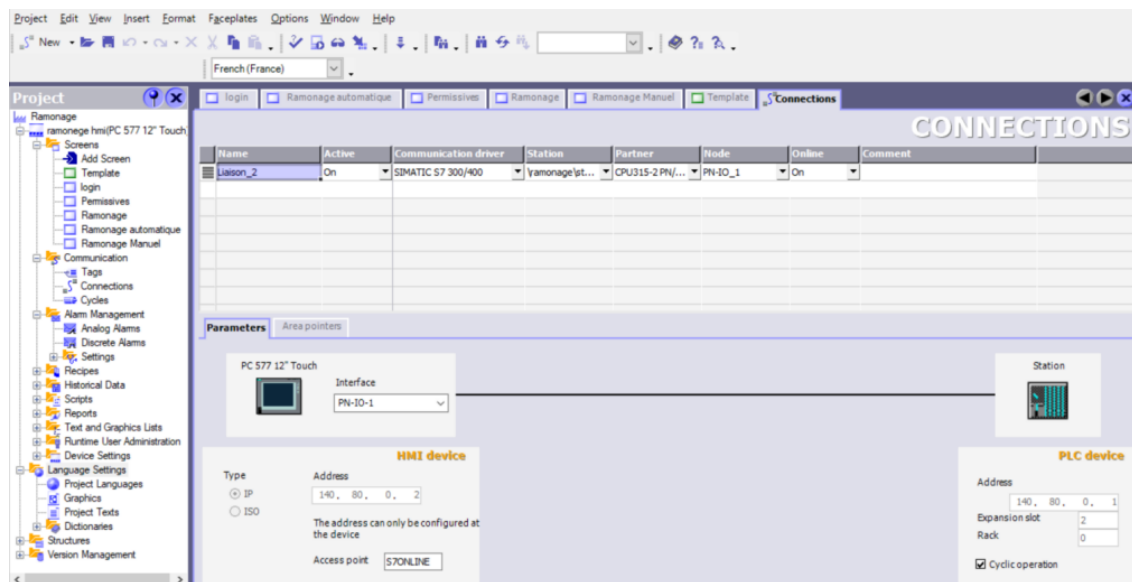


FIGURE 4.9 – Liaison avec la station de contrôle

4.2.2 Structure de l’interface de supervision

L’interface se compose de plusieurs vues accessibles depuis un écran d’accueil sécurisé par authentification. L’utilisateur doit saisir son identifiant et son mot de passe pour accéder aux fonctions de contrôle, selon son niveau d’autorisation.

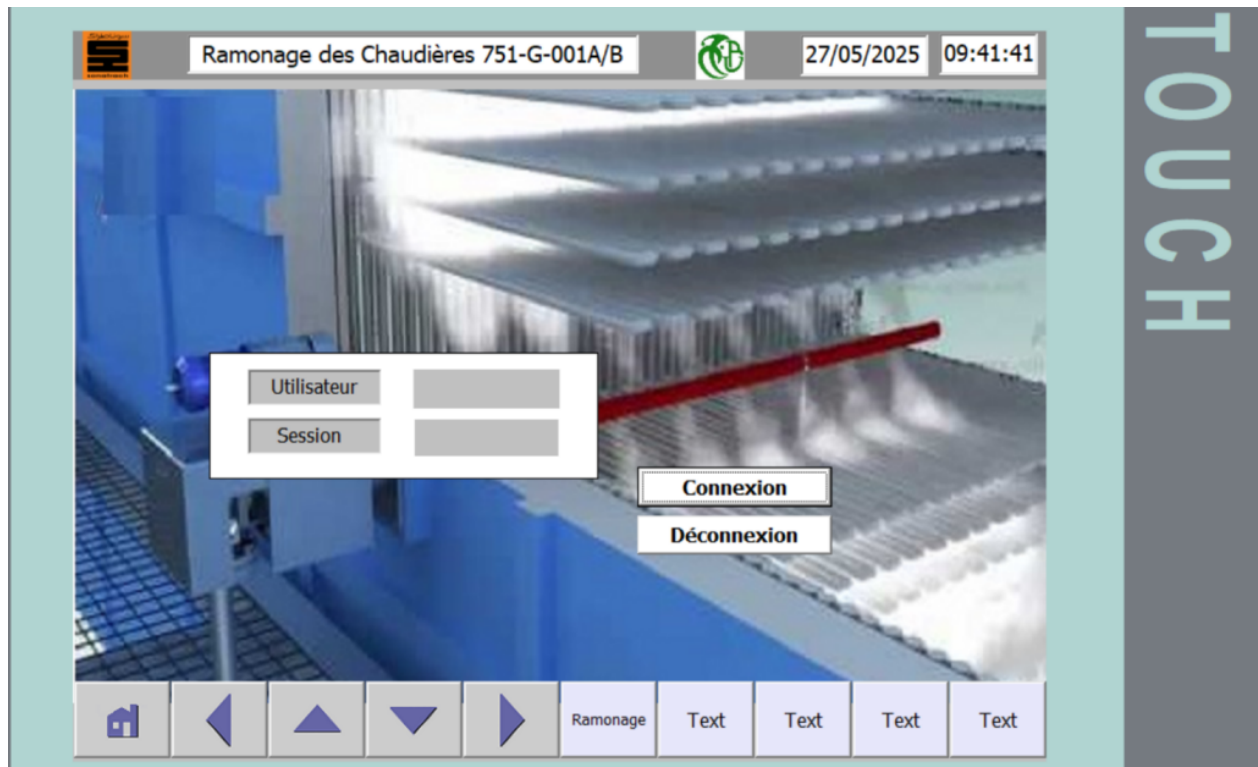


FIGURE 4.10 – Vue de connexion

Les vues principales de l'IHM sont les suivantes :

Vue d'ensemble (RAMONAGE) : Cette interface constitue le point d'entrée principal vers les différentes fonctions de contrôle du système de ramonage. Elle permet à l'opérateur de sélectionner le mode de fonctionnement du processus parmi le mode automatique, manuel, ou l'accès aux conditions de démarrage et d'arrêt .

