

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 البليدة
Université SAAD DAHLAB de BLIDA

كلية التكنولوجيا
Faculté de Technologie

قسم الإلكترونيك
Département d'Électronique



Mémoire de Master

Filière Électronique
Spécialité Instrumentation

présenté par

BOUALBANI MOHAMED MONCEF

&

ELATYAOUI KHADIDJA

Automatisation et supervision de l'unité de production de l'air comprimé de la station SC2/Rhourd Nouss

Proposé par : M. O. YAHIAOUI & Mme. N. BOUGHERIRA

Année Universitaire 2024-2025

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à mon parcours et à la réalisation de ce projet.

À mes chers parents,

Pour votre amour inconditionnel, votre patience et votre courage. Votre foi en moi, vos prières silencieuses et vos innombrables sacrifices ont été ma plus grande force. Ce travail est, avant tout, le fruit de votre dévouement.

À mes frères Nazim et Adem,

Mes bras droits dans ce monde. Vous êtes la base solide sur laquelle je m'appuie chaque fois que je trébuche. Votre affection, vos encouragements constants et votre présence rassurante ont été essentiels tout au long de cette aventure.

À nos encadreurs,

Monsieur YAHIAOUI Oualid et Madame BOUGHERIRA Nadia,

Je vous adresse ma profonde gratitude pour votre accompagnement bienveillant, votre disponibilité, vos conseils éclairés et la confiance que vous m'avez témoignée tout au long de ce projet.

À mes amis fidèles,

Avec qui j'ai partagé les moments de doute, de fatigue, mais aussi ceux de joie, de complicité et de réussite. Votre soutien m'a été précieux.

Et enfin,

À toutes les personnes qui, par un mot, un geste, un sourire ou un encouragement, ont contribué à faire de ce projet une belle réussite.

Recevez ici l'expression de ma reconnaissance et de mon affection sincère.

Mohamed Moncef

Dédicace

Avec tous mes sentiments de respect je dédie ce travail

A ma mère « Aicha »

Pour son amour, son encouragement et ses sacrifices et ses prières

A mon père « Khaled »

Pour son soutien inconditionnel, son affection et la confiance qu'il m'accordé

A mon prince "Ahmed"

Ma source d'énergie

A mes princesses "Faten " et "Maroua"

Mon bonheur

A moi-même

Pour ma patience, ma détermination et ma persévérance

A toute la famille "El Atyaoui " et "Cherif"

A tous mes professeurs et collègues

Khadidja

Remerciement

En premier lieu, nous remercions dieu tout puissant qui nous a conférer la possibilité, la force et le courage de bien mener notre projet et d'atteindre notre objectif.

Nous présentons notre grande gratitude à notre encadrant Mr YAHIAOUI Oualid, pour sa grande disponibilité, sa patience, ses encouragements et ces précieux conseils.

Nous remerciant aussi notre promoteur et professeur Mme BOUGHERIRA Nadia qui a accepté de nous encadré et qui nous a accordé son attention, son aide et sa disponibilité tout au long de notre travail.

Nous avons également une pensée toute particulière pour nos parents. Leur amour, leur soutien inconditionnel et leurs prières nous ont portés dans les moments les plus difficiles. Rien de tout cela n'aurait été possible sans eux.

Enfin, nous remercions les membres du jury pour le temps qu'ils nous consacrent, pour leur regard attentif sur notre travail et pour l'honneur qu'ils nous font par leur présence.

ملخص: يهدف هذا المشروع إلى تحديث نظام التحكم والمراقبة لوحدة إنتاج الهواء المضغوط بمحطة SC2 – رورد النوس. يتمثل في استبدال المتحكمات القديمة من نوع Allen-Bradley و IDEC بمتحكم Siemens S7-1200، وكذلك استبدال مفاتيح الضغط الميكانيكية بأجهزة إرسال رقمية لضمان دقة أكبر في التحكم. تشمل الدراسة برمجة دورات تشغيل الضواغط والمجفف، بالإضافة إلى دمج عدادات ساعات التشغيل لأغراض الصيانة الوقائية. وقد تم تنفيذ نظام إشراف حديث مزود بواجهة تشغيل (IHM) من نوع TP1500 Comfort، تم تطويرها باستخدام منصة TIA Portal، مما يسمح بإدارة فعالة وشاملة للنظام.

كلمات المفاتيح : ضواغط، مجفف الهواء، SKID AIR، عدادات ساعات التشغيل، المتحكم Siemens S7-1200، واجهة التشغيل (IHM)، منصة TIA Portal.

Résumé : Ce projet vise à moderniser le système de contrôle-commande de l'unité de production d'air comprimé de la station SC2 – Rhourd Nouss. Il consiste à remplacer les automates obsolètes Allen-Bradley et IDEC par un automate Siemens S7-1200, ainsi qu'à remplacer les pressostats mécaniques par des transmetteurs numériques pour une commande plus précise. L'étude inclut la programmation des cycles des compresseurs et du sécheur, ainsi que l'intégration de compteurs horaires pour la maintenance préventive. Un système de supervision moderne a été mis en place avec une Interface Homme-Machine (IHM) TP1500 Comfort, développée avec TIA Portal, permettant une gestion efficace du système.

Mots clés : Compresseurs, sécheur d'air, SKID AIR, compteurs horaires, automate Siemens S7-1200, IHM, TIA Portal

Abstract: This project aims to modernize the control and monitoring system of the compressed air production unit at the SC2 – Rhourd Nouss station. It involves replacing the obsolete Allen-Bradley and IDEC PLCs with a Siemens S7-1200 PLC, as well as replacing mechanical pressure switches with digital transmitters for more accurate control. The study includes programming the operating cycles of the compressors and the dryer, as well as integrating hour counters for preventive maintenance. A modern supervision system has been implemented using a TP1500 Comfort Human-Machine Interface (IHM), developed with TIA Portal, enabling efficient system management.

Keywords: Compressors, air dryer, SKID AIR, hour counters, Siemens S7-1200 PLC, IHM, TIA Portal.

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE	1
I. CHAPITRE 1 :.....	3
1. INTRODUCTION :.....	4
2. PRESENTATION DE SONATRACH :.....	4
3. PRESENTATION DE L'ACTIVITE DU TRC :.....	5
3.1. Station de pompage :.....	6
3.2. Station de compression :.....	6
4. PRESENTATION DE LA STATION ZINA SC2/RHOUD :.....	7
4.1. Description des procédés et des installations :	7
5. INSTALLATION ET DISTRIBUTION D'AIR INSTRUMENT, SERVICE :	8
5.1. Les compresseurs d'air instruments/air service (C-0751A/B) :.....	9
5.2. Sécheurs d'air instruments (D-0751A/B) :.....	10
6. CONCLUSION :.....	10
II. CHAPITRE 2 :.....	11
1. INTRODUCTION :.....	12
2. DESCRIPTION DU SKID AIR :	12
2.1. Système d'air instruments :	13
2.2. Système d'air service :	13
3. SCHEMA P&ID :.....	13
4. COMPRESSEUR :.....	14
4.1. Description du compresseur :	14
4.2. Eléments principaux de compresseur [3]:	16
5. SECHEUR :.....	24
a. Vanne de transfert d'entrée (Intel Transfer Valve) :	25
b. Vanne de purge (Purge valve) :	25
c. Hygromètre :.....	26
6. RESERVOIR D'AIR :	28
6.1. Réservoir d'air instruments (D-0756) :.....	28
6.2. Réservoir d'air service (D-0755) :	28
7. ARMOIRES DE COMMANDE :	29
7.1. Armoire de commande des compresseurs :.....	29
8. PROBLEMATIQUE :.....	31
9. CONCLUSION :.....	31
III. CHAPITRE 3 :.....	32
1. INTRODUCTION :.....	33
2. INSTRUMENTATIONS PROPOSEES :	33
2.1. Transmetteurs :	33
2.2. SIEMENS S7-1200 :.....	35
2.3. Interface Homme-Machine (IHM) :	36
3. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DU SKID :.....	37

Sommaire

3.1.	Fonctionnement des compresseurs :	37
3.2.	Fonctionnement du sécheur :	40
4.	PROGRAMMATION :	41
4.1.	Configuration du matérielle :	42
4.2.	Tableau des variables (mnémoniques) :	42
4.3.	Elaboration du programme :	43
5.	SUPERVISION :	48
5.1.	Création du projet :	49
5.2.	Configuration du réseau :	50
5.3.	Création de la table des variables :	50
5.4.	Création des vues (Screens) :	50
6.	ETUDE COMPARATIVE :	56
7.	CONCLUSION :	57
CONCLUSION GENERALE		59

Liste des figures

FIGURE I-1 : CARTE DU PETROLE ET DU GAZ DE L'ALGERIE.....	6
FIGURE I-2 : LOCALISATION DE LA STATION DE COMPRESSION ZINA SC2 GR1/GR2.....	7
FIGURE I-3 : SYNOPTIQUE DE STATION DE COMPRESSION ZINA.....	8
FIGURE I-4 : LES COMPRESSEURS D'AIR.....	9
FIGURE II-1 : SYNOPTIQUE DU SKID AIR.....	12
FIGURE II-2 : SCHEMA P&ID	14
FIGURE II-3 : VUE AVANT DU COMPRESSEUR	15
FIGURE II-4 : VUE ARRIERE DU COMPRESSEUR	16
FIGURE II-5 : SCHEMA D'ECOULEMENT	17
FIGURE II-6 : DIAGRAMME DE FLUX	18
FIGURE II-7 : FILTRE A AIR	18
FIGURE II-8 : VANNE D'ADMISSION.....	19
FIGURE II-9 : MOTEUR ELECTRIQUE ATLAS COPCO GA75	20
FIGURE II-10 : LES VIS ROTATIVES D'ELEMENT DE COMPRESSION	20
FIGURE II-11 : KIT DE SEPARATEUR D'HUILE	20
FIGURE II-12 : SOUPAPE DE PRESSION	21
FIGURE II-13 : FILTRE D'HUILE.....	21
FIGURE II-14 : VENTILATEUR DE REFROIDISSEMENT	22
FIGURE II-15 : SECHEUR D'AIR COMPRISE REGENERATIF SANS CHALEUR VAN AIR HL-500s.....	24
FIGURE II-16 : SCHEMA PNEUMATIQUE DU SECHEUR D'AIR	25
FIGURE II-17 : SECHEUR AVEC LES BALLON DE RESERVOIR D'AIR	28
FIGURE II-18 : ALLEN BRADLEY SLC 500.....	29
FIGURE II-19 : VUE EXTERIEURE D'ARMOIRE	30
FIGURE II-20 : VUE INTERIEURE D'ARMOIRE.....	30
FIGURE II-21 : IDEC MICRO 1.....	30
FIGURE III-1 : TRANSMETTEUR DE PRESSION GR E000 A00 GEORGIN.....	34
FIGURE III-2 : TRANSMETTEUR DE TEMPERATURE IFM TA2603.....	34
FIGURE III-3 : TRANSMETTEUR D'HUMIDITE GENERAL ELECTRIC MTS5	35
FIGURE III-4 : AUTOMATE SIEMENS S7-1200	36
FIGURE III-5 : IHM TP1500 COMFORT.....	37
FIGURE III-6 : ARCHITECTURE DU MATERIEL (CPU ET PERIPHERIQUES).....	42
FIGURE III-7 : UNE PARTIE DE TABLEAU DES VARIABLES D'AUTOMATE	43
FIGURE III-8 : LES BLOCS DE PROGRAMME.....	43
FIGURE III-9 : RESEAUX (NETWORKS) DU BLOC OB1.....	44
FIGURE III-10 : LES FONCTIONS UTILISES DANS LE PROGRAMME	44
FIGURE III-11 : SELECTION DU COMPRESSEUR PRINCIPALE	45
FIGURE III-12 : COMMANDE DEMARRAGE ET ARRET DU COMPRESSEUR A.....	45

Liste des figures

FIGURE III-13 : LES ALARMES DE DEFAILLANCE DU COMPRESSEUR A.....	46
FIGURE III-14 : DEMARRAGE SECHEUR	46
FIGURE III-15 : L'ALARME DE BASSE PRESSION DANS LE SYSTEME.....	46
FIGURE III-16 : ALARME D'ECHEC DE COMMUTATION DU TOUR DROITE	47
FIGURE III-17 : TRAITEMENT ANALOGIQUE DU TRANSMETTEUR DE PRESSION	47
FIGURE III-18 : LES BLOCS DE FONCTIONS UTILISES DANS LE PROGRAMME	47
FIGURE III-19 : COMPTEUR DE CHANGEMENT DU FILTRE SEPARATEUR DU COMPRESSEUR B.....	48
FIGURE III-20 : CONFIGURATION D'UNE IHM	49
FIGURE III-21 : LE CHOIX D'UNE INTERFACE IHM	49
FIGURE III-22 : LIAISON ENTRE PLC ET IHM.....	50
FIGURE III-23 : UNE PARTIE DE TABLEAU DES VARIABLES DE L'INTERFACE.....	50
FIGURE III-24 : LES VUES DE L'INTERFACE	51
FIGURE III-25 : VUE D'ACCUEIL	51
FIGURE III-26 : VUE DE PROCES	52
FIGURE III-27 : VUE DE CONTROLE	53
FIGURE III-28 : LA DEMANDE DE NOM D'UTILISATEUR ET MOT DE PASSE POUR ACCEDER LA VUE	54
FIGURE III-29 : VUE DE MAINTENANCE DE COMPRESSEUR A	54
FIGURE III-30 : VUE DE MAINTENANCE DE COMPRESSEUR B.....	55
FIGURE III-31 : VUE DES ALARMES DE SYSTEME	56

Liste des tableaux

TABLEAU 1 : LES ELEMENTS DU COMPRESSEUR VUE AVANT	15
TABLEAU 2 : LES ELEMENTS DU COMPRESSEUR VUE ARRIERE	16
TABLEAU 3 : ELEMENTS PRINCIPAUX DE COMPRESSEUR.....	17
TABLEAU 4 : BILAN DES ENTREES/SORTIES	35
TABLEAU 5 : ETUDE COMPARATIVE	57

Liste des abréviations

API	Automates Programmables Industriels
CNDG	Centre National de Dispatching de Gaz
CNDG	Centre National de Dispatching Gaz
CPU	Central Processing Unite (Unité central de l'automate)
DB	Bloc de Données
DCS	Système de Contrôle Distribué
E/S	Entrée / Sortie
FB	Bloc Fonctionnel
FC	Fonction
GNL	Gaz naturel liquéfié
GPL	Gaz de Pétrole Liquéfié
GR1	Gazoduc Hassi R'mel 1 (ALRAR-Hassi R'mel)
GR2	Gazoduc Hassi R'mel 2 ((ALRAR-Hassi R'mel)
GR4	Gazoduc Hassi R'mel 2 ((RN-Hassi R'mel)
GR6	Gazoduc Hassi R'mel 2 ((RN-Hassi R'mel)
IHM	Interface Homme Machine
MPI	Multi Point Interface (Protocole de communication)
OB	Bloc d'Organisation
P&ID	Piping & Instrumentation diagram
PLC	Programmable Logic controller
PROFIBUS	Process Field Bus
SC2 ZINA	Station de Compression Gaz SC2GR1/GR2/GR4/GR6
SCADA	Système de Supervision et d'Acquisition des Données
SONATRACH	Société National de Transport et Commercialisation des Hydrocarbures
TIA Portal	Totally Integrated Automation Portal
TOR	Tout Ou Rien
TRC	Transport par Canalisation (Activité de Sonatrach)
WinCC	Windows Control Center

Introduction générale

Introduction générale

L'automatisation industrielle joue un rôle essentiel dans l'amélioration de la fiabilité, de l'efficacité et de la sécurité des installations de production. Dans un contexte marqué par l'évolution rapide des technologies, la modernisation des systèmes de contrôle devient incontournable, notamment pour les unités critiques telles que les stations de compression de gaz. Ces stations, intégrées au sein des infrastructures de transport de gaz, reposent sur une disponibilité continue des équipements pour assurer la pérennité du service et éviter toute interruption aux conséquences économiques et techniques importantes.

