الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

Département de Génie Électrique



Mémoire de Find'Études de Master

Filière : Électronique

Spécialité : Instrumentation

Thème

Description du système ESD de la station SBC et étude de l'amélioration de l'architecture de contrôle de la chute de pression de l'air instrument

Préparé et présenté par:
KOUIDER MAHMOUD Hakim
YAHIAOUI Adlan

Proposé et Dirigé par:
Dr. KHERKHAR Abdelkrim

Promotion 2025

Dédicaces

Je remercie tout d'abord Allah, le Tout-Puissant, qui m'a donné la force, la patience et la sagesse nécessaires pour mener à bien ce modeste travail.

À mes chers parents, que Dieu les protège, mon pilier et mon soutien tout au long de ma vie, je leur dédie ce travail avec toute ma gratitude et mon amour.

À ma chère épouse, mon soutien et mon réconfort, je t'offre ce modeste fruit de mon effort.

À mes enfants bien-aimés, Abderrahmane et Hanaa, source de ma fierté et de mon bonheur.

À mes frères et sœurs, qui m'ont toujours encouragé et soutenu, merci pour votre présence précieuse.

À ma chère tante, qui a toujours veillé sur moi avec affection et bienveillance.

À tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire, je vous adresse mes plus sincères remerciements.

KOUIDER MAHMOUD Hakim

Dédicaces

Je dédie humblement ce travail à :

Moi-même, pour avoir cru en mes capacités et persévéré malgré les défis.

Mes chers parents, pour leur amour, leurs prières et leur soutien inconditionnel. Je leur dois, après Dieu, tout ce que j'ai pu accomplir.

Mes frères, mes sœurs, mon épouse bien-aimée et mes enfants chéris,
qui ont toujours été une source de force, de patience et de motivation dans mon parcours.

Mes deux amis proches, pour leur soutien fidèle et constant à chaque étape.

Je vous remercie tous pour votre présence, votre confiance et tout ce que vous avez fait pour moi tout au long de cette aventure académique.

YAHIAOUI Adlan

REMERCIEMENTS

Nous remercions ***Allah****, le Clément et le Miséricordieux, pour son aide et sa lumière qui ont éclairé notre chemin jusqu'à l'achèvement de ce mémoire.*

Je tiens à adresser mes sincères remerciements à Monsieur ***KHERKHAR Abdelkrim*** *pour ses conseils avisés, son soutien constant, son accompagnement professionnel ainsi que pour son généreux partage de connaissances, qui ont grandement enrichi ce mémoire et en ont amélioré la qualité. Son encadrement scientifique et son attention méticuleuse ont constitué la pierre angulaire de ce projet.*

Je remercie également chaleureusement l'ingénieur ***MAHDJOUBI Mohamed Abdelkaïoum*** *(ingénieur en instrumentation) pour son précieux appui technique.*

Je leur adresse à tous deux mes plus profonds respects et mes meilleurs vœux de réussite continue.

ملخص

يدرس هذا المشروع نظام الإيقاف الطارئ (ESD) المشغل بواسطة Triconex بمحطة SBC في حقل حاسي الرمل، مع التركيز على نقطة ضعف تتمثل في الاعتماد على مرسل ضغط وحيد (PT-920) لمراقبة ضغط هواء الأجهزة. يشكل هذا الاعتماد خطرًا على استمرارية التشغيل في حال حدوث خلل في المرسل.

تم اقتراح حل يعتمد على ثلاث مرسلات ضمن منطق تصويت 2oo3 لزيادة الموثوقية وتقليل مخاطر التوقف المفاجئ. تمت محاكاة هذا الحل باستخدام برنامج TriStation 1131 الخاص بـ Triconex، وأظهرت النتائج تحسنًا واضحًا في مستوى الأمان (SIL3)

يمثل هذا العمل مساهمة فعلية في تعزيز السلامة الصناعية وتطوير الهندسة الموثوقة في قطاع الطاقة، كما يشكل نموذجًا لتوظيف المهارات الأكاديمية في معالجة الإشكاليات الواقعية وتحسين فعالية الأنظمة الصناعية الوطنية.