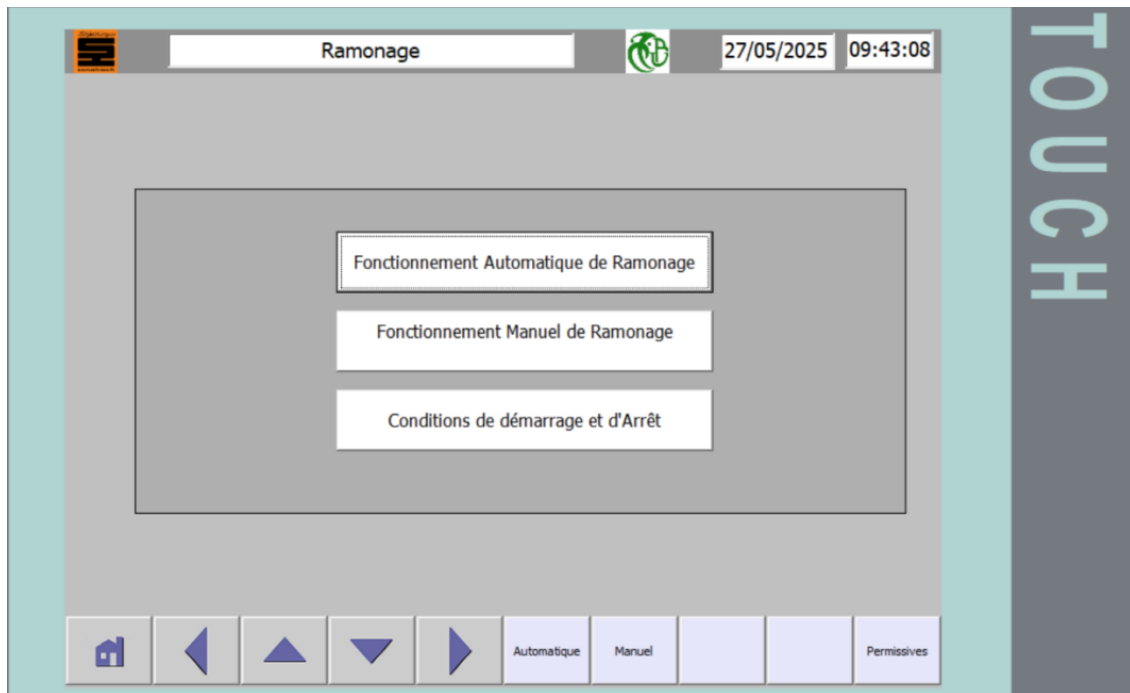


FIGURE 4.11 – Vue Ramonage

Vue séquence automatique : permet de visualiser la séquence automatique de soufflage, Et les temporisations actives.

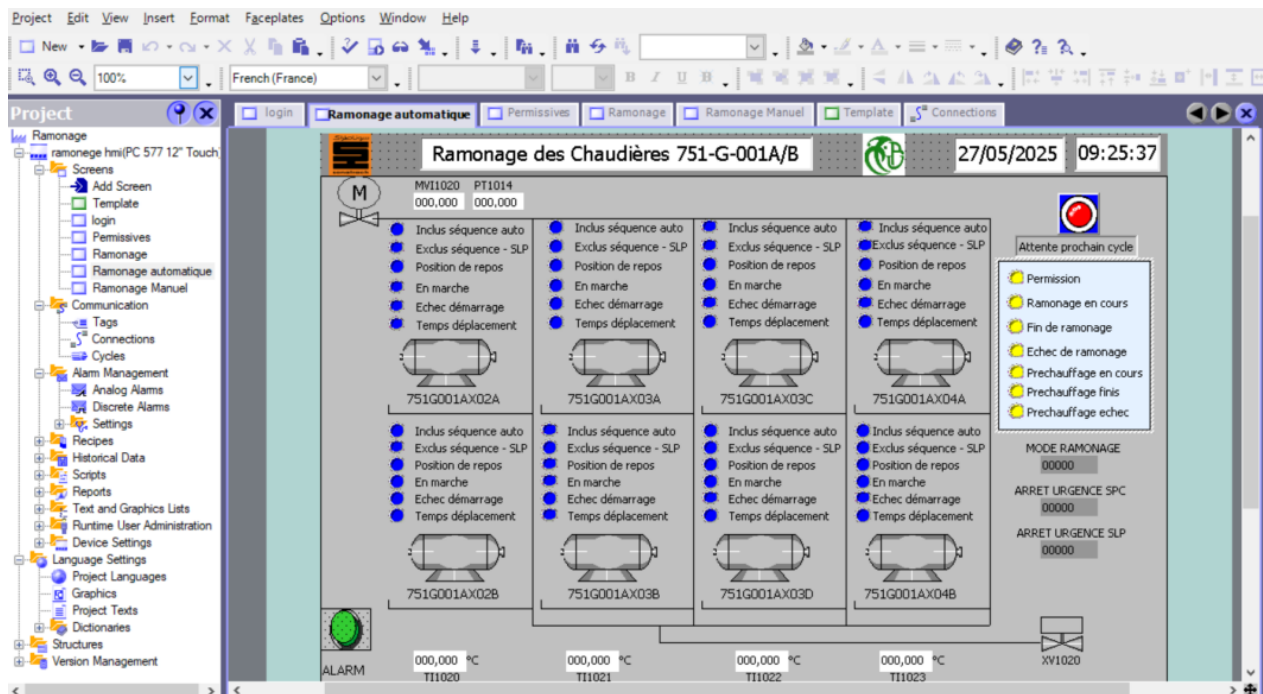


FIGURE 4.12 – Vue séquence automatique

Vue commande manuelle : permet à l'opérateur d'activer les étapes du ramonage à distance, avec les mêmes commandes que sur le panneau local. Cela lui permet, si besoin, de faire fonctionner les souffleurs à tout moment et dans l'ordre qu'il souhaite, depuis la salle de contrôle.

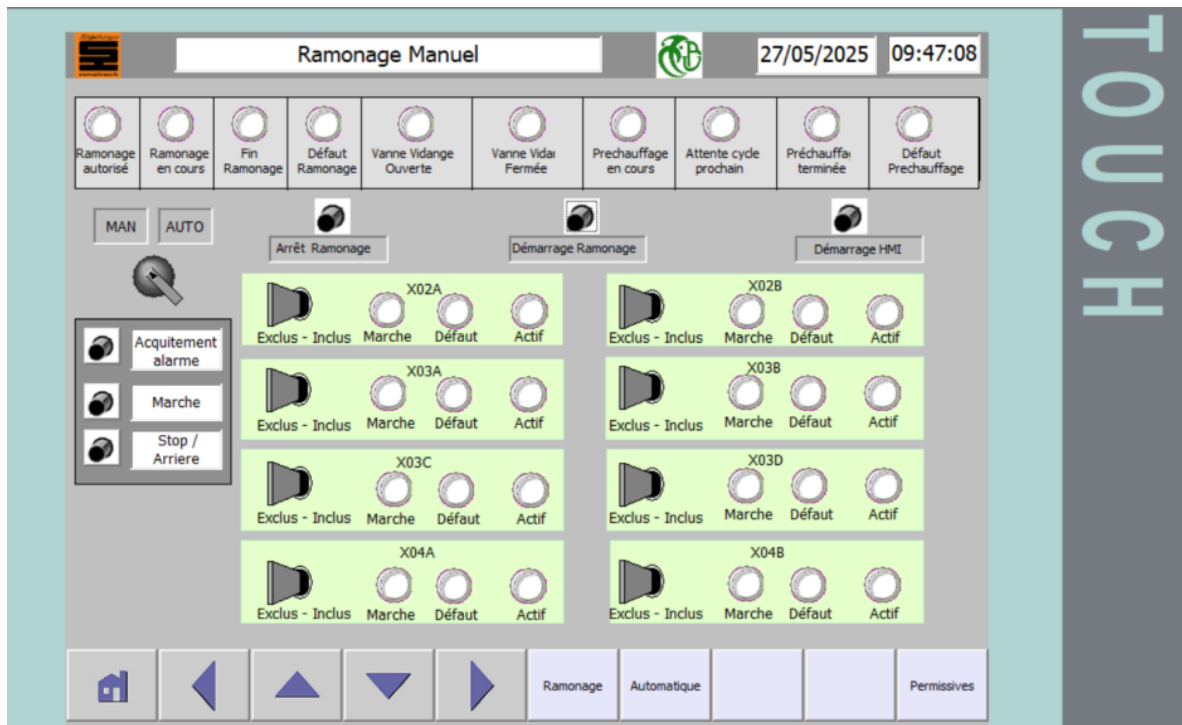


FIGURE 4.13 – Vue commande manuelle

Vue des permissives : affiche les conditions nécessaires au démarrage ou à l'arrêt automatique des souffleurs.