La station SC2 de Rhourd Nouss, exploitée par la division Transport par Canalisation (TRC) de SONATRACH, abrite une unité de production d'air comprimé indispensable au bon fonctionnement de ses installations de compression. Cependant, cette unité repose actuellement sur des automates programmables obsolètes (Allen-Bradley SLC 5/02 et IDEC Micro 1), mis en service depuis 1998. Ces équipements, arrivés en fin de cycle de vie, présentent des risques accrus de défaillances imprévues, aggravés par l'indisponibilité croissante des pièces de rechange sur le marché. De plus, la persistance de certains dysfonctionnements, tels que les pannes répétées des compteurs horaires ou la commande mécanique des cycles de charge et de décharge par pressostats, compromet sérieusement la planification de la maintenance préventive et la réactivité face aux anomalies de fonctionnement.

Face à ces constats, ce mémoire s'inscrit dans une démarche de modernisation globale de l'unité de production d'air. Il vise à concevoir et mettre en œuvre une solution d'automatisation et de supervision moderne, fiable et évolutive. Le projet proposé comprend notamment le remplacement des automates existants par un seul contrôleur moderne, l'intégration d'une Interface Homme-Machine (IHM) ergonomique, l'optimisation des cycles de fonctionnement des compresseurs et du sécheur, ainsi que

Introduction générale

l'installation de nouveaux transmetteurs de pression et de température pour un suivi plus précis du processus.

Le présent mémoire est structuré en trois chapitres. Le premier chapitre est consacré à la présentation de l'entreprise SONATRACH, de l'activité Transport par Canalisation, ainsi que de la station SC2 et de ses principaux équipements, notamment les compresseurs et le sécheur. Le deuxième chapitre détaille l'unité de production d'air comprimé (SKID AIR), avec une description technique complète des équipements, schémas de procédé, fonctionnement et architecture de contrôle, tout en mettant en évidence les problématiques identifiées. Enfin, le troisième chapitre est dédié à la solution proposée. Il traite de l'instrumentation recommandée, de la programmation du nouveau système automatisé, de la conception de l'IHM, et se conclut par une étude comparative avec un précédent travail similaire afin de situer les apports et les améliorations spécifiques du présent projet.

À travers ce travail, il s'agit de démontrer l'importance d'une migration technologique bien planifiée dans le maintien en conditions opérationnelles des unités industrielles, tout en soulignant les bénéfices d'une supervision efficace dans la prévention des pannes et l'optimisation des performances.

I. Chapitre 1 :

Activité TRC de SONATRACH
et Station SC2/Rhourd Nouss

1. Introduction :

Le secteur des hydrocarbures joue un rôle crucial dans l'économie de l'Algérie, et parmi les principaux intervenants de cette industrie se trouve SONATRACH, une entreprise nationale emblématique établie en 1963. Depuis sa nationalisation en 1971, SONATRACH a étendu son domaine d'intervention pour devenir un groupe intégré opérant à toutes les étapes de la chaîne de valeur des hydrocarbures, de l'exploration à la commercialisation.

Parmi ses nombreux domaines d'intervention, l'activité Transport par Canalisation (TRC) joue un rôle central dans l'acheminement des ressources énergétiques depuis les gisements souvent situés dans le sud du pays vers les centres de consommation et d'exportation.

Dans ce chapitre nous allons concentrer sur cette activité essentielle en mettant en avant son agencement, ses équipements et sa pertinence stratégique. Un intérêt particulier sera porté à la station de compression Zina SC2/Rhourd Nouss, élément central du réseau gazier de SONATRACH. Nous chercherons à approfondir notre compréhension des enjeux techniques et logistiques liés à cette installation en fournissant une analyse détaillée de ses équipements, de son fonctionnement et de son rôle dans le réseau de transport du gaz naturel.

2. Présentation de SONATRACH :

La SONATRACH (Société Nationale de Transport et Commercialisation des Hydrocarbures), fondée le 31 décembre 1963, était initialement responsable du transport et de la commercialisation des hydrocarbures. Après la nationalisation des hydrocarbures le 24 février 1971, ses activités se sont étendues à l'exploration, la production, le transport par pipelines, la transformation et la commercialisation des hydrocarbures (brut, condensat, GPL, gaz naturel) et de leurs dérivés, répartis en quatre secteurs d'activité principaux :

- **Exploration et Production (EP) :** Cette activité couvre l'exploration géophysique, le forage des puits et l'extraction des hydrocarbures.

- **Transport par Canalisation (TRC) :** Cette activité concerne l'acheminement des hydrocarbures (brut et gaz) depuis les champs de production, souvent situés au sud, vers le nord via des pipelines pour la commercialisation et le raffinage.
- **Liquéfaction, Raffinage, Pétrochimie (LRP) :** Cette activité englobe la liquéfaction du gaz naturel, qui réduit son volume à 1/600e de celui à l'état gazeux, facilitant ainsi son transport, le raffinage du pétrole pour produire des carburants comme l'essence et le diesel, ainsi que la pétrochimie pour la transformation en d'autres produits dérivés.
- **Commercialisation (COM) :** Cette activité se consacre à la vente des produits hydrocarbures et à l'interaction avec les clients.

3. Présentation de l'activité du TRC :

L'activité transport par canalisation (TRC) de SONATRACH assure l'acheminement des hydrocarbures (pétrole brut, gaz, GPL et condensat) depuis les zones de production vers les sites de stockage, les complexes de liquéfaction (GNL et GPL), les ports pétroliers et les pays importateurs. Cette activité constitue un maillon clé de la chaîne pétrolière du groupe.

Le réseau de transport des hydrocarbures de TRC connaît une expansion rapide, passant de 11 500 km en 1995 à plus de 20 000 km aujourd'hui. Il est composé de pipelines spécialisés pour le transport du gaz naturel (gazoducs) et du pétrole (oléoducs), construits en acier et souvent enterrés.

Le réseau est soutenu par plus de 70 stations de pompage et de compression, équipées d'environ 373 machines, dont 250 principales. Les stations de compression propulsent le gaz naturel grâce à des turbocompresseurs, tandis que les stations de pompage assurent l'acheminement du pétrole à l'aide de turbopompes et motopompes.

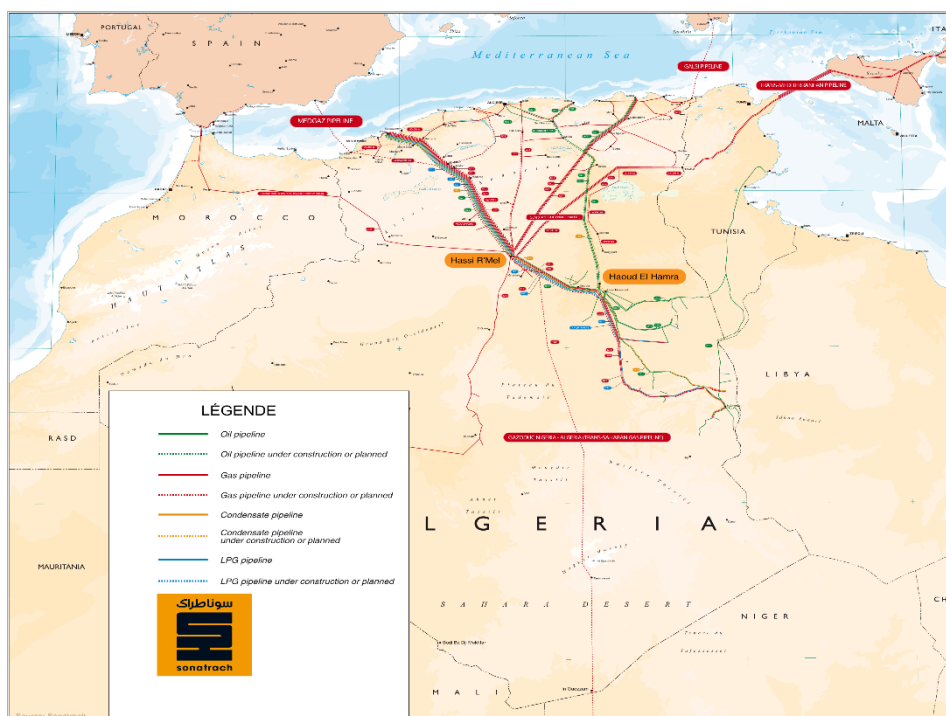


Figure I-1 : Carte du pétrole et du gaz de l'Algérie

Le contrôle du réseau repose sur plusieurs systèmes automatisés, notamment :

- **DCS (Distributed Control System)** pour la gestion et l'interface utilisateur,
- **SCADA** pour la supervision en temps réel,
- **Systèmes de contrôle de turbines** pour optimiser leur performance,
- **API auxiliaires** pour des fonctions complémentaires.

Ce réseau performant permet un transport efficace et sécurisé des hydrocarbures sur de longues distances.

3.1. Station de pompage :

Les pipelines transportant du pétrole (liquide) passent par des stations de pompage, qui assurent l'acheminement de l'hydrocarbure jusqu'à la station suivante. Une station de pompage est essentiellement composée de turbopompes (pompes entraînées par une turbine) ou de motopompes (pompes entraînées par un moteur).

3.2. Station de compression :

Le long du pipeline transportant du gaz naturel, des stations de compression sont installées pour comprimer le gaz et le propulser depuis les champs de production ou le CNDG (Centre National de Dispatching Gaz) jusqu'à sa destination. Une station de

compression est principalement constituée d'une unité de compression, composée d'un ou plusieurs turbocompresseurs installés en parallèle. Par exemple, dans une configuration à trois compresseurs, deux compresseurs fonctionnent tandis que le troisième sert de secours.

4. Présentation de la Station Zina SC2/Rhourd :

La station de compression ZINA, également désignée SC2 (GR1/GR2), est située dans le sud-est algérien, à environ 65 km de Hassi Messaoud. Construite en 1999 par la société américaine BECHTEL, elle joue un rôle stratégique dans le transport du gaz naturel depuis le champ gazier d'Alrar jusqu'à Hassi R'mel, en s'intégrant au réseau de gazoducs GR1, GR2, GR4 et GR6. La mission principale de la station est d'assurer la compression du gaz naturel afin de garantir un acheminement fluide et continu vers le Centre National de Dispatching Gaz (CNDG) à Hassi R'mel. Mise en service en 2000, la station disposait initialement de trois turbocompresseurs d'une capacité de 2,7 millions de Nm^3/h . En 2007, pour répondre à la demande croissante en gaz, un quatrième turbocompresseur a été ajouté, portant ainsi sa capacité annuelle à 32 milliards de Nm^3 [1].

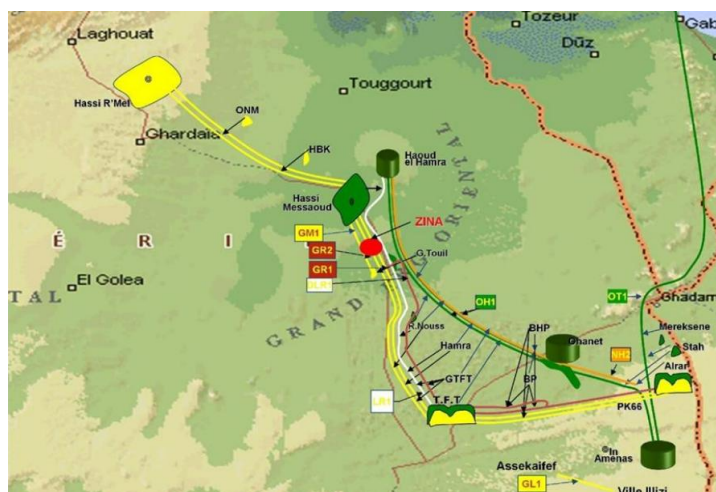


Figure I-2 : Localisation de la station de compression Zina SC2 GR1/GR2

4.1. Description des procédés et des installations :

La station de compression Zina reçoit le gaz naturel en provenance de Rhourd Nouss via les gazoducs GR1, GR2, GR4 et GR6, et l'achemine, après compression, vers la station SC3 d'Ouargla. Le gaz entre par un collecteur de 42'' puis passe par un

séparateur pour l'élimination des particules solides et liquides. La pression d'entrée est de 52 bar, celle de refoulement atteint 70 bar, avec un débit nominal de 3,4 millions de Nm^3/h .

La station est équipée d'un système de recyclage à froid en tête d'installation, destiné à stabiliser le débit en cas de perturbation de l'arrivée de gaz. En sortie, chaque turbocompresseur dispose d'un système de recyclage à chaud, les conduites sont calorifugées et le gaz est refroidi à 52 °C par des aéroréfrigérants en cascade, assurant le respect des conditions de refoulement.

L'unité de compression comprend quatre trains composés chacun d'une turbine à gaz couplée à un compresseur. Les unités auxiliaires incluent une centrale électrique interne composée de trois turboalternateurs, un Skid d'air comprimé, ainsi que divers équipements annexes nécessaires à l'exploitation de la station [1].

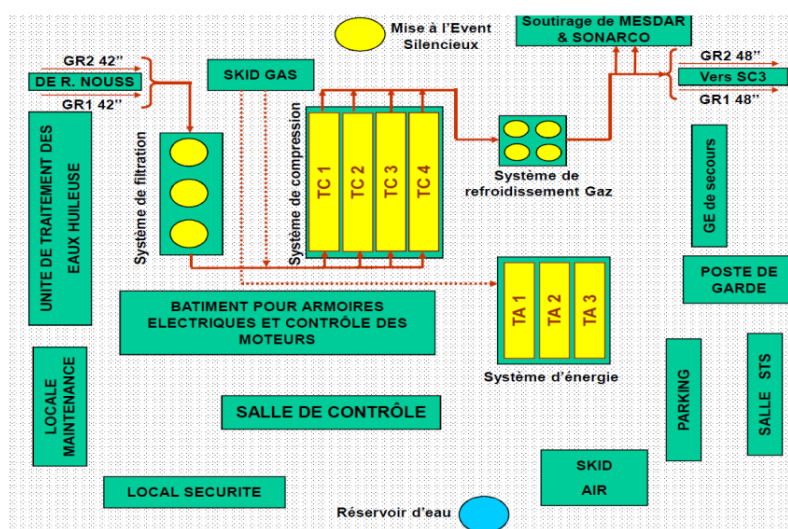


Figure I-3 : Synoptique de station de compression Zina

5. Installation et distribution d'air instrument, service :

Les exigences en air de la station sont l'air instruments et l'air service. Pour répondre à ces besoins, deux (2) unités de compression montées sur SKID sont prévues.



Figure I-4 : Les compresseurs d'air

Nous avons aussi dans notre unité de production d'air un sécheur d'air qui sèche l'air d'humidité et l'utilise comme air instruments.

L'air service est utilisé pour plusieurs applications dans la station de compression, telles que le nettoyage des équipements, la purge des circuits, ainsi que l'alimentation en air pour divers outils pneumatiques et systèmes auxiliaires. Il joue un rôle important dans les opérations de maintenance et d'exploitation.

L'air instruments, quant à lui, est indispensable pour le fonctionnement automatique des équipements. Il est utilisé pour actionner plusieurs vannes et autres actionneurs dans les différentes unités de la station.

5.1. Les compresseurs d'air instruments/air service (C-0751A/B) :

Les compresseurs d'air instruments/air service (C-0751A/B) sont des compresseurs à vis mono-étage, lubrifiés à l'huile, refroidis par air, et entraînés par des moteurs électriques d'une puissance de 75 kW (modèles C-0751A/B).

La pression de refoulement en service est de 8,58 bars, avec un débit nominal de 401 Nm³/h.

Le compresseur principal (primaire) fonctionne à pleine capacité, soit 100 %, tandis que le compresseur secondaire (de secours) reste en veille avec une capacité nominale de 0 %. En cas d'arrêt imprévu ou de défaillance du compresseur principal, le compresseur secondaire est conçu pour se mettre automatiquement en fonctionnement. Il prend alors en charge l'alimentation en air comprimé, assurant le maintien de la pression du système et la satisfaction des besoins en air.

5.2. Sécheurs d'air instruments (D-0751A/B) :

Les sécheurs d'air instruments (D-0751A/B) sont conçus pour un échauffement réduit et consistent en deux (2) récipients verticaux contenant une couche déshydratante d'alumine activée.

Pendant que l'un des récipients est en service, l'autre est en phase de régénération.