الكلمات المفتاحية: نظام الإيقاف الطارئ ESD، مرسل ضغط، منطق تصويت 2oo3، مستوى الأمان SIL3، برنامج TriStation 1131، السلامة الصناعية ، Triconex

Résumé

Ce projet étudie le système d'arrêt d'urgence (ESD) exploité par Triconex à la station SBC dans le champ de Hassi R'mel, en mettant l'accent sur un point faible représenté par la dépendance à un seul transmetteur de pression (PT-920) pour surveiller la pression de l'air des instruments. Cette dépendance constitue un risque pour la continuité de fonctionnement en cas de défaillance du transmetteur.

Une solution basée sur trois transmetteurs selon une logique de vote 2oo3 a été proposée afin d'augmenter la fiabilité et de réduire les risques d'arrêt intempestif. Cette solution a été simulée à l'aide du logiciel TriStation 1131 de Triconex, et les résultats ont montré une amélioration significative du niveau de sécurité (SIL3).

Ce travail représente une contribution concrète au renforcement de la sécurité industrielle et au développement d'une ingénierie fiable dans le secteur de l'énergie. Il constitue également un modèle d'application des compétences académiques pour résoudre des problématiques réelles et améliorer l'efficacité des systèmes industriels nationaux.

Mots-clés : Système d'arrêt d'urgence ESD, transmetteur de pression, logique de vote 2oo3, niveau de sécurité SIL3, logiciel TriStation 1131, sécurité industrielle, Triconex.

Abstract

This project studies the Emergency Shutdown System (ESD) operated by Triconex at the SBC station in the Hassi R'mel field, focusing on a vulnerability represented by the reliance on a single pressure transmitter (PT-920) to monitor instrument air pressure. This reliance poses a risk to operational continuity in the event of transmitter failure.

A solution based on three transmitters within a 2oo3 voting logic was proposed to increase reliability and reduce the risk of unexpected shutdown. This solution was simulated using Triconex TriStation 1131 software, and the results showed a significant improvement in safety level (SIL3).

This work represents a concrete contribution to strengthening industrial safety and developing reliable engineering in the energy sector. It also serves as a model for applying academic skills to address real-world challenges and improve the efficiency of national industrial systems.

Keywords : Emergency Shutdown System (ESD), pressure transmitter, 2oo3 voting logic, SIL3 safety level, TriStation 1131 software, industrial safety, Triconex.