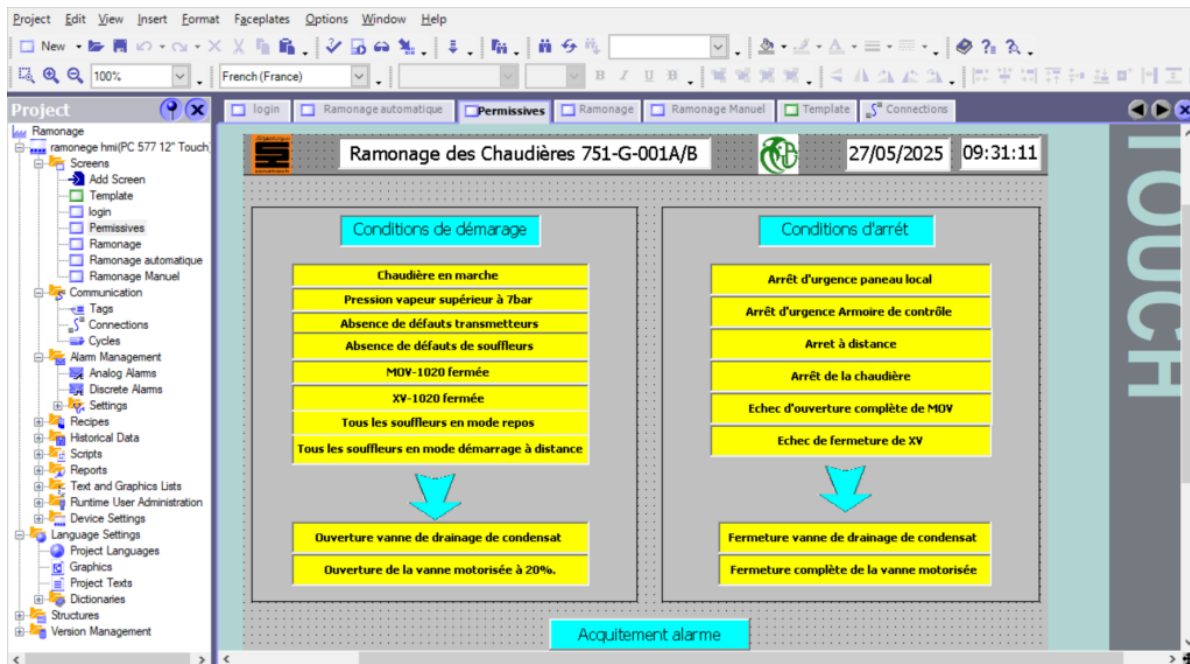


FIGURE 4.14 – Vue des conditions de démarrage et d'arrêt

Ces interfaces intuitives offrent une supervision en temps réel de l'ensemble du processus. Elles sont indispensables pour l'opérateur en salle de commande, car elles lui permettent de suivre le fonctionnement du système, de réagir rapidement en cas de défaut et de piloter manuellement si nécessaire.

4.3 Intégration du système de ramonage dans le DCS

En complément de la mise en œuvre sur automate programmable et interface HMI locale, une partie du système de ramonage a été intégrée au système de contrôle distribué (DCS) existant de la raffinerie. Cette intégration permet une centralisation efficace des données, une supervision globale du procédé, ainsi qu'un pilotage optimisé depuis l'environnement de contrôle principal.

4.3.1 Système de contrôle distribué (DCS)

Un DCS (Distributed Control System) est une architecture d'automatisation industrielle destinée au pilotage, à la régulation et à la supervision de procédés complexes. Il répartit les tâches de

traitement entre plusieurs unités intelligentes telles que les stations opérateur, les processeurs de contrôle (CP) et modules d'E/S de terrain (FBM). [13]

À la raffinerie d'Alger, le système DCS en place appartient à la gamme I/A (Intelligent/ Automation) Series, développée par FOXBORO. Ce système est reconnu pour sa robustesse en environnement industriel, sa précision dans la régulation, ainsi que sa capacité à intégrer divers équipements hétérogènes dans un cadre de supervision unifié. [13]

L'intégration du système de ramonage au DCS permet de :

- Superviser à distance l'état des souffleurs.
- Remonter les alarmes et événements en temps réel.
- Autoriser le déclenchement du cycle de soufflage depuis la salle de contrôle.



FIGURE 4.15 – DCS I/A Série de FOXBORO

4.3.2 Architecture matérielle du DCS

Au cœur du système FOXBORO I/A Series se trouve le processeur de contrôle CP270. Ce processeur est chargé de collecter, analyser et gérer les données issues du terrain, notamment celles relatives au processus de ramonage.

Le CP270 interagit avec les modules Fieldbus Modules (FBM), qui sont répartis à proximité des équipements de terrain. Ces modules assurent la conversion des signaux physiques en données numériques exploitables par le système de contrôle.

Les modules utilisés comprennent :

FBM233 : module d'entrées/sorties numériques, utilisé pour les signaux tout-ou-rien (TOR), tels que les états de fin de course, les défauts, ou les commandes binaires (marche/arrêt).

FBM242 : module d'entrées analogiques, utilisé pour la lecture des valeurs variables telles que la pression, la température ou le débit.

Ces modules FBM sont connectés en réseau au processeur CP270 via un bus de terrain, permettant une acquisition rapide et fiable des données. L'ensemble de ces informations est ensuite transmis aux stations opérateur, où elles sont exploitées pour la visualisation des synoptiques, le suivi des alarmes, et le pilotage du système.

Cette architecture décentralisée mais cohérente permet une grande modularité, une facilité de maintenance, et une meilleure réactivité du système global de supervision.



FIGURE 4.16 – Processeur de contrôle FCP270



FIGURE 4.17 – Module d’entrée/sortie FBM

4.3.3 Logiciels et outils de supervision du DCS

Le système FOXBORO s’appuie sur une suite d’outils logiciels spécialisés, permettant la configuration, la visualisation et la supervision du processus : [13]

- **Archestra IDE** : environnement de développement intégré utilisé pour créer et gérer les stratégies de contrôle, les objets fonctionnels, les communications inter-systèmes (notamment avec l’automate Siemens).
- **FoxView** : interface de supervision temps réel, utilisée pour l’affichage des synoptiques, des états de fonctionnement et des alarmes.
- **FoxDraw** : éditeur graphique servant à concevoir les synoptiques HMI de manière intuitive.
- **FoxSelect** : outil de diagnostic et de supervision du réseau DCS, permettant de vérifier l’état de chaque module et la bonne circulation des données.