La régénération de la couche déshydratante est obtenue au moyen d'une purge d'air prélevée directement à la sortie du récipient en service, le débit de l'air de purge étant contrôlé à 22 Nm³/h par un limiteur de débit en ligne.

Les cycles d'absorption et de régénération sont préréglés et contrôlés automatiquement sur une période cyclique de dix (10) minutes.

L'air instruments quittant le sécheur a un point de rosée de moins quarante degrés Celsius (-40°C).

Les récipients des sécheurs sont protégés contre la surpression par des soupapes de sécurité (P.S.V.).

L'évacuation de l'air de purge à l'air libre se fait en passant par un silencieux (SL-0703) et vers un endroit ne présentant aucun danger.

6. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons donné une description d'ordre générale sur l'entreprise algérienne des hydrocarbures SONATRACH, et plus précisément sur la station de compression de gas ZINA SC2/ Rhourd Nouss, nous avons abordé son contexte historique, sa localisation géographique ainsi que les procédés et installations qui la composent.

II. Chapitre 2 :

Présentation de l'unité de production
d'air (SKID AIR)

1. Introduction :

L'air comprimé, l'une des plus anciennes formes d'énergie maîtrisées par l'homme, occupe aujourd'hui une place centrale dans le secteur industriel. Polyvalent et indispensable, ce fluide énergétique intervient dans une multitude d'applications : nettoyage, séchage, transport de matériaux, conditionnement, ou encore automatisation des procédés. Il constitue le cœur de nombreux systèmes de commande et de puissance, notamment dans les environnements industriels où fiabilité et efficacité sont primordiales.

Dans les installations industrielles modernes, l'air comprimé est généralement produit à l'aide de compresseurs intégrés dans des unités dédiées, puis traité et stocké avant d'être distribué aux différents équipements. Ces unités doivent garantir une qualité d'air conforme aux exigences des procédés, tout en assurant une disponibilité et une sécurité optimales.

Ce chapitre est consacré à l'étude détaillée de SKID AIR de la station de compression de gaz ZINA, qui alimente en air les équipements de service ainsi que les instruments de commande de l'installation.

2. Description du SKID AIR :

Parmi les unités principaux dans la station nous avons l'unité de production d'air (SKID Air) qui va remplir les besoins de la station comme l'air service et l'air instruments. Notre SKID est composée du deux compresseur d'air, Sécheur, Deux ballon de réservoir d'air.

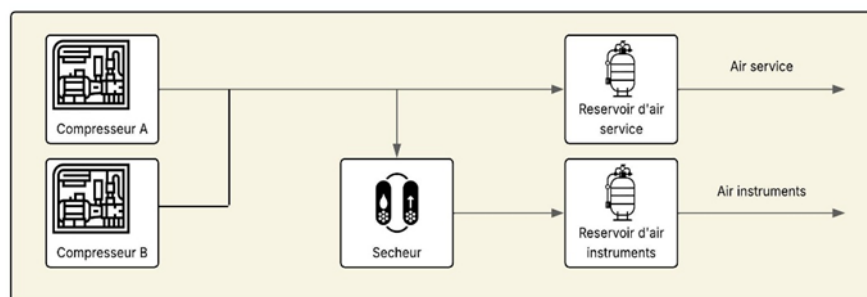


Figure II-1 : Synoptique du SKID Air

2.1. Système d'air instruments :

L'air des compresseurs d'air instruments (C-0551A/B), aspiré depuis l'atmosphère, est filtré, comprimé, refroidi, séparé de l'huile et de l'eau, puis envoyé à travers un système de traitement comprenant un préfiltre, des sécheurs et un post-filtre. Ce système assure un air sec à un point de rosée de $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, grâce à des sécheurs à régénération avec chauffage réduit, opérant selon un cycle de 10 minutes contrôlé par minuterie. L'air sec est ensuite stocké dans un ballon d'air instruments (D-0556), équipé de dispositifs de sécurité et de contrôle (indicateur de niveau, soupape de sécurité, purge). Ce système alimente en air plusieurs vannes essentielles dans les unités de procédé, assurant le bon fonctionnement et la sécurité de l'installation [2].

2.2. Système d'air service :

Le système d'air service est alimenté à partir d'une prise située en aval du préfiltre à air instruments (F-0553). L'air passe par une soupape de pression (PV-45047), commandée par un pressostat (PSL-45048), qui assure la protection du système d'air instruments en cas de chute de pression. L'air est ensuite stocké dans le réservoir d'air service (D-0555), équipé d'un indicateur de niveau, d'un purgeur avec dérivation, d'un indicateur de pression, ainsi que d'une soupape de sécurité réglée à 10,3 bars. Ce système permet de distribuer l'air service dans différents bâtiments, unités de la station, et dans le réseau de distribution d'eau [2].

3. Schéma P&ID :

Dans la Figure II-2, nous allons voir le schéma de tuyauterie et d'instrumentation (P&ID) de l'unité de production d'air comprimé de notre SKID air. Ce schéma permet d'identifier les principaux équipements de l'installation, tels que les compresseurs, les réservoirs de stockage, les sécheurs, les filtres, ainsi que le réseau de tuyauterie assurant la distribution de l'air comprimé vers les différents points d'utilisation. Il met également en évidence les instruments de mesure et de sécurité essentiels au bon fonctionnement du système, notamment les pressostats, manomètres, soupapes de sécurité et vannes de régulation. Ce type de représentation est fondamental pour la conception, l'exploitation et la maintenance des installations industrielles, car il offre une vue globale des circuits,

Chapitre 2 Présentation de l'unité de production d'air (SKID AIR)

des flux d'air et des dispositifs de contrôle, facilitant ainsi le diagnostic et les interventions techniques.

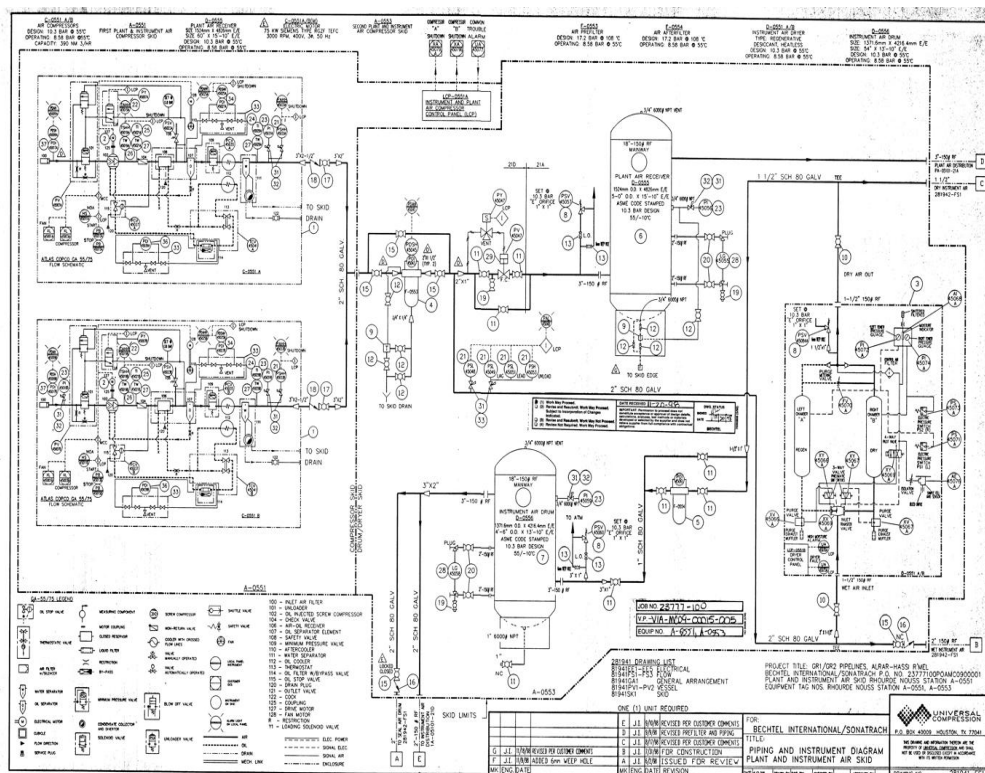


Figure II-2 : Schéma P&ID

4. Compresseur :

4.1. Description du compresseur :

Dans notre unité de production d'air comprimé, nous avons un compresseur d'air à vis lubrifié, ce compresseur est un type de compresseur à vis rotatives dans lequel de l'huile est injectée dans l'élément de compression pendant le processus de compression de l'air. L'huile joue plusieurs rôles essentiels : elle lubrifie les rotors, réduit la chaleur générée par la compression et contribue à l'étanchéité entre les vis. Le mélange d'air et d'huile est ensuite séparé par un séparateur spécialisé, où l'huile est filtrée, refroidie et réinjectée dans le système, tandis que l'air comprimé est évacué après un passage dans un post-refroidisseur. Dans notre installation, nous utilisons un compresseur Atlas Copco GA75 à vitesse fixe, qui offre une pression stable et une efficacité énergétique optimisée pour les besoins de production en air comprimé.

La figure II-3 présente la vue avant de notre compresseur accompagné de la désignation de ses différents éléments :

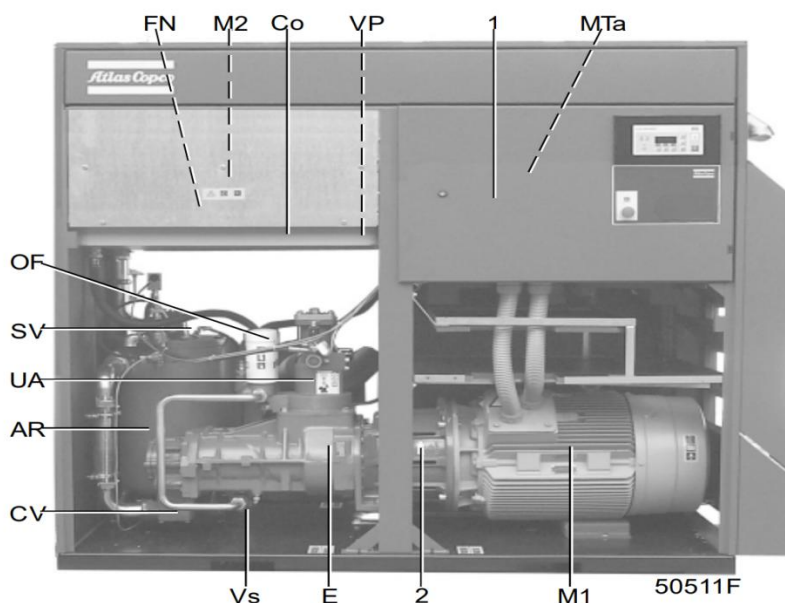


Figure II-3 : Vue avant du compresseur

Elément	Désignation
AR	Récepteur d'air
Co	Refroidisseur d'huile
CV	Clapet anti-retour
E	Élément compresseur
FN	Ventilateur
MTa	Piège à condensats
M1	Moteur d'entraînement
M2	moteur de ventilateur
OF	Filtres à huile
SV	Soupape de sécurité
UA	Déchargeur
VP	Bouchon d'aération
Vs	Vanne d'arrêt d'huile
1	Armoire électrique
2	Flèche indiquant le sens de rotation du moteur

Tableau 1 : Les éléments du compresseur vue avant

La figure II-4 présente la vue arrière de notre compresseur, ainsi que l'identification de ses composants :

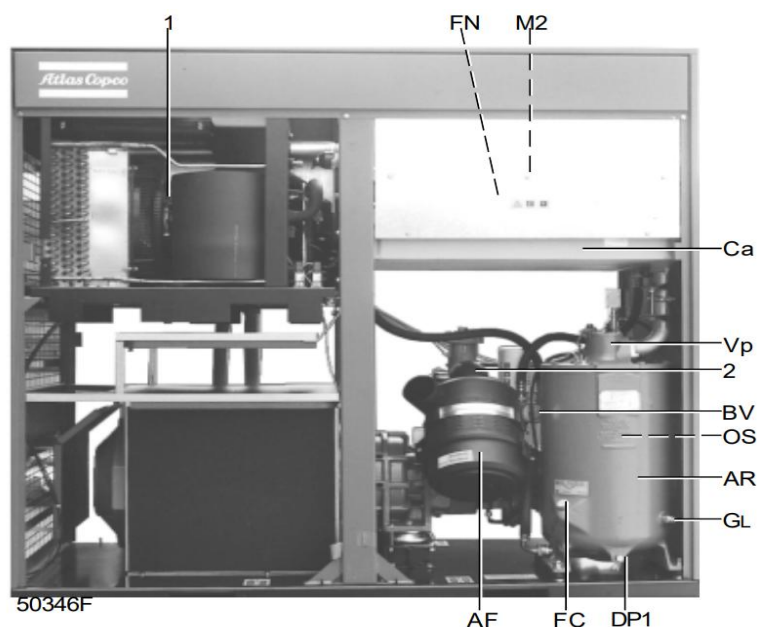


Figure II-4 : Vue arrière du compresseur

Elément	Désignation
AR	Récepteur d'air
AF	Filtre à air
BV	Vanne de dérivation du refroidisseur d'huile
Ca	Refroidisseur d'air
FN	Ventilateur
FC	Bouchon de remplissage d'huile
DP1	Bouchon de vidange d'huile
M2	moteur de ventilateur
G1	Jauge de niveau d'huile
OS	Élément séparateur d'huile
Vp	Soupape de pression minimale
1	Sécheur
2	Tuyau d'admission d'air

Tableau 2 : Les éléments du compresseur vue arrière

4.2. Éléments principaux de compresseur [3]:

La figure ci-après illustre un schéma fonctionnel d'un compresseur d'air lubrifié, mettant en évidence l'enchaînement des flux d'air et d'huile à travers les différents sous-

systèmes. Elle illustre le principe de fonctionnement global du circuit de compression, de séparation et de refroidissement, en intégrant les éléments clés assurant le bon déroulement du cycle thermodynamique et la protection des composants internes.

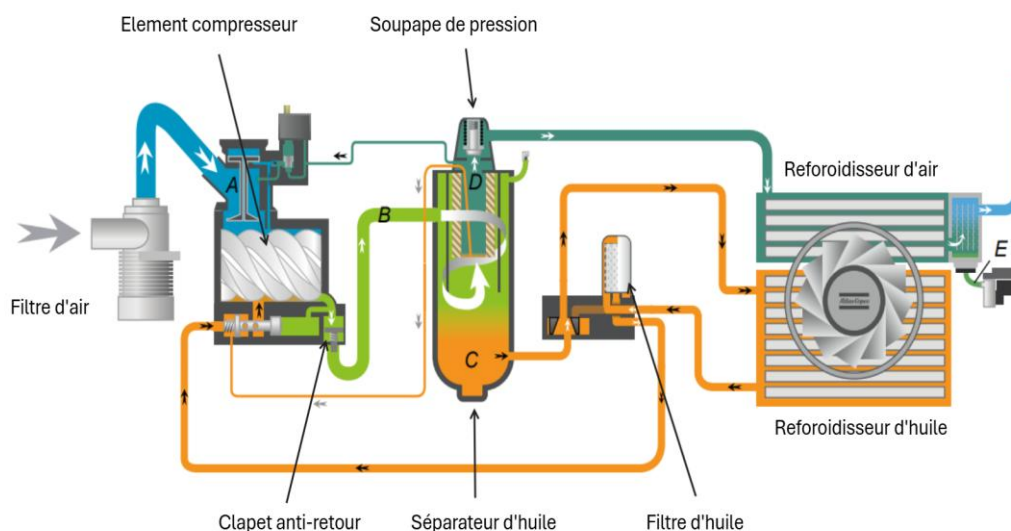


Figure II-5 : Schéma d'écoulement

Elément	Désignation
A	Air d'admission
B	Mélange air/huile
C	Huile
D	Air comprimé humide
E	Condensats

Tableau 3 : éléments principaux de compresseur

La figure II-6 illustre l'architecture interne d'un compresseur à vis lubrifié, en détaillant les liaisons fonctionnelles entre ses composants principaux. Elle met en relief la coordination des mécanismes de commande et de régulation, ainsi que l'agencement des circuits nécessaires à la gestion thermique et à la lubrification du système.