Sommaire

Dédicaces

Remerciements

Résumé

Sommaire

Liste des figures

Liste des abréviations

Introduction générale.....1

Chapitre I : Localisation de Hassi R'mel et description de la station SBC

I.1. Introduction ……..…….....3

I.2. Description de la région de Hassi R'mel…….....….……..4

I.2.1. Historique de Hassi R'mel…….....4

I.2.2. Organisation de La Direction régionale Hassi R'mel……...5

I.2.3. Présentation des secteurs de Hassi R'mel…….5

a) Secteur nord …….....5

b) Secteur centre…….....5

c) Secteur sud…….....6

I.3. Description de la station SBC (Station Boosting Centre)……...…….7

I.3.1. Sections de procédé.....8

a) Manifold…….....8

b) Séparation d'entrée…….....9

c) Boosting…….....9

I.3.2. Description des systèmes d'utilités……10

a) Système d'air……...…10

b) Système de gaz combustible…….....11

I.3.3. Turbine à gaz MS5002C 11

Sommaire

I.3.4. Compresseur centrifuge BCL606/3A.....12

I.3.5. Systèmes de contrôle et de sécurité……..……..…….....13

a) Système DCS (système de contrôle distribué)…….....13

b) Système ESD (PLC Triconex)…….....13

c) Système F&G (Feu & Gaz)……..14

d) Système SCADA ……14

e) Mark 5 et Mark 6……..14

I.4. Conclusion……..14

Chapitre II : Description matérielle du PLC Tricon

II.1. Introduction……..……..15

II.2. L'automate programmable industrielle……..…….....15

a) Définition……..….....15

b) Critère de choix d'un automate programmable……...…16

II.3. Le Tricon…….....16

II.3.1. Avantages de Tricon……...17

II.3.2. Application de Tricon……..……..……...17

a) Industries.....17

b) Applications de sécurité et de contrôle critique……18

II.3.3. Caractéristiques de Tricon……..……...18

a) sécurité..... 18

b) Redondance et tolérance aux défauts ……..18

c) Performance.....19

d) Communication et intégration……..19

e)Maintenance…….……..19

II.4. Architecture matérielle du système Tricon……....20

II.4.1. Châssis du Tricon……...…….....20

Sommaire

II.4.1.1 Le châssis principal du contrôleur Tricon 20

a) Batteries du châssis principal.....21

b) Commutateur à clé du contrôleur Tricon.....22

II.4.1.2. Le Châssis d'extension.....23

II.4.1.3. Le Châssis RXM.....23

II.4.2. Ports du bus d'E/S et connexions.....24

II.4.3. Câblage côté site d'un contrôleur Tricon.....25

II.4.4. Modules d'alimentation.....25

II.4.5. Systèmes de bus et distribution de l'alimentation.....26

a) Fonctionnement du TriBus.....27

b) Fonctionnement du bus d'E/S.....27

c)Fonctionnement du bus de communication.....28

d) Distribution de l'alimentation.....28

II.5. Principes de fonctionnement de Tricon.....28

II.6. Organisation du contrôleur Tricon situé dans la station SBC.....29

II.6.1. Partie commune.....29

II.6.2. Partie compresseur.....30

II.6.3. Panneau by-pass et commutateurs de dépassement pour la maintenance.....30

II.7. Modules du contrôleur Tricon situé dans la station SBC.....31

II.7.1. Module processeur principal (Modèle 3008).....31

II.7.2. Modules d'entrées/sorties(E/S).....31

a) Modules d'entrées analogiques (Modèle 3703E).....31

b) Modules d'entrées numériques (Modèle 3503E).....31

c) Modules de sortie numérique (Modèle 3604E).....31

II.7.3. Modules de communication.....32

II.7.3.1. ACM (Advanced Communication Module) (Modèle 4609)……..32

II.8. Conclusion ……..…….....33

Chapitre III : Présentation du logiciel de programmation TriStation 1131

III.1. Introduction…….....34

III.2. Caractéristiques principales du logiciel TriStation 1131….....34

III.3. Configuration requise du TriStation 1131 …….....…….....34

III.4. Configuration hardware du contrôleur …….....35

III.5. L'espace de travail de l'application dans TriStation 1131…….36

III.6. Type de l'application…….....38

III.7. Langage de programmation……....39

III.7.1. Diagramme de blocs fonctionnels (Function Block Diagram Language (FBD)….....39

III.8. Types de données utilisées…….....40

III.8.1. Types de données élémentaires……..…….....40

III.8.2. Types de données génériques…….....41

III.9. Configuration des points d'E/S et points de mémoire…....…….....……..42

III.9.1. Déclaration des Tagnames…….....43

III.9.2. Attribution d'un numéro d'alias, d'un type d'alias et d'une adresse physique…….....43