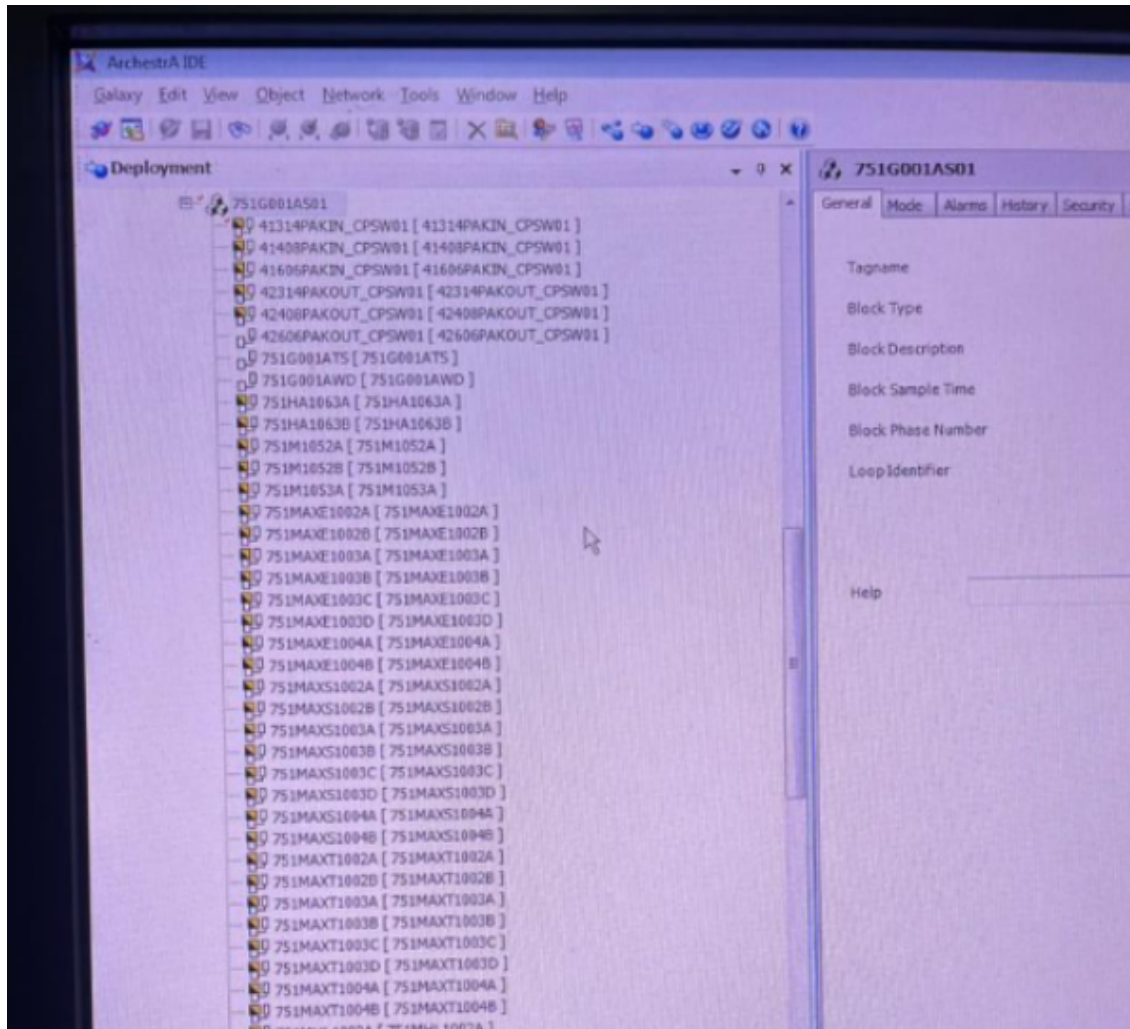


FIGURE 4.18 – Vue de l'interface Archestra IDE avec les stratégies de contrôle

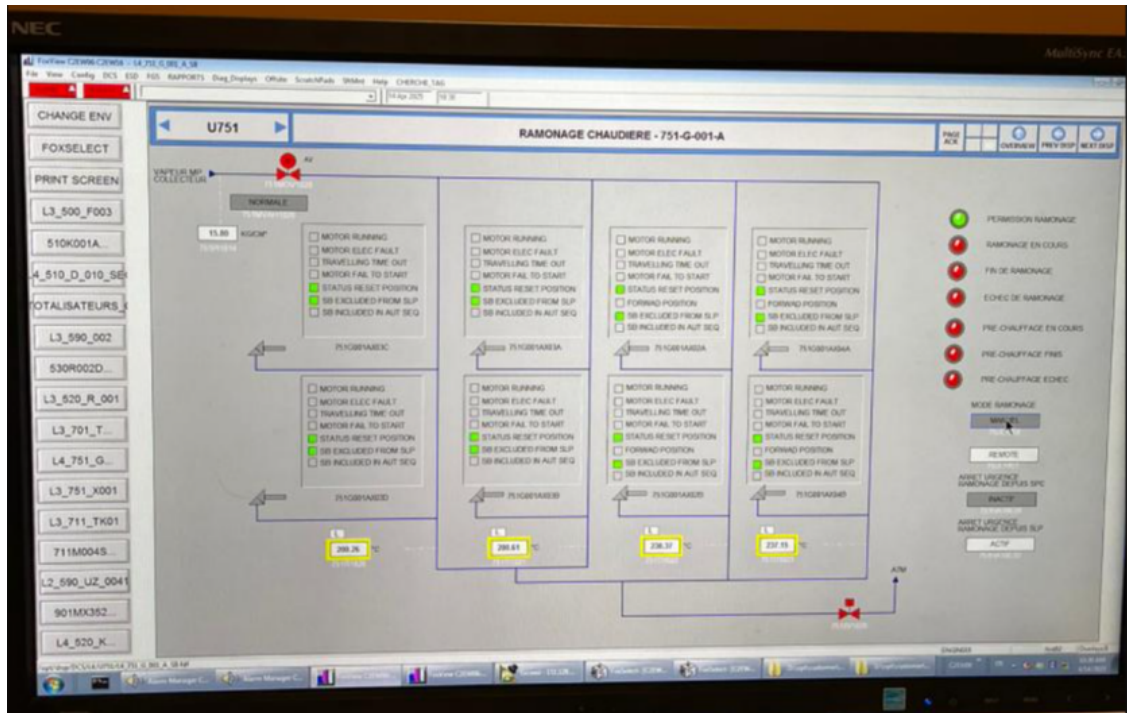


FIGURE 4.19 – Interface de supervision sous FoxView

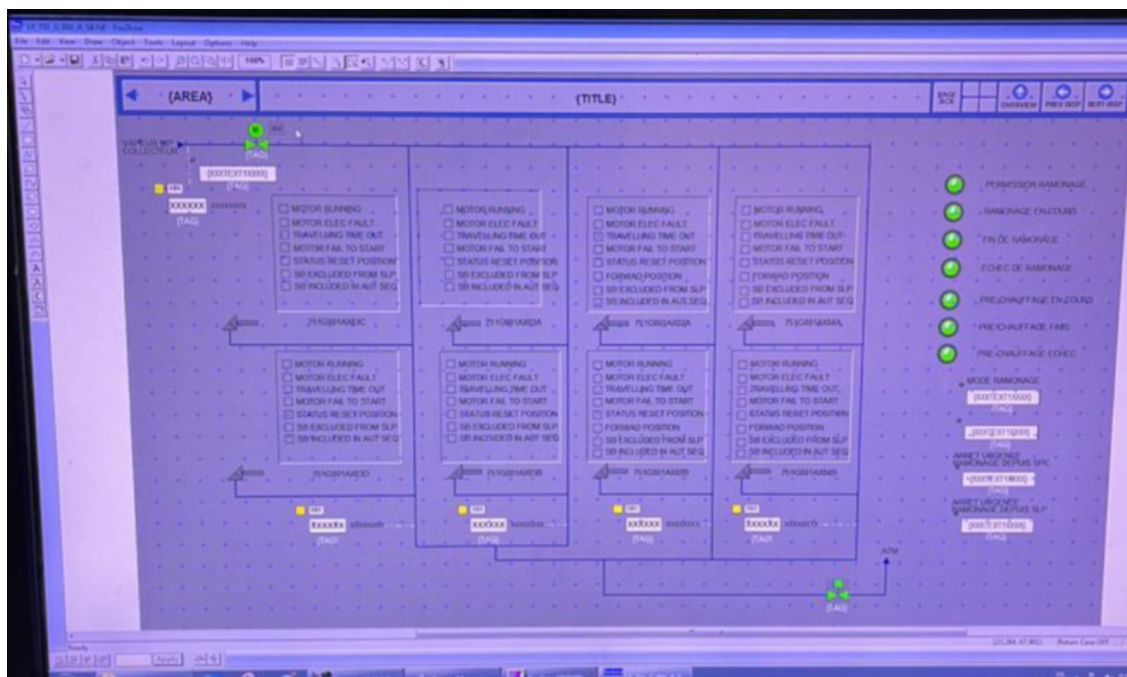


FIGURE 4.20 – Éditeur graphique FoxDraw

4.3.4 Déclenchement du ramonage depuis le DCS :

Pour permettre un déclenchement anticipé du cycle de soufflage, un bouton 751HS1000 a été ajouté dans l'interface de supervision FoxDraw. Ce bouton permet à l'opérateur DCS de lancer manuellement le ramonage à distance, indépendamment de la temporisation automatique.

le bouton 751HS1000 est lié au bloc fonctionnel PACKOUT_002, intégré à la stratégie de contrôle sous Archestra IDE. Ce bloc envoie une commande de lancement du cycle de soufflage à l'automate Siemens S7-300 via le réseau Ethernet.