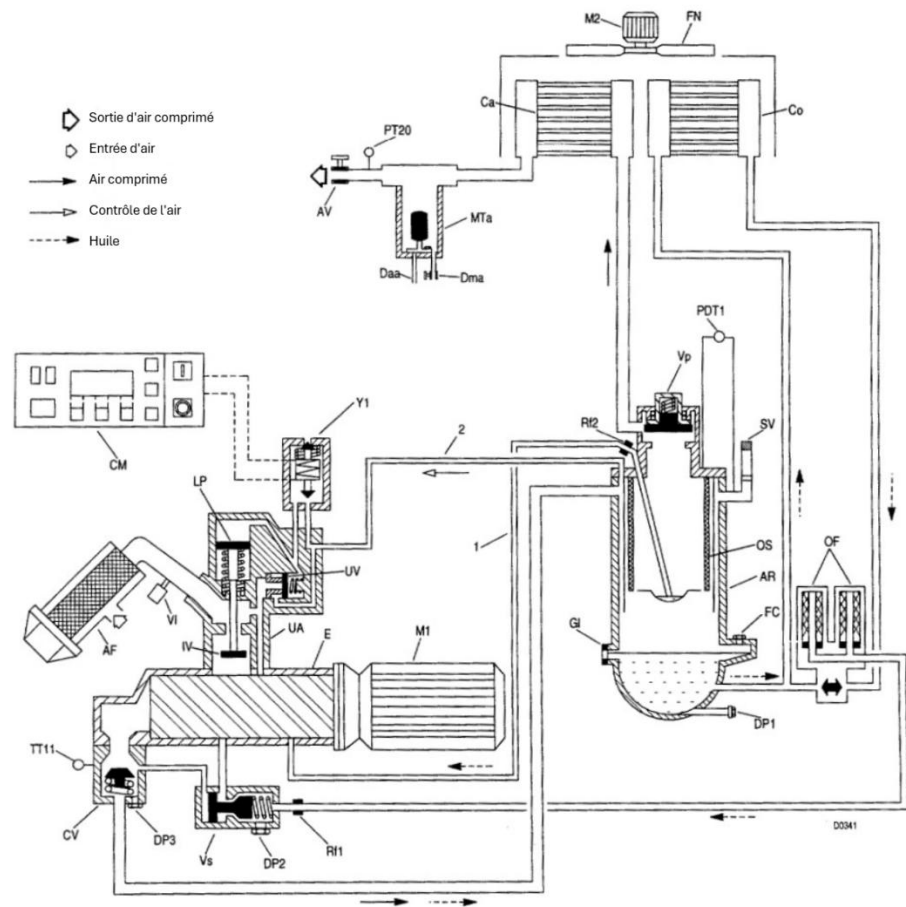


Figure II-6 : Diagramme de flux

a. Filtre d'air (AF) :

Le filtre à air se trouve dans le début du compresseur avant la vanne d'admission, son rôle principal est d'éliminer les impuretés présentes dans l'air aspiré, garantissant ainsi la qualité optimale de l'air comprimé et assurant la protection du système. Le choix du filtre est déterminé par les conditions opérationnelles et les critères de qualité de l'air requis.



Figure II-7 : Filtre à air

b. Vanne d'admission (IV):

La vanne d'admission de type TOR (Tout ou Rien) assure la gestion binaire du flux d'air vers le compresseur. Elle est soit complètement ouverte, permettant l'admission totale de l'air dans l'élément de compression, soit complètement fermée, empêchant toute entrée d'air. Cette vanne joue un rôle crucial dans la protection du système, notamment en évitant le retour d'air comprimé vers l'admission lors de l'arrêt du compresseur. De plus, elle intervient dans la gestion des phases de charge et de décharge du compresseur, en autorisant ou bloquant l'admission d'air en fonction de la demande du système.



Figure II-8 : Vanne d'admission

- Charge et Décharge :

Lorsque la consommation d'air est inférieure à la capacité de production du compresseur, notamment en sortie de celui-ci, la pression dans le circuit augmente progressivement. Ce phénomène conduit à l'état de décharge, qui se manifeste lorsque la pression atteint un seuil défini : l'électrovanne (Y1) est alors désactivée, permettant au piston de revenir à sa position initiale sous l'effet du ressort. En revanche, lorsque la pression chute en dessous du seuil de charge, notamment en aval du réservoir, le système passe en mode charge : l'électrovanne (Y1) est activée, provoquant le déplacement du piston vers le haut, contre la force du ressort, afin de rétablir la pression dans le circuit.

c. Moteur électrique (M1) :

Le moteur électrique de notre compresseur est un moteur robuste conçu pour fournir une puissance de 75 kW, assurant ainsi un fonctionnement stable et fiable de l'équipement. Son rôle principal est d'entraîner l'une des vis rotatives de l'élément de compression.



Figure II-9 : Moteur électrique ATLAS COPCO GA75

d. Élément Compresseur (E) :

L'élément compresseur se compose de deux vis rotatives (mâle et femelle) qui garantissent la compression de l'air. L'huile injectée est essentielle pour le refroidissement, l'étanchéité et la réduction du frottement entre les vis.



Figure II-10 : Les vis rotatives d'élément de compression

e. Clapet anti-retour (Vs) :

Le clapet anti-retour est un mécanisme assurant la direction unilatérale du flux du mélange air comprimé/huile vers le séparateur d'huile.

f. Séparateur d'huile (AR) :

Cet élément a pour rôle de séparer l'huile de l'air comprimé suite au processus de compression. Cette huile est employée dans le but de lubrifier, refroidir et assurer l'étanchéité des vis, puis elle est collectée et réintroduite dans le système. Ce composant joue un rôle essentiel en assurant la qualité de l'air et en préservant l'intégrité du système pneumatique contre toute forme de contamination.



Figure II-11 : Kit de séparateur d'huile

g. Soupape de pression (Vp) :

La soupape de pression, également appelée soupape de maintien de pression, est un élément positionné à la sortie du séparateur huile-air vers le refroidisseur d'air, elle assure une fonction de clapet anti-retour en bloquant le retour de l'air comprimé vers le séparateur.



Figure II-12 : Soupape de pression

h. Filtre d'huile (OF) :

Le rôle du filtre à huile est d'éliminer les impuretés et les contaminants qui peuvent se trouver dans l'huile de lubrification.



Figure II-13 : Filtre d'huile

i. Systèmes de refroidissement et d'évacuation des condensats :

Le système de refroidissement est composé d'un refroidisseur d'air (Ca) et d'un refroidisseur d'huile (Co). Dans ce type de compresseur, l'air de refroidissement est généré par un ventilateur (FN), qui assure la dissipation thermique nécessaire. L'air circule à travers les échangeurs du refroidisseur avant d'être évacué par une conduite de sortie.

Pour l'évacuation des condensats, un piège à condensats (MTa) est intégré au circuit de sortie d'air. Ce dispositif comprend une vanne permettant une vidange

automatique des condensats pendant le fonctionnement du compresseur, ainsi qu'une vanne manuelle pour l'évacuation après son arrêt.

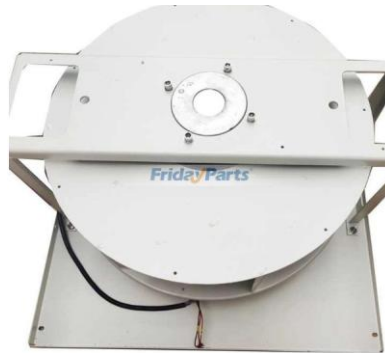


Figure II-14 : Ventilateur de refroidissement

j. Pressostats :

Pressostat est un dispositif de commande qui détecte la pression d'un fluide d'air et actionne un contact électrique lorsque la pression atteint un seuil prédéfini [4]. Dans notre système nous avons beaucoup pressostat pour garantir le bon fonctionnement et la sécurité du système, voici quelques pressostats présents dans notre système :

- **PDSH-45045** : Pressostat de haute pression différentielle au niveau du préfiltre à air.
- **PSL-45049** : Pressostat basse pression du système d'air instruments (à retardement).
- **PSL-45051** : Pressostat basse pression du système d'air instruments (principal).
- **PSL-45053** : Pressostat haute pression du système d'air instruments (décharge).

k. Thermostats :

Thermostats sont des instruments de régulation thermique qui détecte la température d'un milieu et commande la mise en marche ou l'arrêt du système lorsque la température atteint un seuil prédéfini. Notre unité de production d'air contient cet instrument comme un moyen de sécurité pour protéger le système de la haute température qui peut endommager notre compresseur. Nous avons un seul thermostat qu'on trouve dans les compresseurs A/B :

- **TSHH-45019A/B** : Arrêt à 230°F pour température de refoulement élevée.

1. Circuit d'air et d'huile :**- Circuit d'air :**

Dans notre compresseur, L'air est aspiré à travers un filtre (AF) avant d'entrer dans le compresseur par la vanne d'admission (IV). Une fois comprimé par l'élément de compression (E), ou il se mélange à l'huile et diriger vers le séparateur air/huile (AR) à travers un clapet anti-retour (CV). Ensuite, l'air traverse une vanne de pression minimale (Vp), passe par le refroidisseur d'air (Ca) et finit par être évacué à travers un piège à condensats (MTa).

Le clapet anti-retour (CV) empêche l'air comprimé de refluer lorsque le compresseur est à l'arrêt, tandis que la vanne de pression minimale (Vp) maintient une pression suffisante dans le réservoir pour éviter une chute excessive.

- Circuit d'huile :

Dans le séparateur air/huile (AR), la majeure partie de l'huile est extraite du mélange air/huile grâce à un processus de séparation centrifuge. L'huile restante est éliminée par l'élément de filtration d'huile (OS). L'huile récupérée s'accumule dans la partie inférieure du séparateur air/huile (AR), qui joue également le rôle de réservoir d'huile.

Le système d'huile comprend une vanne de dérivation (BV) qui empêche l'huile de passer par le refroidisseur d'huile (Co) lorsque sa température est inférieure à 40°C. Dans cette situation, l'air comprimé force l'huile à circuler depuis le séparateur (AR), à travers les filtres à huile (OF) et la vanne d'arrêt d'huile (Vs), vers l'élément de compression (E) et ses points de lubrification. Lorsque la température de l'huile atteint environ 55°C, la vanne de dérivation (BV) s'ouvre complètement, permettant à l'huile de circuler à travers le refroidisseur d'huile (Co).

Enfin, la vanne d'arrêt d'huile (Vs) empêche l'élément de compression d'être inondé d'huile lorsque le compresseur est arrêté. Elle s'ouvre automatiquement sous l'effet de la pression de sortie de l'élément lorsque le compresseur démarre.

5. Sécheur :

Un sécheur d'air est un dispositif conçu pour éliminer l'humidité de l'air comprimé afin de protéger les équipements en aval. Le modèle D-0751A/B se compose de deux récipients verticaux contenant de l'alumine activée comme agent déshydratant. Il fonctionne en alternant entre un récipient en phase de séchage et l'autre en régénération, avec des cycles automatiques de 10 minutes. L'air purgé est évacué à travers un silencieux, et la surpression est sécurisée par des soupapes de sécurité (PSV). Le système assure un point de rosée pouvant atteindre $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, garantissant une qualité d'air très sèche pour les instruments [5].



Figure II-15 : Sécheur d'air comprimé régénératif sans chaleur VAN AIR HL-500s

La figure II-16 présente le schéma de principe d'un sécheur d'air comprimé par adsorption à double colonne. Ce système, conçu pour assurer un séchage continu, alterne entre deux colonnes afin de garantir la déshumidification de l'air tout en régénérant le dessiccant. Le schéma met en évidence les principaux éléments fonctionnels nécessaires à son fonctionnement : colonnes de traitement, vannes, clapets, filtres et dispositifs de contrôle de pression.



c. Hygromètre :

Hygromètre (Moisture indicator) est un dispositif visuel utilisé pour surveiller le taux d'humidité de l'air comprimé. Il se présente sous la forme d'un tube transparent contenant des cristaux sensibles à l'humidité. Ces cristaux changent de couleur selon le niveau d'humidité de l'air :

- **Rose** : indique que l'air est humide (présence importante de vapeur d'eau),
- **Bleu** : indique que l'air est sec (air bien déshumidifié).

Le changement de couleur s'effectue en fonction du point de rosée de l'air, généralement dans une plage allant de **-6°C à -40°C**. Ce changement permet de vérifier rapidement l'efficacité du processus de séchage et d'anticiper d'éventuels dysfonctionnements du système.

d. Soupape de sécurité (PSV) :

La fonction de cette soupape est de servir de dispositif de sécurité calibré à 10,3 bars, ayant pour but de s'activer automatiquement en cas de surpression pour libérer l'excès d'air comprimé. De cette manière, elle permet de prévenir les dommages aux composants internes et de garantir la sécurité du système. Après que la pression est revenue à la normale, la vanne se ferme automatiquement.

e. Clapet anti-retour de sortie :

Ce clapet est un dispositif de contrôle de l'air de sortie. Il se trouve après les tours du sécheur. Son rôle principal est d'empêcher le retour de l'air et régule le flux d'air sortant. Si cet élément échoue, cela peut entraîner soit une purge importante d'air depuis une tour, soit un blocage du flux d'air de sortie.

f. Pressostats :

- **PS-45071A** : Pressostat local du sécheur d'air instruments D-0751 A (compartiment de gauche).
- **PS-47073A** : Pressostat local du sécheur d'air instruments D-0751 B (compartiment de droite).

g. Tours :

Les tours de séchage et de régénération du notre sécheur sont généralement construites en acier peint ou en acier inoxydable pour résister à la pression et à la corrosion. Chaque colonne est remplie d'un dessiccant, qui adsorbe l'humidité contenue dans l'air comprimé. La capacité de traitement est d'environ 500 SCFM (Standard Cubic Feet per Minute), ce qui correspond à environ 14,15 m³/min.

Ils sont équipés avec deux manomètres pour mesurer la pression d'air pour chaque tour.

h. Séchage et Régénération :

Dans notre sécheur, le processus fonctionne en alternance entre les deux tours. Pendant la phase de séchage, une des tours est mise sous pression avec l'air comprimé, qui traverse le lit de dessiccant et y perd son humidité. En même temps, l'autre tour entre en phase de régénération : une portion d'air sec (air de purge) est redirigée à travers son lit de dessiccant pour en extraire l'humidité accumulée, puis est évacuée vers l'atmosphère par la vanne de purge. Le pilotage des électrovannes SV1 et SV2 permet d'alterner automatiquement les rôles des colonnes : si SV2 est activée, c'est la tour gauche qui sèche, et si SV1 est activée, c'est la tour droite.

i. Cycles de temps :

Les modes de temps de cycle d'un sécheur sont réglables selon les besoins opérationnels, mais certaines recommandations doivent être suivies pour assurer un bon fonctionnement. Le temps de demi-cycle standard est généralement fixé à 5 minutes (300 secondes). Il est toutefois possible de régler ce demi-cycle à un minimum de 2 minutes (120 secondes), bien qu'il soit déconseillé de descendre en dessous de cette durée. Le temps de pressurisation est fixé à 20 secondes et ne devrait pas être modifié. De même, le temps d'alarme est prédéfini à 96 secondes et doit toujours rester inférieur au temps de demi-cycle afin de garantir le bon fonctionnement de l'alarme. Il est également important de noter que l'utilisation d'un cycle de 4 minutes augmente considérablement l'usure des composants du sécheur. Pour réduire cette usure, il est

recommandé d'utiliser un cycle de 10 minutes si un point de rosée de $-40\text{ }^{\circ}\text{F}$ est acceptable.

6. Réservoir d'air :

6.1. Réservoir d'air instruments (D-0756) :

Le réservoir d'air instruments (D-0756) est un ballon d'air vertical d'une capacité de $6,87\text{ m}^3$, avec un diamètre extérieur de $1,524\text{ m}$ et une longueur totale de $4,140\text{ m}$. Il est protégé contre la surpression par une soupape de sécurité et dispose d'un indicateur de pression pour le contrôle. Le ballon est également équipé d'un indicateur de niveau visible, d'une vanne de purge pour l'évacuation, ainsi que d'un trou d'homme de 18 pouces facilitant l'accès intérieur pour les opérations d'inspection ou de maintenance [2].