III.10. Conclusion…….....45

Chapitre IV : Description de l'application de sécurité de la station SBC

IV.1. Introduction.....46

IV.2. Facteurs d'arrêt d'urgence de la station SBC.....….....46

a) Chute de pression de l'air instrument.....46

b) Chute de tension…….....48

c) Le bouton poussoir ESD (HS-900).....49

IV.3. Effets d'arrêt d'urgence de la station SBC.....51

IV.4. Séquences d'arrêt de procède (PSD) de la station SBC…….…….....55

IV.4.1. Séquences d'arrêt des procèdes (D-901A/B/C/D/E/F)……..…….....56

IV.4.2. Séquences d'arrêt de procèdes (D-902 A/B/C/D/E/F/G/H/I)….....57

IV.5. Conclusion…….....58

Chapitre V : Étude d'une amélioration de l'architecture de contrôle de la chute de pression de l'air instrument

V.1. Introduction…….....59

V.2. Problématique…….....59

V.2.1. Conséquences de la chute de pression et de l'arrêt de la station SBC.....60

V.3. Amélioration proposée……..…….....61

V.4. Création d'un nouveau programme…….....63

a) Programme de la Chaîne d'acquisition des signaux.....63

b) Programme de détection de déviation.....66

c) Programme de vote 2oo3 – Déclenchement de sécurité.....67

d) Programme de génération des alarmes vers le DCS.....67

e) Fonction bloc d'interconnexion du Programme global de Vote 2oo3.....68

V.5. Implémentation du programme…….....68

V.6. Résultats de la simulation du programme global 2oo3 69

1) L'état normal …….....70

2) L'état de déviation.....71

3) Les états de déclenchement du facteur de chute de pression de l'air instrument.....71

4) l'état du by-pass manuel (MOS) du transmetteur en défaut.....73

V.7. Chargement du programme dans le PLC Tricon…….....74

V.8. Conclusion…….....75

Conclusion générale.....76

Références bibliographiques

Liste des figures

Chapitre : 1

Fig.I.01 : Les états producteurs de gaz naturel ……..…1

Fig.I.02 : Les lignes d'exportation gazière depuis Hassi R'mel …….....1

Fig.I.03 : Position géographique de Hassi R'mel …….....……....…4

Fig.I.04 : Organigramme de la direction de Hassi R'mel…….....……...5

Fig.I.05 : Emplacement des différentes unités de Hassi R'mel……6

Fig.I.06 : Schéma du processus industriel de Hassi R'mel……..7

Fig.I.07 : Vue de la station SBC……...….8

Fig.I.08 : Sections de procédé de la station Boosting…….……10

Fig.I.09 : Système d'air……....10

Fig.I.10 : Système de gaz combustible……11

Fig.I.11 : Schéma de débit de la turbine à gaz à deux arbres ……..12

Fig.I.12 : Schéma simplifié d'un compresseur centrifuge……...…13

Chapitre : 2

Fig.II.01 : Châssis principale d'un PLC Tricon……...17

Fig.II.02 : Normes et évaluation des risques…….…….....18

Fig.II.03 : Châssis principale de PLC Tricon situé dans la station SBC …….....……21

Fig.II.04 : Batteries du châssis principal…….……21

Fig.II.05 : Commutateur à clé du contrôleur Tricon ……...……22

Fig.II.06 : Châssis d'extension du PLC Tricon situé dans la station SBC ……....….23

Fig.II.07 : Châssis RXM……...…..……24

Fig.II.08 : Exemple de configuration d'un système Tricon ……..…….24

Fig.II.09 : Ports du bus d'extension d'E/S …….….....…....25

Fig.II.10 : Raccordement des câbles de terminaison LQ entre le contrôleur Tricon et les interfaces à relais.....25

Fig.II.11 : Bornes du module d'alimentation et panneau avant …….....26

Liste des figures

Fig.II.12 : Systèmes de bus Tricon et distribution de l'alimentation …….....27

Fig.II.13 : Architecture triplée du contrôleur Tricon …….....28

Fig.II.14 : Modules du châssis principal…….....……...30

Fig.II.15 : Modules du châssis extension……..…..30

Fig.II.16 : Panneau de by-pass…….....31

Fig.II.17 : Interface entre le module Tricon ACM et le système DCS I/A Foxboro ……...32