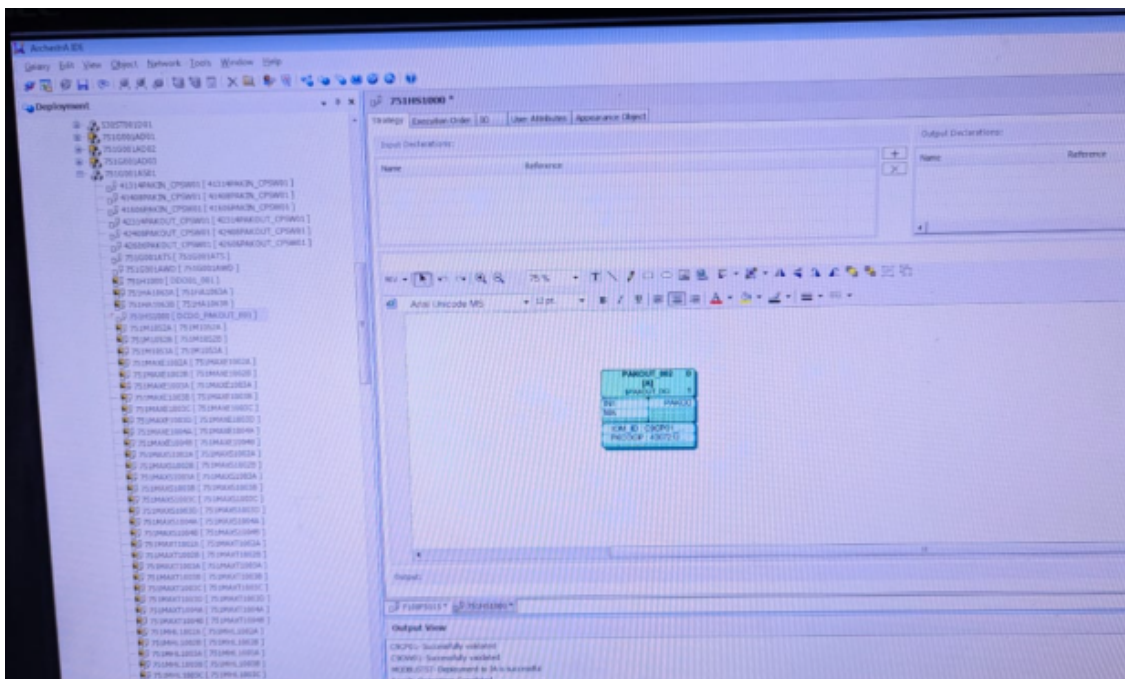


FIGURE 4.21 – Bloc PACKOUT_002 dans Archestra IDE

Fonctionnement :

1. L'opérateur DCS clique sur le bouton "Démarrer Ramonage".
2. Le bloc PACKOUT_002 envoie un bit de démarrage à l'automate.
3. L'automate valide les conditions de sécurité.
4. Le cycle de soufflage est lancé si toutes les conditions sont réunies.
5. L'état du processus (en cours, terminé, défaut) est retourné et affiché dans FoxView.

Ce mécanisme permet une intervention rapide en cas d'encrassement prématuré, sans perturber la logique de temporisation automatique.

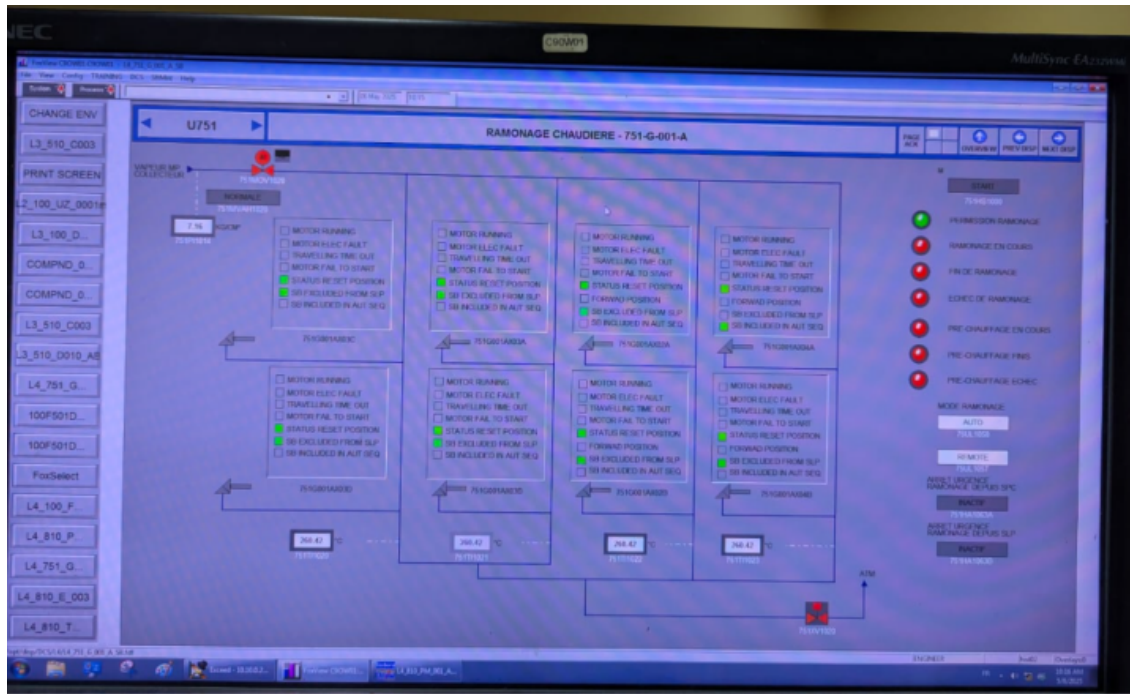


FIGURE 4.22 – Interface de supervision sous FoxView avec ajout du bouton 751HS1000