Figure II-17 : Sécheur avec les ballon de réservoir d'air

6.2. Réservoir d'air service (D-0755) :

Le réservoir d'air de service (D-0755) est un ballon d'air vertical d'une capacité de $8,06\text{ m}^3$, mesurant $1,524\text{ m}$ de diamètre extérieur et $4,826\text{ m}$ de longueur totale. Il est équipé d'une soupape de sécurité pour prévenir toute surpression, ainsi que d'un indicateur de pression pour le contrôle. Le ballon dispose également d'un indicateur de niveau visible, d'un purgeur avec dérivation pour l'évacuation de l'humidité, et d'un trou d'homme de 18 pouces facilitant l'accès à l'intérieur pour l'inspection ou la maintenance [2].

7. Armoires de commande :

7.1. Armoire de commande des compresseurs :

Les 2 compresseurs d'unité sont commandés par une seule armoire qui contient le système électrique commandés par l'automate Allen Bradley SLC 500.

Allen Bradley SLC 500 est un Automate programmable industriel (API) développée par Rockwell Automation, connue pour sa robustesse et sa grande adaptabilité. Lancé comme l'un des premiers automates de la marque, il reste une référence incontournable dans l'industrie grâce à sa modularité et la richesse de ses options. Le SLC 500 existe en version bloc avec extension possible via un châssis double, ainsi qu'en version modulaire pouvant gérer jusqu'à 960 points d'entrées/sorties. Il est compatible avec une large gamme de modules E/S au format 1746 (TOR, analogiques, spécialisés), ce qui facilite son adaptation à différentes applications. Dans notre cas, le système est équipé du processeur SLC 5/02, un modèle intermédiaire offrant une bonne capacité de traitement et une communication via le réseau DH-485, idéal pour des installations de taille moyenne. L'architecture interne du SLC 500 comprend une alimentation multi-tension (110/220 V alternatif ou 24 V continu), un bus de communication, un microprocesseur, une mémoire interne, ainsi que des interfaces d'entrées/sorties modulaires. Il propose aussi plusieurs tailles de châssis (4, 7, 10 et 13), permettant une installation souple et évolutive. Grâce à plus de 48 modules différents et des capacités de communication variées (DH-485, RS-232, DH+) [1].



Figure II-18 : Allen Bradley SLC 500

7.2. Armoire de commande du sécheur :

Le sécheur d'air de l'unité est piloté par une armoire électrique dédiée, équipée d'un automate IDEC Micro 1 assurant la gestion automatique de ses cycles de fonctionnement.



Figure II-19 : Vue extérieure d'armoire



Figure II-20 : Vue intérieure d'armoire

L'Idec Micro-1 est un automate programmable compact conçu par IDEC Corporation, adapté aux petites applications industrielles grâce à sa simplicité, sa fiabilité et son coût réduit. Ce modèle intègre dans un seul boîtier l'unité centrale, l'alimentation, ainsi que 14 points d'E/S (8 entrées et 6 sorties), avec possibilité d'extension. Il est programmable en langage ladder via le logiciel WindLDR et dispose des fonctions de base comme les minuteries, compteurs et registres, avec une mémoire EEPROM pour la sauvegarde des données. Dans notre projet, cet automate assure de manière autonome le contrôle des cycles de séchage et de régénération du sécheur d'air, sans recours à une supervision centralisée [6].



Figure II-21 : IDEC micro 1

8. Problématique :

L'obsolescence des automates programmables Allen-Bradley SLC 5/02 contrôlant les compresseurs d'air depuis 1998, ainsi que l'automate IDEC Micro 1 qui contrôle le sécheur d'air, expose le système à des risques accrus de défaillance sans possibilité de remplacement immédiat après l'épuisement du stock de la pièce de rechange, et par conséquent, l'indisponibilité de toute la station de compression du gaz.

Par ailleurs, les pannes récurrentes des compteurs des heures de marche empêchent une planification efficace de la maintenance préventive des compresseurs, augmentant ainsi le risque d'arrêts imprévus et d'une dégradation des performances opérationnelles.

Enfin, l'utilisation de pressostats mécaniques pour la commande des cycles de charge/décharge des compresseurs et l'absence d'un système d'alerte en cas de température excessive limitent encore davantage la réactivité du système.

9. Conclusion :

Ce chapitre nous a permis de découvrir l'unité de production d'air comprimé de la station ZINA, son fonctionnement, ses composants essentiels ainsi que son rôle crucial dans l'alimentation des systèmes de service et d'instrumentation. Cette compréhension technique constitue une base importante pour toute démarche d'optimisation ou de modernisation future.

III. Chapitre 3 :

Programmation et supervision

1. Introduction :

Ce chapitre aborde la mise en œuvre technique de la solution d'automatisation et de supervision de l'unité de production d'air, conçue en réponse aux contraintes identifiées dans les chapitres précédents. Dans un premier temps, nous décrivons les instrumentations sélectionnées pour la mesure des grandeurs physiques essentielles telles que la pression, la température et l'humidité, ainsi que le bilan des entrées/sorties permettant de définir l'architecture matérielle du système. L'interface opérateur assure l'interaction entre l'utilisateur et le processus de manière intuitive et centralisée. Ensuite, le principe de fonctionnement du SKID est détaillé, en mettant en évidence les conditions de marche et d'arrêt des compresseurs et du sécheur, ainsi que la logique de gestion des alarmes. La programmation a été réalisée à l'aide d'un environnement de développement intégré, incluant la configuration de la commande et la mise en place de la supervision. Enfin, une étude comparative avec une solution antérieure permet de valider les choix techniques effectués et d'apprécier les améliorations apportées.

2. Instrumentations proposés :

Pour répondre aux exigences du processus et remplacer les équipements obsolètes, une nouvelle instrumentation a été proposée.

2.1. Transmetteurs :

Les transmetteurs permettent une mesure plus précise des grandeurs physiques et assure une meilleure intégration avec le système d'automatisation.

a. Transmetteur de pression :

En raison des défaillances récurrentes des réglages du pressostat de commande de décharge (PSH_UNLOAD), liées notamment à l'hystérésis et à la dégradation progressive du taux de compression, il a été proposé de le remplacer par un transmetteur de pression selon une étude de plage de mesure (0-16 bars) et signal de sortie (4-20 mA).

Après la recherche, nous avons trouvé le modèle GR E000 A00 du constructeur GEORGIN rempli nos besoin d'étude.



Figure III-1 : Transmetteur de pression GR E000 A00 GEORGIN

Ce transmetteur va garantir la précision de mesure (0.5%) et une maintenance plus facile, rapide et simple. Le boîtier d'instrument en inox garantis une excellente protection contre la corrosion, son alimentation de 10-30VCC, Avec un signal de sortie analogique (4-20mA) qui nous permet de visualiser les variations de la pression, il fonctionne dans une large plage de température -30°C à +80°C avec un degré de protection IP65 [7].

b. Transmetteur de température :

Pour inspecter la température d'air comprimé, nous avons intégré un transmetteur de température en remplaçant le pressostat responsable de la charge (PSL_LOAD) selon une étude de plage de mesure et signal de sortie (4-20 mA).

Après la recherche dans le marché industrielle, le modèle TA2603 du constructeur ifm électronique est le choix idéal pour notre intégration.



Figure III-2 : Transmetteur de température IFM TA2603

Avec une plage de mesure ambiante allant de -50 °C à +150 °C, Le transmetteur garantissent une bonne précision de mesure (0.3%), sans oublions la facilité et la rapidité de la maintenance. L'instrument est conçu en inox. Alimenté en 18-32 VCC et fournit un signal de sortie analogique (4-20mA) permettant une surveillance précise des variations de température [8].

c. Transmetteur d'humidité :

A la cause du défaillance d'hygromètre du notre sécheur d'air, et son obsolescence et non-modernité, il a été proposé de changer l'ancien hygromètre avec un autre nouveau transmetteur d'humidité.

Nous avons trouvé le modèle MTS 5 du constructeur General Electric, ce modèle sera la meilleure approche pour mesurer l'humidité d'air sèche après l'opération de séchage.



Figure III-3 : Transmetteur d'humidité General Electric MTS5

Ce transmetteur offre une mesure précise du point de rosée allant de -80°C à $+20^{\circ}\text{C}$, voire jusqu'à -110°C . Il comprend une unité électronique avec affichage LCD, Sortie d'alarme, une sortie analogique (4-20mA) et utilise une sonde d'humidité de type M Series protégée par un capuchon en acier inoxydable [9].

2.2. SIEMENS S7-1200 :

Avant de procéder au choix de l'automate pour notre projet, un bilan détaillé des entrées et sorties a été réalisé. Cette étape préliminaire permet d'identifier les besoins fonctionnels du système et de s'assurer que l'automate sélectionné disposera des ressources nécessaires. Le résultat de cette analyse est présenté dans le tableau ci-dessous :

Type	Quantité
Entrées numériques	19
Entrées analogiques	3
Sorties numériques	5
Sorties analogiques	0

Tableau 4 : Bilan des entrées/sorties

La meilleure approche pour l'obsolescence des automates programmables Allen-Bradley SLC 5/02 est de remplacer l'ancien système par un nouveau système de contrôle (PLC) S7-1200 qui est plus moderne, disponible et facile à trouver dans le marché industriel après une étude :

- Sélection d'un matériel plus récent et performant.
- Détermination du nombre d'entrées/sorties nécessaires.

Dans notre projet, nous avons opté pour le Siemens S7-1200 CPU 1214C AC/DC/RELAIS, Il dispose de 14 entrées digitales, 10 sorties digitales, 2 entrées analogiques et fonctionne avec une alimentation 230 VAC. Sa mémoire intégrée de 150 Ko permet de stocker les programmes et les données. Il est équipé d'une interface PROFINET pour la communication réseau et prend en charge divers protocoles tels que Modbus, OPC UA, et S7 communication [10].

Pour répondre aux besoins spécifiques de notre application, nous avons également ajouté un module d'entrées/sorties digitales supplémentaires dans l'emplacement 2, ainsi qu'un module d'entrées/sorties analogiques dans l'emplacement 3, afin d'étendre les capacités d'acquisition et de commande du système.

La figure III-4 présente l'automate qu'on a choisi avec le CPU 1214C AC/DC/RELAIS, avec des modules d'entrées/sorties :



Figure III-4 : Automate SIEMENS S7-1200

2.3. Interface Homme-Machine (IHM) :

Lorsque la complexité des processus augmente et que les machines et les installations doivent répondre à des spécifications de fonctionnalité toujours plus sévères, l'opérateur a besoin d'un maximum de transparence. Pour solliciter ce problème, il a été proposé de remplacer des armoires de commandes par une Interface Homme Machine (IHM).

Un système IHM sert d'interface entre l'opérateur et le processus du SKID. Dans notre cas nous avons choisis le Siemens SIMATIC IHM TP1500 Comfort, est un terminal de commande industriel de 15 pouces offrant une interface homme-machine intuitive et performante. Il se distingue par son écran haute résolution, sa grande capacité de mémoire, et ses multiples interfaces de communication (PROFINET, MPI, PROFIBUS). Conçu pour résister aux environnements industriels difficiles, il bénéficie d'une protection IP66K et d'une robustesse accrue, notamment avec des modèles en inox. Le TP1500 Comfort est parfaitement adapté à la supervision de processus complexes comme notre unité de production, et s'intègre facilement avec des systèmes d'automatisation via WinCC Comfort.

La figure III-5 illustre la vue avant et arrière du IHM sélectionné pour notre projet :



Figure III-5 : IHM TP1500 comfort

3. Principe de fonctionnement du SKID :

Le fonctionnement du SKID repose sur une logique automatisée assurant le démarrage, l'arrêt et la sécurité des compresseurs ainsi que la gestion cyclique du sécheur.

3.1. Fonctionnement des compresseurs :

a. Sélection du compresseur principal et du mode de fonctionnement :

Le processus de démarrage des compresseurs nécessite, dans un premier temps, la sélection du compresseur principal (A ou B) par l'opérateur. Deux modes de fonctionnement sont disponibles : manuel et automatique, également choisis par l'opérateur.

b. Démarrage en mode manuel/Automatique :

Lorsque le mode manuel est activé, le démarrage d'un compresseur requiert une intervention directe de l'opérateur, consistant à appuyer sur le bouton START correspondant à l'unité sélectionnée. Chaque compresseur dispose de son propre bouton de démarrage.

En mode automatique, le démarrage s'effectue automatiquement via le compresseur principal sélectionné, sans intervention manuelle supplémentaire.

c. Conditions de démarrage des compresseurs :**➤ Compresseur A :**

Le démarrage du compresseur A est conditionné par l'une des situations suivantes :

- Mode manuel avec détection de l'actionnement du bouton START A.
- Mode automatique activé, avec le compresseur A défini comme unité principale.
- Si le compresseur B est sélectionné comme principal, qu'une pression basse est détectée dans le système, et que le compresseur A est configuré en mode automatique.
- Si le compresseur B est défini comme principal, qu'une défaillance est détectée sur celui-ci, et que le compresseur A est configuré en mode automatique.

➤ Compresseur B :

Les conditions de démarrage du compresseur B sont analogues à celles du compresseur A :

- Mode manuel avec détection de l'actionnement du bouton START B.
- Mode automatique activé, avec le compresseur B défini comme unité principale.
- Si le compresseur A est sélectionné comme principal, qu'une pression basse est détectée dans le système, et que le compresseur B est configuré en mode automatique.
- Si le compresseur A est défini comme principal, qu'une défaillance est détectée sur celui-ci, et que le compresseur B est configuré en mode automatique.

d. Conditions d'arrêt des compresseurs :**➤ Compresseur A :**

- Appui sur le bouton STOP A (arrêt effectif après un délai de 10 secondes).
- Activation de défaillance du compresseur A. « MMR_A »
- Arrêt automatique après 5 minutes en mode décharge.

➤ Compresseur B :

- Appui sur le bouton STOP B (arrêt effectif après un délai de 10 secondes).
- Activation de défaillance du compresseur B. « MMR_B »
- Arrêt automatique après 5 minutes en mode décharge.

e. Conditions d'ouverture de la vanne de charge :

L'ouverture de la vanne de charge du compresseur est conditionnée par :

- Le positionnement du sélecteur de mode sur "Normal" (par opposition à "Unload").
- Une pression inférieure à 6,9 bars dans le système.

f. Alarmes de défaillance :**➤ Compresseur A :**

- Pressostat de haute pression de décharge (PSHH_A) : déclenchement si la pression > 8,3 bars.
- Thermostat de haute température de décharge (TSHH_A) : déclenchement si température > 110 °C.
- Pressostat de différence de pression élevée dans le séparateur d'huile (PDSHH_A) : déclenchement si $\Delta P > 0,7$ bar.
- Surcharge moteur (OL_A).
- Défaillance du ventilateur de refroidissement (FANAUX_A) : si le ventilateur ne démarre pas dans les 3 secondes suivant le démarrage du compresseur.
- Arrêt d'urgence (E_Stop).

➤ Compresseur B :

- Pressostat de haute pression de décharge (PSHH_B) : déclenchement si la pression > 8,3 bars.
- Thermostat de haute température de décharge (TSHH_B) : déclenchement si température > 110 °C.

- Pressostat de différence de pression élevée dans le séparateur d'huile (PDSHH_B) : déclenchement si $\Delta P > 0,7$ bars.
- Surcharge moteur (OL_B).
- Défaillance du ventilateur de refroidissement (FANAUX_B).
- Arrêt d'urgence (E_Stop).

❖ **Alarmes supplémentaires :**

- Différence de pression élevée dans le filtre à air d'admission du compresseur A ou B ($\Delta P > 0,3$ bars).
- Pression d'air insuffisante dans le système (pression $< 4,8$ bars).

g. Gestion de la charge/décharge :

Le basculement entre les modes "charge" et "décharge" est commandé par un transmetteur de pression installé en remplacement du pressostat de décharge (PSH-UNLOAD).

- Si la pression descend en dessous de 6,9 bars, le compresseur principal passe en mode charge.
- Si la pression dépasse 7,6 bars, le compresseur passe en mode décharge.

h. Transmetteur de température :

Le transmetteur de température intégrée dans notre système est utilisé en remplacement du pressostat de charge (PSL-LOAD) afin d'assurer une surveillance thermique continue du compresseur. Ce dispositif permet de déclencher une alarme en cas de dépassement du seuil critique de 70 °C, assurant ainsi la protection de l'équipement contre les surchauffes.