Chapitre : 3

Fig.III.01 : Configuration du contrôleur Tricon…….....35

Fig.III.02 : Configuration du châssis principale……..…36

Fig.III.03 : Configuration du châssis supplémentaire……..…..36

Fig.III.04 : L'arborescence de l'espace de travail de l'application…….37

Fig.III.05 : Espace de travail de programmation.....…...37

Fig.III.06 : Aperçu de la barre d'outils de l'éditeur de schémas.....37

Fig.III.07 : Espace de travail de l'implémentation ……..……..38

Fig.III.08 : Onglet de spécification de type d'application……..……38

Fig.III.09 : Onglet de spécification de langage……...39

Fig.III.10 : Arborescence des Tagnames déclarés……...……...42

Fig.III.11 : Onglet de déclaration de Tagname……..…43

Fig.III.12 : Affectation pour un point d'entrée……...44

Fig.III.13 : Affectation pour un point mémoire……..…45

Chapitre : 4

Fig.IV.01 : Localisation de Transmetteur PT-920 dans l'unité SBC.....47

Fig.IV.02 : Programme de chute de pression de l'air instrument sur TriStation.....47

Fig.IV.03 : Programme de chute de tension sur TriStation.....48

Fig.IV.04 : Bouton poussoir ESD sur la console auxiliaire.....49

Fig.IV.05 : Activation de bouton poussoir ESD sur TriStation.....49

Liste des figures

Fig.IV.06 : Programme de déclenchement de la station SBC par le facteur de chute de pression.....50

Fig.IV.07 : Programme de fermeture de la vanne d'aspiration XV-901A.....51

Fig.IV.08 : Programme de fermeture de la vanne d'aspiration XV-901B.....52

Fig.IV.09 : Programme de fermeture de la vanne de refoulement XV-920.....52

Fig.IV.10 : Programme de fermeture de la vanne de refoulement XV-921.....53

Fig.IV.11 : Programme de fermeture de la vanne de refoulement XV-922.....53

Fig.IV.12 : Programme de la fermeture de la vanne XV-931 et l'ouverture de la vanne PV-923B.....54

Fig.IV.13 : Programme de l'arrêt avec dépressurisation de l'unité D par un facteur ESD.....55

Fig.IV.14 : Localisation de transmetteur LT-903 et la vanne LV-904 dans le ballon de séparation D-901B.....56

Fig.IV.15 : Programme de fermeture de la vanne LV-904B après avoir un niveau inférieur détecté par LT-903B.....56

Fig.IV.16 : Localisation de contacteur LSLL-907 et la vanne LV -905 dans le ballon D-902C.....57

Fig.IV.17 : Programme de la fermeture de la vanne LV-905C après avoir un niveau inférieur détecté par LSLL-907C.....58

Chapitre : 5

Fig.V.01 : Schéma fonctionnel du système d'air instrument présenté sur l'interface DCS.....59

Fig.V.02 : Schéma PID de l'architecture de contrôle actuel.....60

Fig.V.03 : Disposition des instruments et des points de prise d'impulsion des transmetteurs dans le processus d'air instrument sur site.....60

Fig.V.04 : Schéma PID de l'architecture de contrôle après l'amélioration proposée.....62

Fig.V.05 : Module répartiteur isolé de signal 4–20 mA.....62

Fig.V.06 : Vue comment choisir le langage de programmation.....63

Fig.V.07 : Programme de la chaine d'acquisition pour le PT-920.....65

Liste des figures

Fig.V.08 : Programme de la chaine d'acquisition pour le PT-921.....65

Fig.V.09 : Programme de la chaine d'acquisition pour le PT-922.....66

Fig.V.10 : Représentation du programme de déviation.....66

Fig.V.11 : Programme de vote 2oo3.....67

Fig.V.12 : Programme de génération d'alarmes vers le DCS.....67

Fig.V.13 : Représentation du bloc fonctionnel du programme global de vote 2oo3.....68