Le système automatisé de ramonage des chaudières a été conçu selon une architecture cohérente, tenant compte des besoins en entrées/sorties, de la logique de fonctionnement, et des exigences de supervision. Le matériel a été sélectionné en fonction de ces critères, le programme développé sous STEP 7, et l'interface HMI conçue avec WinCC Flexible pour permettre un pilotage local intuitif.

L'ensemble a été réalisé et testé directement sur le site de la raffinerie, ce qui a permis de valider son fonctionnement en conditions réelles. Le système assure désormais un nettoyage automatique, fiable et sécurisé des surfaces d'échange thermique des chaudières, avec un cycle prédéfini toutes les huit heures.

Une commande manuelle a également été intégrée au système de contrôle-commande central DCS FOXBORO I/A Series, déjà existant. Grâce à l'ajout d'un bouton de déclenchement dans l'interface FoxView, les opérateurs peuvent lancer un cycle de ramonage à tout moment, en fonc-

tion des besoins de production ou des conditions d'encrassement. Cette interconnexion renforce la supervision globale et améliore la souplesse d'exploitation.

Conclusion Générale

Conclusion générale

Le présent mémoire a porté sur l'automatisation du système de ramonage des chaudières de la Raffinerie d'Alger exploitée par SONATRACH, dans le but de remplacer un fonctionnement manuel contraignant par une solution moderne, fiable et intégrée. Ce travail nous a permis de nous familiariser avec le fonctionnement général des chaudières industrielles, d'étudier l'impact des dépôts de suie sur le rendement énergétique, et de proposer une solution complète basée sur un automate Siemens S7-300. La démarche adoptée a couvert l'étude du procédé, l'identification des capteurs et actionneurs adaptés, la conception de l'architecture matérielle, la programmation sous STEP 7, le développement d'une interface HMI avec WinCC Flexible, ainsi que la simulation et les tests via PLCSIM. Contrairement à de nombreux projets similaires, la solution a été entièrement réalisée et testée sur le site même de la raffinerie, validant son fonctionnement en conditions réelles. Le système mis en place permet aujourd'hui un nettoyage automatique et sécurisé des surfaces d'échange thermique des chaudières, selon une séquence cyclique toutes les huit heures, avec possibilité de déclenchement manuel à tout moment. À cet effet, une commande manuelle a été ajoutée dans le système de contrôle-commande existant (DCS FOXBORO I/A Series), permettant aux opérateurs de lancer un cycle de ramonage directement depuis l'interface FoxView, sans intervention locale. L'intégration de cette fonction dans un système déjà en place améliore la souplesse d'exploitation, tout en conservant une supervision centralisée efficace. Cette réalisation constitue une avancée significative en matière de maintenance préventive, d'optimisation énergétique et de sécurité industrielle. En définitive, ce projet nous a permis de mobiliser concrètement nos connaissances en instrumentation, en automatisme industriel et en supervision, tout en répondant de manière concrète à une problématique réelle du terrain.

Pour aller plus loin, il serait pertinent d'intégrer au système des capteurs capables de surveiller la qualité de la combustion, en détectant la concentration de suie ou les gaz imbrûlés dans les fumées, afin d'évaluer en temps réel l'état d'encrassement et de déclencher intelligemment le ra-

monage uniquement lorsque cela est réellement nécessaire.

Bibliographie

Bibliographie

- [1] Site officiel de raffiner d'Alger, <https://sonatrach.com/raffinage-et-petrochimie>.consulté le 14 mai 2025.
- [2] Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou « Mémoire sur le raffinage du pétrole », 14 mai 2025
- [3] Connaissance des Énergies « Le raffinage pétrolier » , 14 mai 2025.
- [4] Document technique Sonatrach « Description of Sootblowers System Operation – 751-G-001 A/B ».
- [5] Yokogawa Electric Corporation : « Differential Pressure and Pressure Transmitter EJX630A », Yokogawa, édition 1, 2019.
- [6] Yokogawa Electric Corporation : « Temperature Transmitters YTA110, YTA310, YTA320 », Yokogawa, édition 1, 2006.
- [7] Wintron : « Combustion Gas Temperature Measurement Using Infrared Pyrometers », Application Summary, USA, pp. 1-4, 2011.
- [8] Pepperl+Fuchs : « Inductive Proximity Sensor NJ6+U1+N », Pepperl+Fuchs, édition 3, 2021.
- [9] Rotork : « Intelligent Electric Actuator IQ Range », Rotork, édition 7, 2013.
- [10] GeorGIN : « Guide des Interfaces de Sécurité », GeorGIN, édition 2, 2019.
- [11] RS Components : « Relais statique ou relais électromécanique : lequel choisir ? », RS Components Blog, France, 2023.
- [12] Siemens : « Contacteurs SIRIUS 3RT Manuel Technique », Siemens, édition 1, 2015.
- [13] Benameur L. : « Automatisation d'un système de supervision dans une raffinerie », Mémoire de fin d'études, Université de Médéa, Faculté de Technologie, Département d'Électrotechnique, 2022.

Annexes

Symbol Editor - [Programme S7(1) (Mnémoniques) -- ramonage\ststion simatic 300\CPU315-2 PN/DP(1)]