3.2. Fonctionnement du sécheur :

a. Sélection du mode de cycle :

Avant le démarrage du sécheur, l'opérateur doit sélectionner l'un des deux modes de cycle disponibles : 10 minutes ou 4 minutes. Une fois le mode choisi, l'opérateur déclenche le fonctionnement de l'appareil en appuyant sur le bouton START.

b. Cycle de fonctionnement :**❖ Mode 10 minutes :**

Lors de la mise en marche dans ce mode, le sécheur démarre automatiquement avec la tour droite en mode séchage, tandis que la tour gauche est en mode régénération. Après un délai de 5 minutes, les rôles des tours sont inversés : la tour droite passe en régénération, et la tour gauche en séchage. Cette commutation est assurée par l'électrovanne SV1.

❖ Mode 4 minutes :

De manière analogue, dans ce mode, le sécheur commence avec la tour droite en séchage et la tour gauche en régénération. Au bout de 2 minutes, les deux tours intervertissent leurs fonctions, sous le contrôle de l'électrovanne SV1.

c. Système d'alarme :

Le sécheur est équipé de deux alarmes principales :

❖ Échec de commutation (Failure to switch) :

Cette alarme se déclenche si l'électrovanne SV1 ne parvient pas à effectuer le basculement entre les deux tours, et qu'un des pressostats électriques PS1 ou PS2 est activé.

❖ Alarme d'humidité élevée (High humidity alarm) :

Cette alarme est activée lorsque l'hygromètre situé à la sortie du sécheur détecte un point de rosée supérieur à -40 °C, indiquant un niveau d'humidité anormalement élevé dans l'air traité.

4. Programmation :

La configuration et la programmation de l'unité de production d'air ont été réalisées à l'aide de la plateforme TIA Portal V15. Il s'agit d'un logiciel développé par Siemens, qui permet de programmer et de configurer, dans un environnement unique et

intégré, l'ensemble des dispositifs d'une installation automatisée, tels que les automates, les interfaces IHM et les variateurs.

4.1. Configuration du matérielle :

La première étape dans TIA Portal consiste à lancer le logiciel puis à créer un nouveau projet en sélectionnant l'option « Create new project ».

Une fois cette étape terminée, il est conseillé d'accéder au menu « Mise en route » et de choisir l'option « Configurer un appareil » afin d'ajouter le matériel nécessaire.

Cette étape est essentielle, car elle consiste à organiser les châssis, les modules ainsi que la périphérie décentralisée. Pour la configuration matérielle, les éléments suivants ont été sélectionnés :

- Emplacement 1 : CPU 1214C AC/DC/RELAIS
- Emplacement 2: Module d'entrées logiques SM 1221 DI8 x 24VDC
- Emplacement 3 : Module d'entrées analogiques SM 1231 AI4 x 13Bit

La figure III-6 présente l'architecture du matériel de notre projet :



Figure III-6 : Architecture du matériel (CPU et périphériques)

4.2. Tableau des variables (mnémoniques) :

Une fois les modules de l'automate sélectionnés, une table des variables est établie. Elle regroupe les entrées, les sorties ainsi que les variables internes, ce qui permet de rendre le programme plus lisible, La figure III-7 présente une partie de la table de variables de notre projet :

	Name	Data type	Address	Retain	Acces...	Writa...	Visibl...
1	START_A	Bool	%M1.0	☐	☒	☒	☒
2	HAND_A	Bool	%M1.1	☐	☒	☒	☒
3	AUTO_A	Bool	%M1.2	☐	☒	☒	☒
4	STOP_A	Bool	%M1.5	☐	☒	☒	☒
5	PRIM_SEL	Bool	%M0.0	☐	☒	☒	☒
6	LOADSW_A	Bool	%M1.6	☐	☒	☒	☒
7	CSR_A	Bool	%Q0.0	☐	☒	☒	☒
8	LOADSOV_A	Bool	%Q0.1	☐	☒	☒	☒
9	A_START_STOP	Bool	%M30.0	☐	☒	☒	☒
10	MWR_B	Bool	%M2.4	☐	☒	☒	☒
11	LOWSYSR	Bool	%M300.2	☐	☒	☒	☒
12	LOAD	Bool	%M0.2	☐	☒	☒	☒
13	btn_auto	Bool	%M100.2	☐	☒	☒	☒
14	btn_manuel	Bool	%M100.3	☐	☒	☒	☒
15	select_A_PRIM	Bool	%M100.4	☐	☒	☒	☒
16	select_B_PRIM	Bool	%M100.5	☐	☒	☒	☒
17	Demande_STOP_A	Bool	%M200.0	☐	☒	☒	☒
18	Arret_Auto_5_min_Comp_A	Bool	%M200.5	☐	☒	☒	☒
19	MWR_A	Bool	%M1.4	☐	☒	☒	☒
20	HAND_B	Bool	%M2.1	☐	☒	☒	☒
21	AUTO_B	Bool	%M2.2	☐	☒	☒	☒
22	START_B	Bool	%M2.0	☐	☒	☒	☒
23	Demande_STOP_B	Bool	%M200.1	☐	☒	☒	☒
24	B_START_STOP	Bool	%M30.1	☐	☒	☒	☒
25	SCR_B	Bool	%Q0.2	☐	☒	☒	☒
26	STOP_B	Bool	%M2.5	☐	☒	☒	☒
27	Arret_Auto_5_min_Comp_B	Bool	%M200.6	☐	☒	☒	☒
28	LOADSW_B	Bool	%M2.6	☐	☒	☒	☒
29	LOADSOV_B	Bool	%Q0.3	☐	☒	☒	☒
30	RESET	Bool	%M0.4	☐	☒	☒	☒
31	PSHHA	Bool	%M300.5	☐	☒	☒	☒
32	TSHHA	Bool	%M300.6	☐	☒	☒	☒
33	PDSHHA	Bool	%M300.7	☐	☒	☒	☒
34	OLTRIP_A	Bool	%M301.0	☐	☒	☒	☒
35	FANFLTA	Bool	%M301.1	☐	☒	☒	☒
36	EMSTOPA	Bool	%M3.5	☐	☒	☒	☒
37	PSHH_A	Bool	%I0.1	☐	☒	☒	☒
38	TSHH_A	Bool	%I0.3	☐	☒	☒	☒
39	PDSHH_A	Bool	%I0.5	☐	☒	☒	☒
40	OL_A	Bool	%I1.6	☐	☒	☒	☒
41	E_STOP	Bool	%I0.0	☐	☒	☒	☒

Figure III-7 : Une partie de tableau des variables d'automate

4.3. Elaboration du programme :

Le répertoire "Program blocks" contient les blocs fonctionnels à intégrer dans l'unité centrale (CPU) afin d'assurer l'exécution de la tâche d'automatisation.

Dans notre projet on a utilisé : Un bloc d'organisation (OB), 9 fonctions (FC), 3 bloc de fonctions (FB) et 7 blocs de données (DB).

La figure ci-après montre les blocs utilisés :

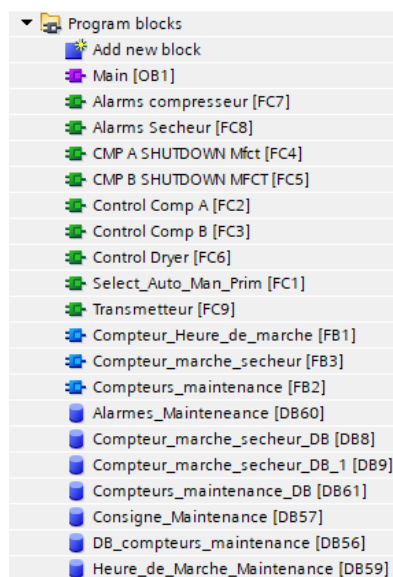


Figure III-8 : Les blocs de programme

a. Bloc d'organisation [OB1] :

Ce bloc, généré automatiquement lors de la création du projet, représente le programme principal. Il pilote l'exécution du traitement et permet, à travers le bloc organisationnel (OB), de gérer les événements cycliques, temporisés ou déclenchés par des alarmes durant l'exécution du programme. Il regroupe également les appels à l'ensemble des blocs de fonctions (FB) et les fonctions (FC) créés.

La figure III-9 illustre l'ensemble des réseaux associés à notre bloc OB :

► Block title:	"Main Program Sweep (Cycle)"
► Network 1:	Selecteur Mode (AUTO/MANUEL) et compresseur principal
► Network 2:	Contrôle compresseur A
► Network 3:	Contrôle compresseur B
► Network 4:	Les alarmes qui arrêtent compresseur A
► Network 5:	Les alarmes qui arrêtent compresseur B
► Network 6:	Contrôle sécheur
► Network 7:	Alarmes compresseurs
► Network 8:	Alarmes secheur
► Network 9:	Traitement analogique des transmetteurs
► Network 10:	Compteurs de maintenance

Figure III-9 : Réseaux (Networks) du bloc OB1

b. Les fonctions [FC] :

Il s'agit de blocs de code sans mémoire interne. Les données des variables temporaires sont perdues à la fin de l'exécution de la fonction. Pour conserver ces données, l'utilisation d'opérandes globaux est nécessaire. Ces fonctions sont destinées à être appelées à plusieurs reprises dans le programme. Dans notre projet, plusieurs fonctions ont été implémentées, La figure III-10 présente ces fonctions :

■ Alarms compresseur [FC7]
■ Alarms Secheur [FC8]
■ CMP A SHUTDOWN Mfct [FC4]
■ CMP B SHUTDOWN MFCT [FC5]
■ Control Comp A [FC2]
■ Control Comp B [FC3]
■ Control Dryer [FC6]
■ Select_Auto_Man_Prim [FC1]
■ Transmetteur [FC9]

Figure III-10 : Les fonctions utilisés dans le programme

- ❖ **FC1** : Cette fonction contient le programme qui gère la sélection du mode de démarrage (entre AUTO ou Manuel) et la sélection du compresseur principal entre A et B.

La figure III-11 illustre le dispositif de commande de sélection du compresseur principal entre les unités A et B :

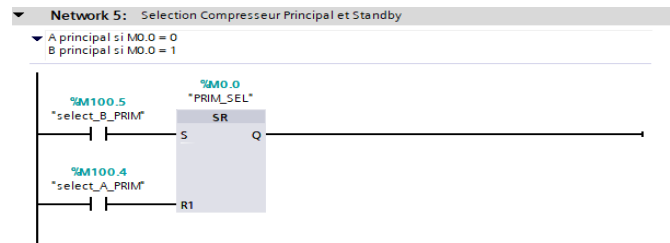


Figure III-11 : Sélection du compresseur principale

- ❖ **FC2, FC3** : Ces deux fonctions gèrent le démarrage et l'arrêt des compresseurs A et B, et contrôle le mode du fonctionnement (entre charge et décharge).

La figure suivante illustre le processus de démarrage et d'arrêt du compresseur A :

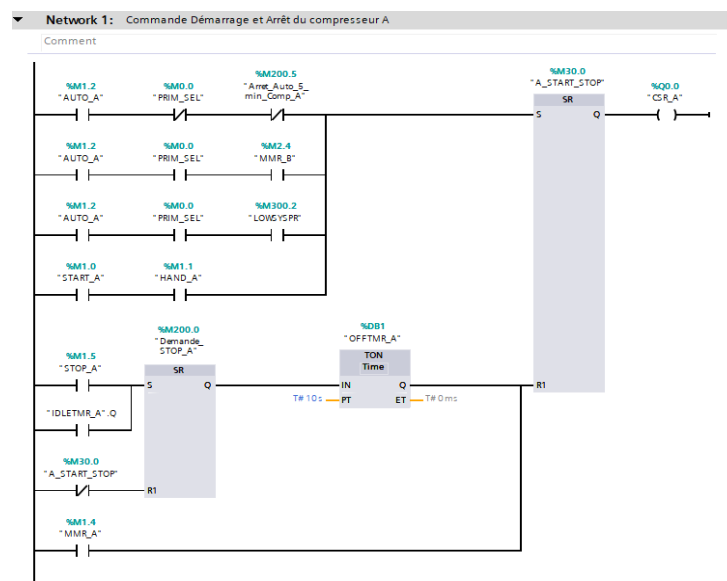


Figure III-12 : Commande démarrage et arrêt du compresseur A

- ❖ **FC4, FC5** : Ces deux fonctions contiennent le programme des alarmes qui provoquent l'arrêt des compresseurs A et B.

La figure III-13 présente les conditions de défaillance responsables de l'activation de l'alarme d'arrêt du compresseur A :

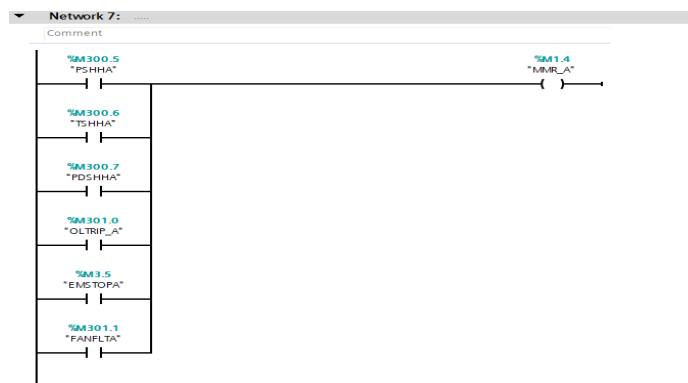


Figure III-13 : Les alarmes de défaillance du compresseur A

- ❖ **FC6** : Dans cette fonction nous allons trouver le programme qui contrôle le démarrage et l'arrêt du sécheur, Le mode du cycle (10 min ou 4 min) et le basculement de mode séchage et régénération dans les tours de sécheur.

La figure suivante illustre la partie de commande du démarrage et de l'arrêt du sécheur :

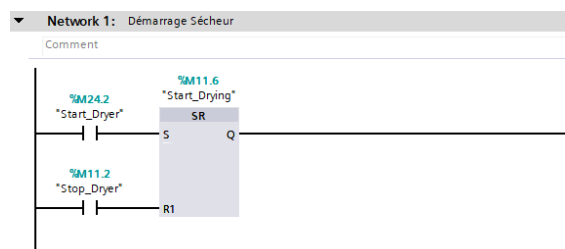


Figure III-14 : Démarrage sécheur

- ❖ **FC7** : Cette fonction gère les alarmes des compresseurs.

La figure III-15 présente l'alarme de basse pression dans le système :

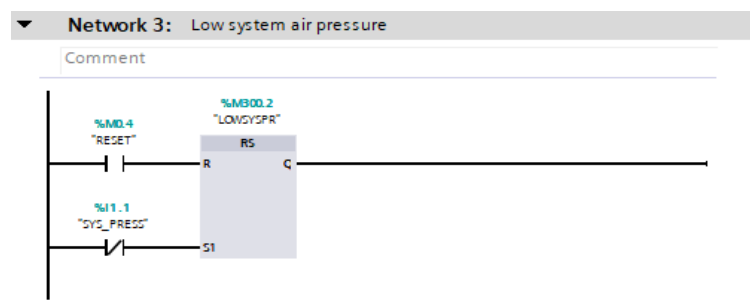


Figure III-15 : L'alarme de basse pression dans le système

- ❖ **FC8** : Cette fonction gère les alarmes du sécheur.