Fig.V.14 : Implémentation du programme.....68

Fig.V.15 : Recherche et sélection du programme à exécuter.....69

Fig.V.16 : Emulation du programme.....69

Fig.V.17 : Barre d'outils des panneaux du contrôleur et de l'émulateur.....69

Fig.V.18 : Représentation du programme en fonctionnement normale.....70

Fig.V.19 : Représentation du programme en état de déviation.....71

Fig.V.20 : Représentation du programme en cas de chute de pression de l'air instrument....72

Fig.V.21 : Vue du programme en cas de dépassement de la plage des transmetteurs.....72

Fig.V.22 : État du transmetteur en défaut PT922 avant l'activation du by-pass (MOS).....73

Fig.V.23 : État du transmetteur en défaut PT922 après l'activation du by-pass (MOS).....74

Fig.V.24 : Chargement du programme dans le PLC.....74

Liste des abréviations

- **SBC** : Station Boosting Centre
- **ESD** : Emergency Shutdown.
- **PSD** : Process Shutdown.
- **DCS** : Distributed Control System.
- **ACM** : Advanced Communication Module.
- **SNCC** : Système Numérique de Contrôle Centralisé.
- **SIS** : Système Instrumenté de Sécurité.
- **TMR** : Triple Module Redundant.
- **TSAA** : Tricon System Access Application.
- **PLC** : Programmable Logic Controller.
- **API** : Automate Programmable Industriel.
- **2oo3** : Two Out of Three.
- **PSLL** : Pressure Switch Low Low.
- **SOE** : Sequence of Event.
- **SIL** : Safety Integrity Level.
- **PFD** : Probability of Failure on Demand.
- **BNC** : Bayonet Neill-Concelman - Connecteur coaxial.
- **CEI 61131-3** : Norme industrielle de la Commission électrotechnique internationale standardisant les langages de programmation .
- **M250** : Point mémoire dans TriStation 1131 pour la surveillance de la chute de pression et le déclenchement des actions de sécurité en cas de défaillance.
- **DINT** : Double Integer – Type de donnée numérique entière signée sur 32 bits.
- **MOS** : Manuel Override Switch.
- **MPP :** Module Processing Plant.
- **SRGA** : Station de Récupération de Gaz Associé.

Liste des abréviations

- **SCN :** Station de Compression ou de Réinjection Nord.
- **SCS** : Station de Compression ou de Réinjection Sud.
- **RXM** : Remote eXtension Module.
- **FBD :** Function Block Diagram.

Introduction générale

Introduction générale

L'énergie joue un rôle central dans le développement économique et social des nations. Depuis la révolution industrielle, les besoins en énergie n'ont cessé d'augmenter, et aujourd'hui encore, les combustibles fossiles comme le pétrole et le gaz naturel restent les principales sources d'approvisionnement énergétique à l'échelle mondiale. Grâce aux progrès scientifiques et techniques, l'homme a su exploiter ces ressources avec une efficacité croissante, en développant des infrastructures complexes et des systèmes automatisés de plus en plus performants.

Parmi ces ressources, le gaz naturel occupe une place de choix en tant qu'énergie propre et économique. Cependant, sa mise en valeur requiert des investissements lourds, notamment dans les domaines du transport, du traitement, et surtout de la sécurité des installations. L'Algérie, riche en ressources gazières, occupe une position stratégique sur l'échiquier énergétique mondial. Pour préserver cette position dans un marché de plus en plus concurrentiel, il est essentiel de garantir la fiabilité, la performance et la sécurité des unités de production.

Le champ gazier de Hassi R'Mel, considéré comme le plus grand d'Afrique, constitue le cœur de la production nationale. La station *Boosting Centre* (SBC) en fait partie. Elle a pour mission de compresser le gaz afin de maintenir un débit optimal vers les unités de traitement. Dans ce contexte, la sécurité industrielle prend une dimension capitale, notamment à travers le système d'arrêt d'urgence (*Emergency Shutdown System – ESD*), chargé de protéger les équipements et le personnel contre tout incident critique.