Symbol Table Edit Insert View Options Window Help

All Symbols

	Status	Symbol /	Address	Data type	Comment
1		AI_FB	FB 6	FB 6	
2		AI_FBDB	DB 6	FB 6	
3		AI_HH_TRIP_FB	FB 9	FB 9	
4		AI_HH_TRIP_FBDB	DB 9	FB 9	
5		AI_LL_TRIP_FB	FB 7	FB 7	
6		AI_LL_TRIP_FBDB	DB 8	FB 7	
7		AlarmsUDT	UDT 3	UDT 3	
8		AlstatusUDT	UDT 2	UDT 2	
9		Alarms	DB 11	DB 11	
10		AnalogInputUDT	UDT 1	UDT 1	
11		AutoSequenceSteps...	FC 3	FC 3	
12		AutoSequenceSteps...	FC 4	FC 4	
13		AutoSequenceSteps...	FC 5	FC 5	
14		AutoSequenceSteps...	FC 6	FC 6	
15		AutoSequenceSteps...	FC 7	FC 7	
16		AutoSequenceSteps...	FC 8	FC 8	
17		AutoSequenceSteps...	FC 1	FC 1	
18		AutoSequenceSteps...	FC 2	FC 2	
19		BIT_1	I 2.4	BOOL	FIST BIT SELECTED SLP
20		BIT_2	I 2.5	BOOL	SECOND BIT SELECTED SLP
21		BIT_3	I 2.6	BOOL	THIRD BIT SELECTED SLP
22		CYC_INT5	OB 35	OB 35	Cyclic Interrupt 5
23		CYCL_FLT	OB 80	OB 80	Cycle Time Fault
24		CYCLE	VAT 1		
25		DEL_INT1	OB 21	OB 21	Time Delay Interrupt 1
26		HIGH_TEMP_SLC	I 2.7	BOOL	SLC CABINET HIGH TEMPERATURE
27		HIGH_TEMP_SPC	I 3.0	BOOL	SPC CABINET HIGH TEMPERATURE
28		HMI	DB 10	DB 10	
29		HMISETTINGS	FC 12	FC 12	
30		HMIVAR	VAT 6		
31		HS-1058	I 2.2	BOOL	AUTO/MAN SELECTOR
32		HS-1059	I 2.3	BOOL	LAMP TEST SLP
33		HS-1060-B	I 6.4	BOOL	SOOTBLOWING START
34		HS-1061-B	I 6.5	BOOL	SOOTBLOWING STOP
35		HS-1062-B	I 6.6	BOOL	SOOTBLOWING ALARM AKNOWLEDGE
36		HS-1063-A	I 9.6	BOOL	SOOTBLOWER EMERGENCY STOP
37		HS-1063-B	I 9.7	BOOL	SOOTBLOWER EMERGENCY SLP
38		HS-1066	I 3.1	BOOL	START BACKWARD SB RAKE RETRACTABLE
39		HS-1067	I 3.2	BOOL	START FORWARD SB RAKE RETRACTABLE
40		IN_BCD	FB 4	FB 4	
41		IN_BCDDB	DB 3	FB 4	
42		InputOutput	FC 10	FC 10	
43		M0	MB 0	BYTE	
44		MemoryAlarmBlock	FB 5	FB 5	
45		MemoryAlarmBlockDB	DB 4	FB 5	
46		MHSH-1002-AL	I 1.0	BOOL	XM02A COMMAND FORWARD
47		MHSH-1002-BL	I 1.7	BOOL	XM02B COMMAND FORWARD
48		MHSH-1003-AL	I 4.4	BOOL	XM03A COMMAND FORWARD
49		MHSH-1003-BL	I 5.1	BOOL	XM03B COMMAND FORWARD
50		MHSH-1003-CL	I 5.6	BOOL	XM03C COMMAND FORWARD
51		MHSH-1003-DL	I 6.3	BOOL	XM03D COMMAND FORWARD
52		MHSH-1004-AL	I 8.5	BOOL	XM04A COMMAND FORWARD
53		MHSH-1004-BL	I 9.4	BOOL	XM04B COMMAND FORWARD
54		MHSL-1002-AL	I 1.1	BOOL	XM02A COMMAND BACKWARD
55		MHSL-1002-BL	I 2.0	BOOL	XM02B COMMAND BACKWARD
56		MHSL-1004-AL	I 8.6	BOOL	XM04A COMMAND BACKWARD
57		MHSL-1004-BL	I 9.5	BOOL	XM04B COMMAND BACKWARD
58		MHSSH-1002-A	Q 0.3	BOOL	XM02A CMD FORWARD
59		MHSSH-1002-B	Q 1.0	BOOL	XM02B CMD FORWARD
60		MHSSH-1003-A	Q 1.5	BOOL	XM03A CMD FORWARD
61		MHSSH-1003-B	Q 2.1	BOOL	XM03B CMD FORWARD
62		MHSSH-1003-C	Q 2.5	BOOL	XM03C CMD FORWARD
63		MHSSH-1003-D	Q 4.0	BOOL	XM03D CMD FORWARD
64		MHSSH-1004-A	Q 4.4	BOOL	XM04A CMD FORWARD
65		MHSSH-1004-B	Q 5.1	BOOL	XM04B CMD FORWARD
66		MHSSL-1002-A	Q 0.4	BOOL	XM02A CMD BACKWARD
67		MHSSL-1002-B	Q 1.1	BOOL	XM02B CMD BACKWARD
68		MHSSL-1004-A	Q 4.5	BOOL	XM04A CMD BACKWARD
69		MHSSL-1004-B	Q 5.2	BOOL	XM04B CMD BACKWARD

Press F1 to get Help.