La figure suivante présente l'alarme relative à l'échec de commutation (Failure to Switch) :

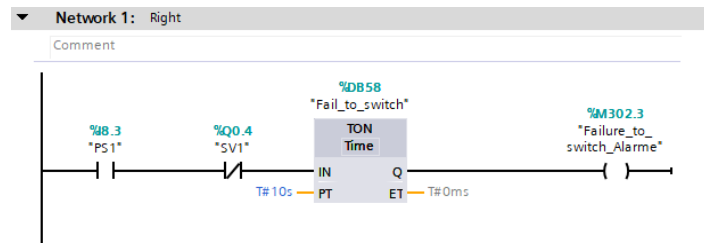


Figure III-16 : Alarme d'échec de commutation du tour droite

- ❖ FC9 : Comporte le traitement analogique des transmetteurs intégrés dans le système. La figure ci-après présente le traitement de pression :

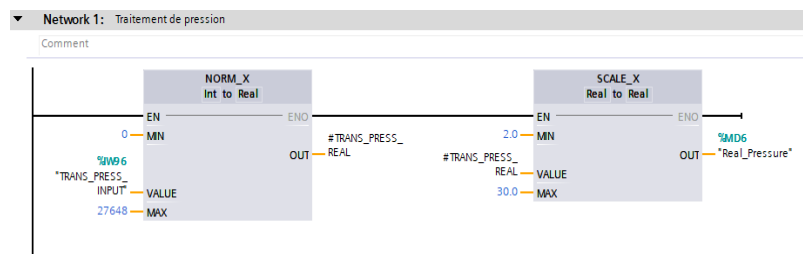


Figure III-17 : Traitement analogique du transmetteur de pression

c. Les blocs de fonctions [FB] :

Dans notre programme, plusieurs blocs fonctionnels (FB) ont été implémentés afin d'assurer la gestion de différentes fonctions liées au processus. Ces blocs conservent de manière permanente les valeurs de leurs paramètres d'entrée, de sortie et d'entrée/sortie dans des blocs de données d'instance (Instance Data Blocks), ce qui permet un accès aux données même après l'exécution du bloc. La figure III-18 présente les blocs de fonctions utilisés dans notre programme :

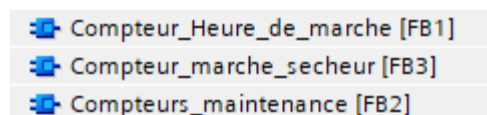


Figure III-18 : Les blocs de fonctions utilisés dans le programme

Le bloc FB1 est dédié au comptage des heures de marche, tandis que le FB2 regroupe les compteurs d'heures de maintenance pour les compresseurs, notamment le suivi du changement de filtre séparateur du compresseur B. Enfin, le FB3 est utilisé pour

l'affichage du mode de cycle de fonctionnement (4 minutes ou 10 minutes). La figure III-19 présente une partie du bloc FB2 :

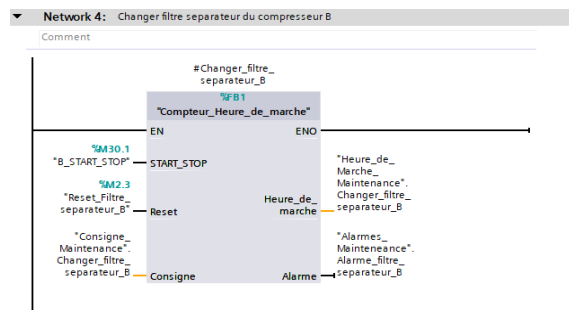


Figure III-19 : Compteur de changement du filtre séparateur du compresseur B

d. Les Blocs de données [DB] :

Les blocs de données (DB) sont utilisés pour allouer de l'espace mémoire afin de stocker des variables de type données. Ils se divisent en deux catégories : les blocs de données globaux, accessibles en lecture et en écriture par tous les OB, FB et FC, et les blocs de données d'instance, spécifiques à un FB. Dans notre projet, des blocs de données ont été utilisés pour diverses fonctions : l'enregistrement des valeurs du compteur d'heures de fonctionnement du sécheur d'air, le suivi des heures de maintenance des pièces ou filtres des compresseurs, la gestion des alarmes de maintenance du système, telles que celles liées au changement d'huile, au nettoyage des filtres à air ou à la révision après un certain nombre d'heures de fonctionnement, ainsi que la saisie des consignes d'heures de maintenance.

5. Supervision :

La supervision et le pilotage de l'unité de production d'air, ont été développés en utilisant le logiciel SIMATIC WinCC (version intégrée à TIA Portal V15), fourni par Siemens. Utilisé ici comme solution IHM, WinCC a permis la conception d'interfaces opérateur dynamiques pour le suivi temps réel des états machines, la gestion des alarmes de sécurité, et l'historisation des principales grandeurs physiques (pression, température, taux d'humidité).

La communication entre l'automate et le panneau IHM est assurée via un réseau industriel PROFINET, garantissant une transmission rapide et fiable des données de

processus. Les variables (tags) échangées sont synchronisées automatiquement dans l'environnement TIA Portal, facilitant ainsi la maintenance et les évolutions futures du système.

Les synoptiques développés permettent non seulement la visualisation des paramètres en mode lecture seule, mais offrent également des commandes d'actionnement manuel, des modes automatiques configurables et des écrans de diagnostic avancés. Une attention particulière a été portée au paramétrage du cycle de rafraîchissement des données afin d'assurer une réactivité optimale sans surcharge du réseau de communication.

5.1. Création du projet :

Depuis la page d'accueil de TIA Portal, nous accédons à la configuration de l'interface utilisateur en sélectionnant l'option « Configurer une vue IHM ».

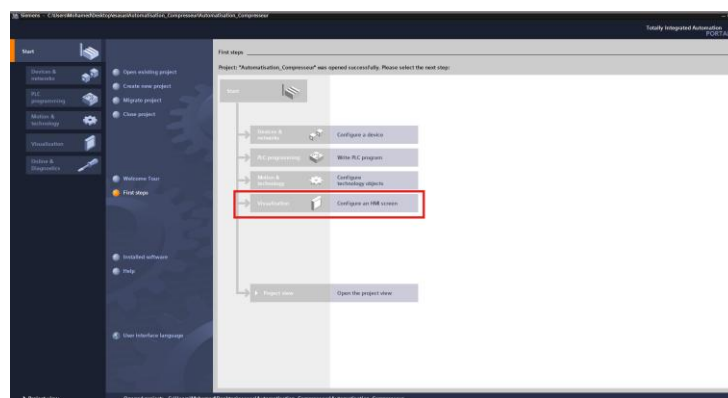


Figure III-20 : Configuration d'une IHM

Ensuite, nous sélectionnons l'interface TP1500 Comfort :

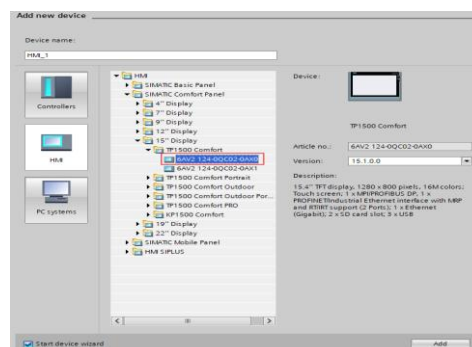


Figure III-21 : Le choix d'une interface IHM

5.2. Configuration du réseau :

Pour assurer la communication entre les différents composants de notre système, une configuration du réseau a été nécessaire. La figure suivante illustre la liaison établie via le réseau PROFINET :

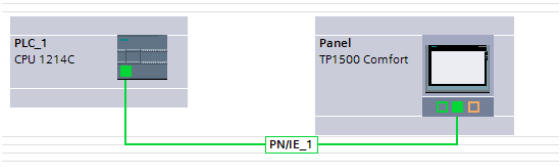


Figure III-22 : Liaison entre PLC et IHM

5.3. Création de la table des variables :

L'intégration des variables dans notre projet WinCC est une étape cruciale pour animer les objets créés dans les vues. Ces variables facilitent l'échange de données et la communication entre l'IHM et les machines. Une table de correspondance des variables IHM est définie via l'onglet "variable". Chaque ligne de cette table représente une variable IHM et contient des informations telles que le nom, le type de table de variables, le type de connexion, l'adresse, etc. La figure III-23 présente une partie de la table des variables IHM :

Default tag table							
Name	Data type	Connection	PLC name	PLC tag	Address	Access mode	Acquisition cycle
afficheur_time_recheur	Int	HMI_Connectio	PLC_1	afficheur_time_recheur		<symbolic access>	1 s
AR_SOIV	Bool	HMI_Connectio	PLC_1	AR_SOIV		<symbolic access>	1 s
Alarme_Tower_Left	Bool	HMI_Connectio	PLC_1	Alarme_Tower_Left		<symbolic access>	1 s
Alarme_Tower_Right	Bool	HMI_Connectio	PLC_1	Alarme_Tower_Right		<symbolic access>	1 s
Compressor_Alarms	Word	HMI_Connectio	PLC_1	Compressor_Alarms		<symbolic access>	1 s
Compteurs_maintenance_DB...	Int	HMI_Connectio	PLC_1	Compteurs_maintenance...		<symbolic access>	1 s
Compteurs_maintenance_DB...	Int	HMI_Connectio	PLC_1	Compteurs_maintenance...		<symbolic access>	1 s
Compteurs_maintenance_DB...	Int	HMI_Connectio	PLC_1	Compteurs_maintenance...		<symbolic access>	1 s
Compteurs_maintenance_DB...	Int	HMI_Connectio	PLC_1	Compteurs_maintenance...		<symbolic access>	1 s
Compteurs_maintenance_DB...	Int	HMI_Connectio	PLC_1	Compteurs_maintenance...		<symbolic access>	1 s
Compteurs_maintenance_DB...	Int	HMI_Connectio	PLC_1	Compteurs_maintenance...		<symbolic access>	1 s
Compteurs_maintenance_DB...	Int	HMI_Connectio	PLC_1	Compteurs_maintenance...		<symbolic access>	1 s
Compteurs_maintenance_DB...	Int	HMI_Connectio	PLC_1	Compteurs_maintenance...		<symbolic access>	1 s
Compteurs_maintenance_DB...	Int	HMI_Connectio	PLC_1	Compteurs_maintenance...		<symbolic access>	1 s
Compteurs_maintenance_DB...	Int	HMI_Connectio	PLC_1	Compteurs_maintenance...		<symbolic access>	1 s
Compteurs_maintenance_DB...	Int	HMI_Connectio	PLC_1	Compteurs_maintenance...		<symbolic access>	1 s
Compteurs_maintenance_DB...	Int	HMI_Connectio	PLC_1	Compteurs_maintenance...		<symbolic access>	1 s
Consigne_Maintenance_Chang...	Int	HMI_Connectio	PLC_1	Consigne_Maintenance.C...		<symbolic access>	1 s
Consigne_Maintenance_Chang...	Int	HMI_Connectio	PLC_1	Consigne_Maintenance.C...		<symbolic access>	1 s
Consigne_Maintenance_Chang...	Int	HMI_Connectio	PLC_1	Consigne_Maintenance.C...		<symbolic access>	1 s
Consigne_Maintenance_Graiss...	Int	HMI_Connectio	PLC_1	Consigne_Maintenance...		<symbolic access>	1 s
Consigne_Maintenance_Inspec...	Int	HMI_Connectio	PLC_1	Consigne_Maintenance.I...		<symbolic access>	1 s
Consigne_Maintenance_Nettoy...	Int	HMI_Connectio	PLC_1	Consigne_Maintenance...		<symbolic access>	1 s

Figure III-23 : Une partie de tableau des variables de l'interface

5.4. Création des vues (Screens) :

L'interface TIA Portal permet la conception de vues graphiques destinées à la supervision et au contrôle de l'installation. Lors de la création de ces vues, des objets prédéfinis sont mis à disposition, permettant l'affichage des procédures opératoires et la

configuration des valeurs des paramètres de processus. La figure suivante présente les vues créer dans notre projet :

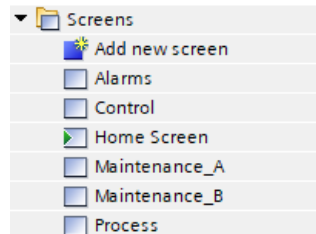


Figure III-24 : Les Vues de l'interface

a. Vue d'accueil :

Il s'agit de la vue principale, affichée par défaut au lancement de WinCC Runtime. Elle permet l'accès centralisé aux différentes interfaces de l'application, telles que la vue du procès, la vue de contrôle, la vue de maintenance et la vue des alarmes. Elle offre également la possibilité de quitter l'environnement Runtime depuis cette interface.

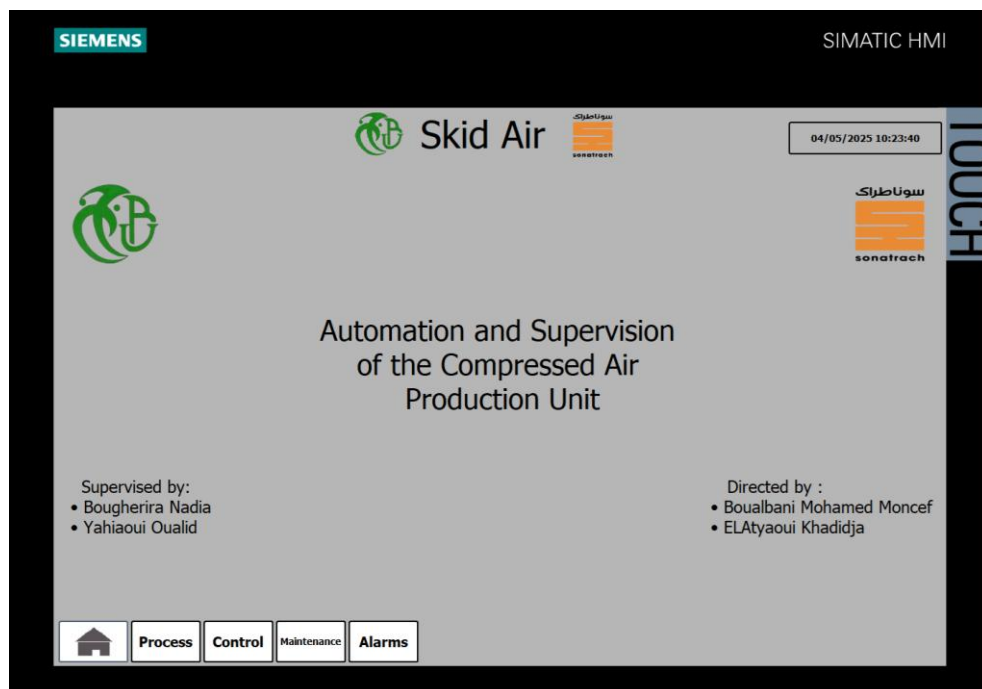


Figure III-25 : Vue d'accueil

b. Vue de procès :

La vue de procès constitue le synoptique principal de l'unité de production d'air. Elle modélise l'ensemble des équipements, à savoir deux compresseurs, un sécheur, ainsi que deux réservoirs d'air (air instrument et air service). Chaque composant est représenté graphiquement dans cette interface, comme illustré dans la figure III-26.

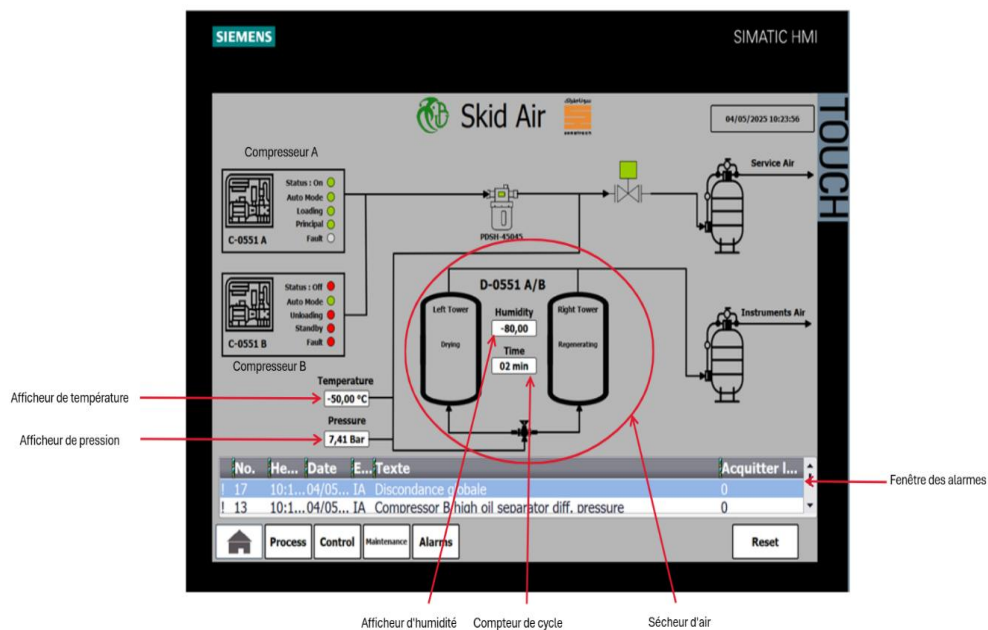


Figure III-26 : Vue de procès

c. Vue de contrôle :

Cette vue permet à l'opérateur de prendre le contrôle global de l'unité de production d'air. Elle offre les fonctionnalités suivantes :

- Sélection du compresseur principal (A ou B) via un commutateur dédié ;
- Commande des compresseurs A et B, incluant :
 - o Le contrôle des actions démarrage/arrêt (START/STOP).
 - o Le choix du mode de fonctionnement (automatique ou manuel).
 - o La gestion de l'état charge/décharge.
- Pilotage du sécheur d'air, avec la possibilité de :
 - o Lancer ou arrêter le cycle de régénération (START/STOP).
 - o Sélectionner le temps de cycle (4 ou 10 minutes).