La problématique de ce mémoire porte sur l'optimisation de l'architecture de contrôle d'un paramètre crucial : la chute de pression de l'air instrument, intégrée au système ESD de la station SBC. L'objectif principal est d'atteindre un niveau de sécurité élevé (SIL3) en minimisant la probabilité de défaillance à la demande (PFD), grâce à une refonte logicielle et architecturale du programme de sécurité.

Pour cela, le présent travail est structuré comme suit :

- Chapitre I : Présente le champ gazier de Hassi R'Mel et la station SBC, en décrivant ses processus et équipements de contrôle.
- Chapitre II : Détaille l'architecture du système ESD basé sur l'automate Triconex, certifié SIL3.

- Chapitre III **:** Expose les fonctionnalités du logiciel TriStation 1131, utilisé pour le développement des applications de sécurité.
- Chapitre IV : Analyse le programme de sécurité actuellement en service dans le système ESD de la station SBC.
- Chapitre V : Propose une nouvelle architecture de sécurité adaptée à la problématique posée, avec le développement et la simulation d'un programme optimisé.

Ce mémoire s'inscrit dans une démarche d'amélioration continue de la sécurité industrielle, en mettant en œuvre des solutions automatisées fiables et conformes aux normes internationales.

Chapitre I : Localisation de Hassi R'mel et description de la station SBC

I.1. Introduction :

Le secteur énergétique occupe une place prédominante dans l'économie de l'Algérie. En 2024, l'Algérie conserve son rang parmi les principaux producteurs mondiaux de gaz naturel, avec des réserves prouvées estimées à 4 504 milliards de mètres cubes**,** se classant deuxième en Afrique derrière le Nigeria. **C**es chiffres confirment l'importance stratégique du pays dans le paysage énergétique mondial.[1]

On peut distinguer en Algérie deux grandes zones de production de gaz. La première est constituée par l'un des gisements les plus riches du monde : Hassi R'Mel, dont les réserves sont estimées à plus de 2 400 milliards de mètres cubes.

La deuxième zone est située dans l'Est du Sahara algérien, vaste territoire abritant plusieurs gisements, dont le plus important est Rhourde-Nouss, avec des réserves estimées actuellement à au moins 500 milliards de mètres cubes.

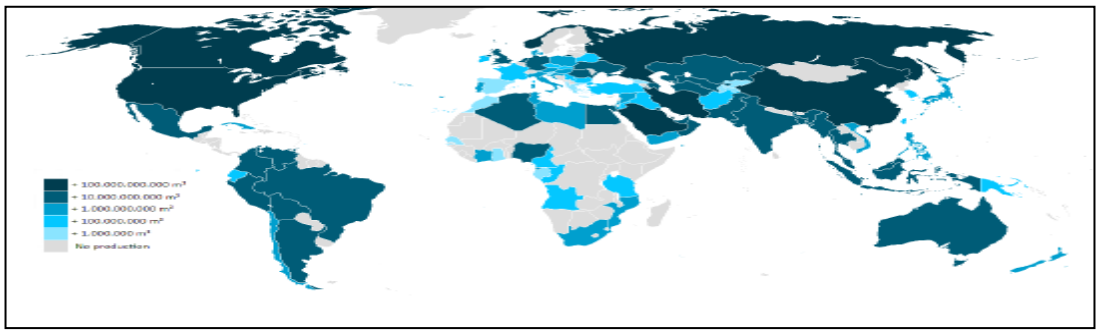


Fig.I.01 : Les états producteurs de gaz naturel [1]

les exportations algériennes de gaz naturel, incluant le GNL, se sont élevées à environ 48,7 milliards de mètres cubes. Les exportations de GNL ont atteint 11,62 millions de tonnes, avec la Turquie, la France et l'Italie comme principaux clients, représentant 63 % des exportations totales. L'Algérie a conservé sa position de quatrième fournisseur de GNL pour l'Union européenne, avec 6,84 millions de tonnes exportées. [15]