70	MIR-1002-AB	Q 0.5	BOOL	XM02A RUNNING LAMP
71	MIR-1002-BB	Q 1.2	BOOL	XM02B RUNNING LAMP
72	MIR-1003-AB	Q 1.6	BOOL	XM03A RUNNING LAMP
73	MIR-1003-BB	Q 2.2	BOOL	XM03B RUNNING LAMP
74	MIR-1003-CB	Q 2.6	BOOL	XM03C RUNNING LAMP
75	MIR-1003-DB	Q 4.1	BOOL	XM03D RUNNING LAMP
76	MIR-1004-AB	Q 4.6	BOOL	XM04A RUNNING LAMP
77	MIR-1004-BB	Q 5.3	BOOL	XM04B RUNNING LAMP
78	MSC-1002-A	I 0.4	BOOL	XM02A POSITION REST
79	MSC-1002-B	I 1.3	BOOL	XM02B POSITION REST
80	MSC-1003-A	I 4.0	BOOL	XM03A POSITION REST
81	MSC-1003-B	I 4.5	BOOL	XM03B POSITION REST
82	MSC-1003-C	I 5.2	BOOL	XM03C POSITION REST
83	MSC-1003-D	I 5.7	BOOL	XM03D POSITION REST
84	MSC-1004-A	I 8.1	BOOL	XM04A POSITION REST
85	MSC-1004-B	I 9.0	BOOL	XM04B POSITION REST
86	MSHL-1002-AL	I 0.7	BOOL	XM02A LOCAL
87	MSHL-1002-BL	I 1.6	BOOL	XM02B LOCAL
88	MSHL-1003-AL	I 4.3	BOOL	XM03A LOCAL
89	MSHL-1003-BL	I 5.0	BOOL	XM03B LOCAL
90	MSHL-1003-CL	I 5.5	BOOL	XM03C LOCAL
91	MSHL-1003-DL	I 6.2	BOOL	XM03D LOCAL
92	MSHL-1004-AL	I 8.4	BOOL	XM04A LOCAL
93	MSHL-1004-BL	I 9.3	BOOL	XM04B LOCAL
94	MSO-1002-A	I 0.3	BOOL	XM02A POSITION FORWARD
95	MSO-1002-B	I 1.2	BOOL	XM02B POSITION FORWARD
96	MSO-1004-A	I 8.0	BOOL	XM04A POSITION FORWARD
97	MSO-1004-B	I 8.7	BOOL	XM04B POSITION FORWARD
98	MSR-1002-A	I 0.5	BOOL	XM02A RUNNING
99	MSR-1002-B	I 1.4	BOOL	XM02B RUNNING
100	MSR-1003-A	I 4.1	BOOL	XM03A RUNNING
101	MSR-1003-B	I 4.6	BOOL	XM03B RUNNING
102	MSR-1003-C	I 5.3	BOOL	XM03C RUNNING
103	MSR-1003-D	I 6.0	BOOL	XM03D RUNNING
104	MSR-1004-A	I 8.2	BOOL	XM04A RUNNING
105	MSR-1004-B	I 9.1	BOOL	XM04B RUNNING
106	MVSC-1020	I 0.1	BOOL	MOTOR VALVE CLOSED
107	MVSO-1020	I 0.0	BOOL	MOTOR VALVE OPEN
108	MVSSC-1020	Q 0.1	BOOL	CMD CLOSE MOTORIZED VALVE
109	MVSSO-1020	Q 0.0	BOOL	CMD OPEN MOTORIZED VALVE
110	MVSSS-1020	Q 0.2	BOOL	CMD STOP MOTORIZED VALVE
111	MVSX-1020	I 0.2	BOOL	MOTOR VALVE AVAILBLE
112	MVT1020	PIW 272	WORD	POSITION TRANSMITTER
113	MXA-1002-A	Q 0.7	BOOL	XM02A COMMON FAULT LAMP
114	MXA-1002-B	Q 1.4	BOOL	XM02B COMMON FAULT LAMP
115	MXA-1003-A	Q 2.0	BOOL	XM03A COMMON FAULT LAMP
116	MXA-1003-B	Q 2.4	BOOL	XM03B COMMON FAULT LAMP
117	MXA-1003-C	Q 3.0	BOOL	XM03C COMMON FAULT LAMP
118	MXA-1003-D	Q 4.3	BOOL	XM03D COMMON FAULT LAMP
119	MXA-1004-A	Q 5.0	BOOL	XM04A COMMON FAULT LAMP
120	MXA-1004-B	Q 5.5	BOOL	XM04B COMMON FAULT LAMP
121	MXHL-1002-AB	Q 0.6	BOOL	XM02A OUT OF SEQUENCE LAMP
122	MXHL-1002-BB	Q 1.3	BOOL	XM02B OUT OF SEQUENCE LAMP
123	MXHL-1003-AB	Q 1.7	BOOL	XM03A OUT OF SEQUENCE LAMP
124	MXHL-1003-BB	Q 2.3	BOOL	XM03B OUT OF SEQUENCE LAMP
125	MXHL-1003-CB	Q 2.7	BOOL	XM03C OUT OF SEQUENCE LAMP
126	MXHL-1003-DB	Q 4.2	BOOL	XM03D OUT OF SEQUENCE LAMP
127	MXHL-1004-AB	Q 4.7	BOOL	XM04A OUT OF SEQUENCE LAMP
128	MXHL-1004-BB	Q 5.4	BOOL	XM04B OUT OF SEQUENCE LAMP
129	MXHS-1002-AB	I 6.7	BOOL	XM02A INCLUDED SLP
130	MXHS-1002-BB	I 7.0	BOOL	XM02B INCLUDED SLP
131	MXHS-1003-AB	I 7.1	BOOL	XM03A INCLUDED SLP
132	MXHS-1003-BB	I 7.2	BOOL	XM03B INCLUDED SLP
133	MXHS-1003-CB	I 7.3	BOOL	XM03C INCLUDED SLP
134	MXHS-1003-DB	I 7.4	BOOL	XM03D INCLUDED SLP
135	MXHS-1004-AB	I 7.5	BOOL	XM04A INCLUDED SLP

136		MXHS-1004-BB	I	7.6	BOOL	XM04B INCLUDED SLP
137		MXSL-1002-A	I	0.6	BOOL	XM02A AVAILABLE
138		MXSL-1002-B	I	1.5	BOOL	XM02B AVAILABLE
139		MXSL-1003-A	I	4.2	BOOL	XM03A AVAILABLE
140		MXSL-1003-B	I	4.7	BOOL	XM03B AVAILABLE
141		MXSL-1003-C	I	5.4	BOOL	XM03C AVAILABLE
142		MXSL-1003-D	I	6.1	BOOL	XM03D AVAILABLE
143		MXSL-1004-A	I	8.3	BOOL	XM04A AVAILABLE
144		MXSL-1004-B	I	9.2	BOOL	XM04B AVAILABLE
145		opt	FC	13	FC	13
146		Optimisation	FC	9	FC	9
147		Permissives pre heat	VAT	3		
148		PROG_ERR	OB	121	OB	121
149		PS_AVAILABLE_SLC	I	10.3	BOOL	PS 230VAC AVAILABLE SLC
150		PS_AVAILABLE_SPC	I	10.4	BOOL	PS 400VAC AVAILABLE SPC
151		PT1014	PW	274	WORD	PRESSURE TRANSMITTER MAIN STEAM BLOWER
152		RealValues	DB	2	DB	2
153		RetractableRakeSB	FB	3	FB	3
154		RotativeSB	FB	2	FB	2
155		SBSequenceOpt	FC	11	FC	11
156		SeqAuto	VAT	5		
157		SLP	DB	1	DB	1
158		SOOTBLOWERS	VAT	4		
159		SOOTBLOWING_AU...	VAT	2		
160		SRT_DINT	SFC	32	SFC	32
161		TE1001	PW	284	WORD	TEMPERATURE REELLE CHAUDIERE
162		TE1020	PW	276	WORD	TEMPERATURE TRANSMITTER X03C/D STEAM SOOTBLOWER
163		TE1021	PW	278	WORD	TEMPERATURE TRANSMITTER X03A/B STEAM SOOTBLOWER
164		TE1022	PW	280	WORD	TEMPERATURE TRANSMITTER X02A/B STEAM SOOTBLOWER
165		TE1023	PW	282	WORD	TEMPERATURE TRANSMITTER X04A/B STEAM SOOTBLOWER
166		TIM_SSTI	FC	40	FC	40
167		TIMER	DB	7	SFB	4
168		TimerSB	FB	1	FB	1
168		TimerSB	FB	1	FB	1
169		TON	SFB	4	SFB	4
170		UA1056B	Q	6.4	BOOL	SOOTBLOWING FAILURE LAMP
171		UL-1070B	Q	3.2	BOOL	FIN DE CYCLE
172		UL1050B	Q	5.6	BOOL	SOOTBLOWING PERMISSIVE LAMP
173		UL1051B	Q	5.7	BOOL	PRE-HEATING RUNNING LAMP
174		UL1052B	Q	6.0	BOOL	PRE-HEATING COMPLETED LAMP
175		UL1053B	Q	6.1	BOOL	CA
176		UL1054B	Q	6.2	BOOL	SOOTBLOWING RUNNING LAMP
177		UL1055B	Q	6.3	BOOL	END OF SOOTBLOWING LAMP
178		US1064	I	10.0	BOOL	SOOTBLOWING PERMISSIVE
179		VI	DB	5	DB	5
180		WTAUTO	Q	3.1	BOOL	WAITING TIME FOR AUTO SEQUENCE
181		X02A	FC	14	FC	14
182		X02B	FC	15	FC	15
183		X04B1	FC	16	FC	16
184		XLC1020	Q	6.7	BOOL	CONDENSATE VALVE CLOSE LAMP SLP
185		XLO1020	Q	6.6	BOOL	CONDENSATE VALVE OPEN LAMP SLP
186		XSC1020	I	10.2	BOOL	SELENOID VALVE CLOSED
187		XSO1020	I	10.1	BOOL	SELENOID VALVE OPEN
188		XY1020	Q	6.5	BOOL	COMMANDE OPEN SELENOID VALVE
189						