La figure 27 illustre la vue de contrôle :

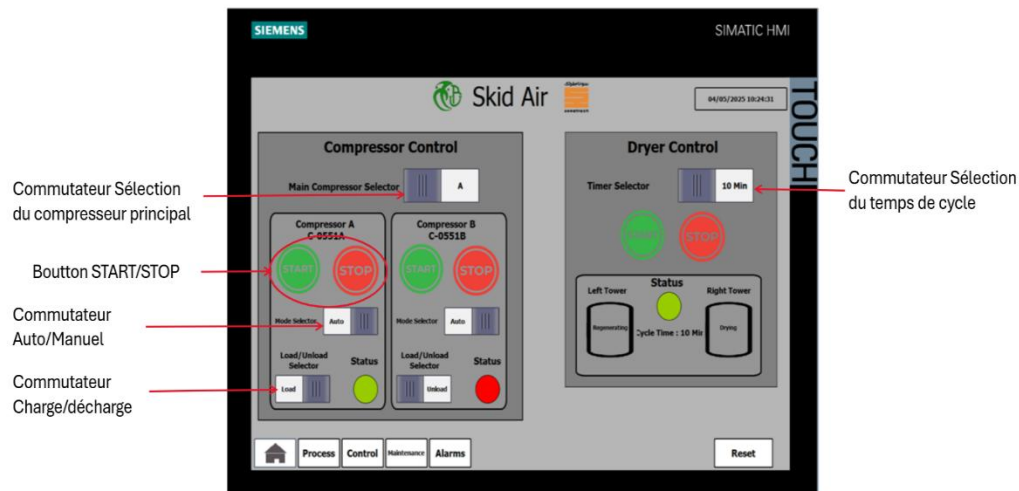


Figure III-27 : Vue de contrôle

d. Vue de maintenance :

La vue de maintenance regroupe les consignes d'entretien ainsi que les compteurs horaires associés aux différentes opérations de maintenance sur les compresseurs A et B.

Elle est structurée en deux sous-vues distinctes :

- La vue principale, dédiée à la maintenance du compresseur A.
- Une seconde vue, accessible via navigation, dédiée au compresseur B.

Cette interface est protégée par mot de passe et réservée exclusivement à l'ingénieur de maintenance. Depuis ces vues, l'ingénieur peut consulter les compteurs liés aux maintenances planifiées et réinitialiser chaque compteur individuellement via un bouton de remise à zéro dédié.

La figure ci-après illustre la demande de mot de passe par l'IHM lors de l'accès à la vue de maintenance :



Figure III-28 : La demande de nom d'utilisateur et mot de passe pour accéder la vue

La figure III-29 présente l'interface de maintenance dédiée au compresseur A :

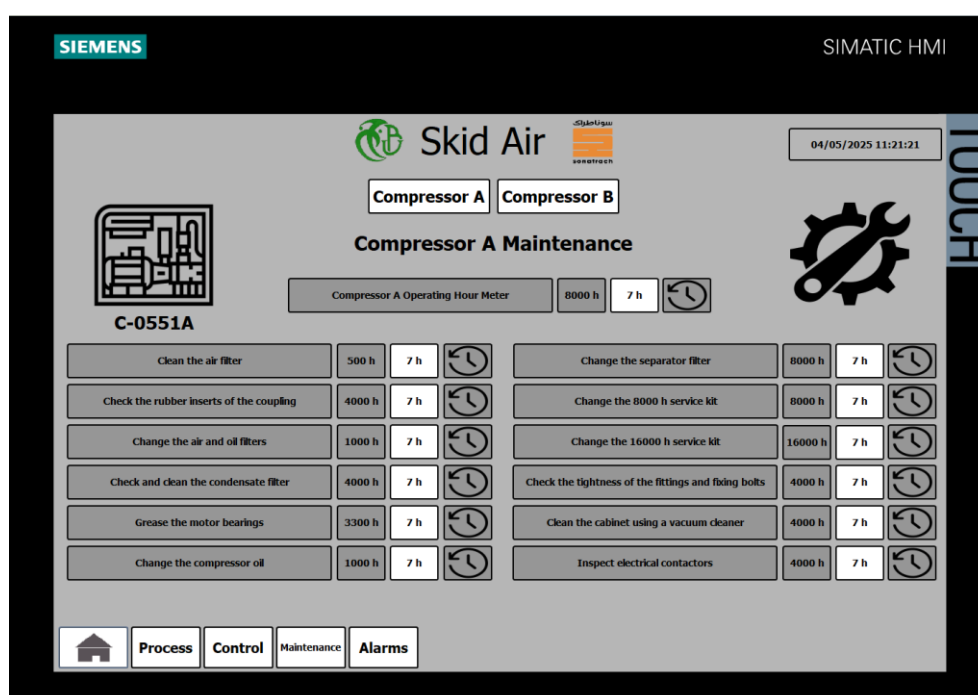


Figure III-29 : Vue de maintenance de compresseur A

La figure ci-après présente l'interface de maintenance dédiée au compresseur B :

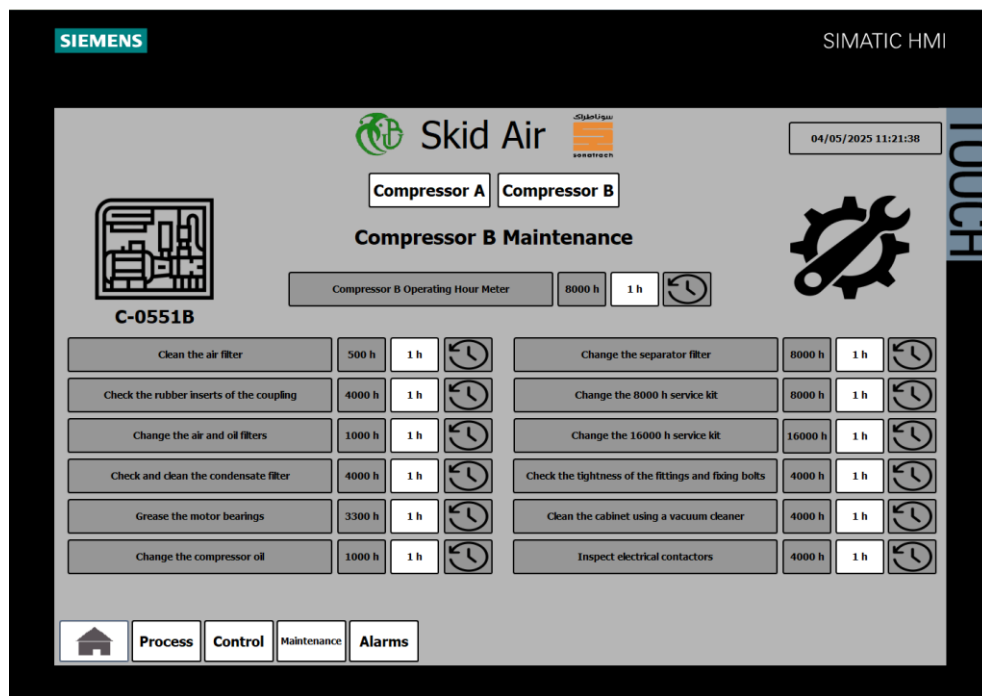


Figure III-30 : Vue de maintenance de compresseur B

e. Vue des alarmes :

La vue des alarmes permet de surveiller en temps réel les événements et états de fonctionnement anormaux survenus au sein du processus. Elle affiche l'ensemble des alarmes actives ainsi que les messages système générés par IHM. Ces alarmes constituent un outil essentiel pour le diagnostic des défauts et le suivi des perturbations. Une fois la cause de l'alarme identifiée et corrigée, l'utilisateur peut procéder à son acquittement via le bouton dédié situé en bas de la fenêtre. La figure suivante représente la vue des alarmes :



Figure III-31 : Vue des alarmes de système

6. Etude Comparative :

Comparé à un précédent projet [1] de rénovation portant sur la même unité de production d'air comprimé, notre travail se distingue par son approche beaucoup plus complète, structurée et performante. L'ancien projet s'était limité à une modernisation partielle, consistant principalement à remplacer l'automate obsolète par un Siemens S7-300 et à substituer les pressostats de commande des compresseurs par des transmetteurs de pression, sans aller au-delà des compresseurs. En revanche, nous avons mené une refonte globale du système en intégrant non seulement les compresseurs, mais aussi le sécheur d'air. Nous avons remplacé deux contrôleurs obsolètes par un seul automate récent, adapté et reprogrammé les cycles de fonctionnement existants, y compris celui de régénération du sécheur. Nous avons également remplacé le panneau de commande traditionnel par une interface homme-machine moderne, permettant la supervision graphique du système, le paramétrage dynamique, la visualisation des événements (alarmes, trips), ainsi qu'une gestion sécurisée des accès. En complément, nous avons intégré un transmetteur de température pour surveiller l'air comprimé, générer des alarmes thermiques, ainsi qu'un transmetteur d'humidité pour contrôler en temps réel l'humidité à la sortie du sécheur, garantissant ainsi la qualité de l'air produit. Nous avons également programmé des compteurs d'heures de marche afin d'assurer un suivi précis

de la maintenance préventive. Ainsi, notre travail propose une solution bien plus avancée, orientée vers la fiabilité, la facilité d'exploitation et la pérennité du système, allant largement au-delà des limites du projet précédent. Le tableau comparatif ci-dessous met en évidence les différences entre le projet précédent et notre travail actuel de rénovation de l'unité de production d'air comprimé :

Aspects / Critères	Projet Précédent [1]	Notre Travail
Portée de la rénovation	Modernisation partielle (remplacement automate + pressostats)	Refonte globale incluant compresseurs et sécheur d'air
Automate	Remplacement de l'automate obsolète par Siemens S7-300	Remplacement de deux contrôleurs obsolètes par un seul automate récent, adapté et reprogrammé
Gestion des compresseurs	Pressostats remplacés par transmetteurs de pression	Reprogrammation complète des cycles de fonctionnement des compresseurs
Gestion du sécheur d'air	Non prise en compte	Intégration complète avec reprogrammation du cycle de régénération
Interface opérateur	Panneau de commande traditionnel	Interface Homme-Machine moderne avec supervision graphique, paramétrage dynamique, gestion des accès
Surveillance thermique	Non incluse	Transmetteur de température intégré avec alarmes thermiques
Contrôle de l'humidité	Non incluse	Transmetteur d'humidité pour contrôle en temps réel à la sortie du sécheur
Suivi maintenance	Non programmé	Compteurs d'heures de marche programmés pour maintenance préventive
Objectifs globaux	Modernisation partielle, amélioration limitée	Fiabilité accrue, facilité d'exploitation, pérennité du système

Tableau 5 : Etude comparative

7. Conclusion :

Ce chapitre a présenté la mise en œuvre de l'automatisation et de la supervision de l'unité de production d'air. À travers la sélection d'instrumentations adaptées, l'intégration de l'automate Siemens S7-1200 et de l'IHM TP1500, ainsi que le

développement sous TIA Portal V15, nous avons élaboré une solution complète et cohérente. Le principe de fonctionnement du SKID a été détaillé, incluant les conditions des compresseurs et du sécheur. La supervision via WinCC a renforcé la traçabilité et la facilité d'exploitation du système. Enfin, une comparaison avec une solution antérieure a permis de mettre en évidence les gains apportés en termes de performance et de modernisation.

Conclusion générale

Conclusion générale

La modernisation de l'unité de production d'air comprimé de la station SC2 – Rhourd Nouss a constitué l'élément central de ce projet, avec pour objectif de remédier aux défaillances liées à l'obsolescence des systèmes d'automatisation en place. Les automates programmables Allen-Bradley SLC 5/02 et IDEC Micro 1, en exploitation depuis plus de vingt ans, ne répondaient plus aux standards actuels en matière de fiabilité, de maintenance et de supervision. Leur maintien en service représentait un risque opérationnel élevé, notamment en cas de panne critique sans possibilité de remplacement rapide.

La solution développée s'est articulée autour de plusieurs axes techniques structurants :

- Le remplacement des deux anciens automates par un seul automate Siemens S7-1200, plus performant, facilement programmable, et doté d'une meilleure capacité d'intégration ;
- La reprogrammation complète des cycles des compresseurs et du sécheur, en intégrant la logique de régénération/séchage automatique et la gestion intelligente des alarmes ;
- L'installation d'un transmetteur de pression en remplacement des pressostats mécaniques, et l'ajout d'un transmetteur de température, permettant une surveillance en continu des paramètres critiques, avec génération automatique d'alarmes en cas de dépassement de seuils ;
- La programmation de compteurs horaires logiciels pour assurer un suivi précis du temps de fonctionnement des compresseurs et ainsi faciliter la planification de la maintenance préventive (remplacement de filtres, révisions, etc.) ;
- La conception et la mise en œuvre d'une Interface Homme-Machine (IHM) TP1500 Comfort, ergonomique et intuitive, intégrant des pages dédiées à la visualisation en temps réel, au paramétrage des seuils, à l'historique des alarmes et à la gestion des droits d'accès.

Cette nouvelle architecture assure une amélioration notable de la fiabilité de l'unité, une meilleure visibilité sur son état de fonctionnement, et une réduction

Conclusion générale

significative des arrêts non planifiés. Elle renforce également la capacité d'anticipation des opérations de maintenance, ce qui se traduit par un gain en efficacité et en continuité de service.

Par ailleurs, la solution retenue a été pensée dans une logique d'évolutivité. À moyen terme, une liaison entre l'automate S7-1200 et le système de contrôle distribué (DCS) de la salle de contrôle de la station SC2 pourra être envisagée. Cette interconnexion offrira la possibilité de centraliser la supervision de l'unité d'air, d'échanger des données en temps réel avec les autres systèmes de la station, et d'optimiser la gestion globale du site. Cette perspective s'inscrit pleinement dans les orientations stratégiques de digitalisation et d'automatisation progressive des installations industrielles au sein de SONATRACH.

En définitive, ce projet a permis de développer une solution technique complète, fiable et évolutive, en adéquation avec les exigences actuelles tout en anticipant les besoins futurs. Il illustre concrètement l'intérêt d'une démarche proactive en matière d'automatisation pour garantir la disponibilité, la sécurité et la performance des unités critiques de production.

Bibliographie

Bibliographie

- [1]- Billal, A. (2023). Rénovation et amélioration du système de contrôle/commande des compresseurs d'air ATLAS COPCO de la station de compression gaz SC2 ZINA (Mémoire de master, Faculté de Génie Électrique et d'Informatique, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou).
- [2]- Docs: Manuel Opérateur Station de compression des GAZODUCS GR1/GR2 (Station de ZINA).
- [3]- Atlas Copco. Manuel d'instructions pour l'emploi et l'entretien des compresseurs GA75.
- [4]- Mohamed, A., & Abbas, A. (2016). Réalisation d'une armoire de commande d'un élévateur électrique (Mémoire de master, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou).
- [5]- HL Dryers. Manuel d'installation, de fonctionnement et de maintenance du sécheur d'air comprimé à régénération sans chaleur : Modèles HL-200 à HL-2000.
- [6]- IDEC. Manuel d'utilisateur du microcontrôleur programmable MICRO1.
- [7]- Georgin. Instrumentation – Mesure de pression (Manuel constructeur).
- [8]- IFM. Manuel constructeur – Capteur de température TA2603.
- [9]- General Electric. Manuel constructeur – Moisture Target Series 5 (MTS 5).
- [10]- Siemens. Manuel technique – Automate S7-1200, CPU 1214C AC/DC/Relais.
- [11]- Siemens. Manuel technique – Interface Homme-Machine TP1500 Comfort.