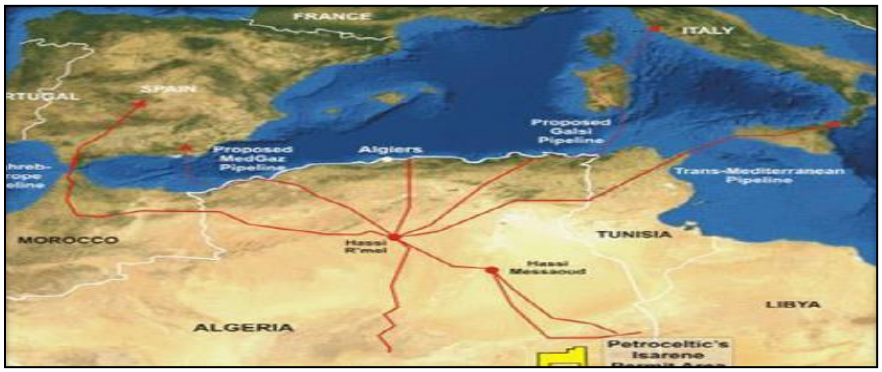


Fig.I.02 : Les lignes d'exportation gazière depuis Hassi R'mel

I.2. Description de la région de Hassi R'mel :

Hassi R'mel, considérée comme la porte du désert, se situe à 550 km au sud de la capitale, à une altitude moyenne de 760 mètres. Elle est implantée sur un vaste plateau rocailleux où seule une végétation clairsemée parvient à pousser.

Le climat y est caractérisé par une faible pluviométrie, estimée à 140 mm/an, une humidité moyenne de 19 % en été et de 34 % en hiver. Les températures varient entre –5 °C en hiver et 45 °C en été. Les vents dominants soufflent généralement du nord-ouest et peuvent atteindre des vitesses allant jusqu'à 100 km/h.

Le gisement de Hassi R'mel est classé 4e au niveau mondial et 1er en Algérie. Il couvre une superficie de 3 500 km², s'étendant sur 70 km du nord au sud et 50 km d'est en ouest. Le gaz naturel s'y trouve à des profondeurs comprises entre 2 110 m et 2 280 m.

Les principaux champs de la région sont : Hassi R'mel, Djebel Bessa, Oued Noumer, Aït Kheir, Sidi Mezghiche et Makouda .



Fig.I.03 : Position géographique de Hassi R'mel

I.2.1. Historique de Hassi R'mel :

La première campagne d'exploration dans la région a eu lieu en 1951. Le forage du premier puits d'exploitation a été réalisé en 1952, à quelques kilomètres de Berriane.

Dans le champ de Hassi R'mel, le premier puits HR-1 a été foré en 1956, au sommet de l'anticlinal formant le gisement de Hassi R'mel. Ce puits a révélé la présence d'un gaz riche en condensats dans le trias gréseux, à une pression de 310 atmosphères et une température de 90 °C. La profondeur atteinte était de 2 332 mètres, révélant l'existence d'un réservoir de gaz humide. Entre 1957 et 1960, sept autres puits ont été forés : HR-2, HR-3, HR-4, HR-5, HR-6, HR-7 et HR-8.[2]

I.2.2. Organisation de La Direction régionale Hassi R'mel :

La Direction régionale de Hassi R'mel (DRH) assure l'exploitation du gaz et du pétrole, ainsi que leur dispatching vers Arzew, Skikda, l'Italie et l'Espagne, en passant par la Tunisie et le Maroc. Elle est également responsable de la maintenance des équipements d'exploitation et de production. La DRH est structurée en cinq directions et six divisions.

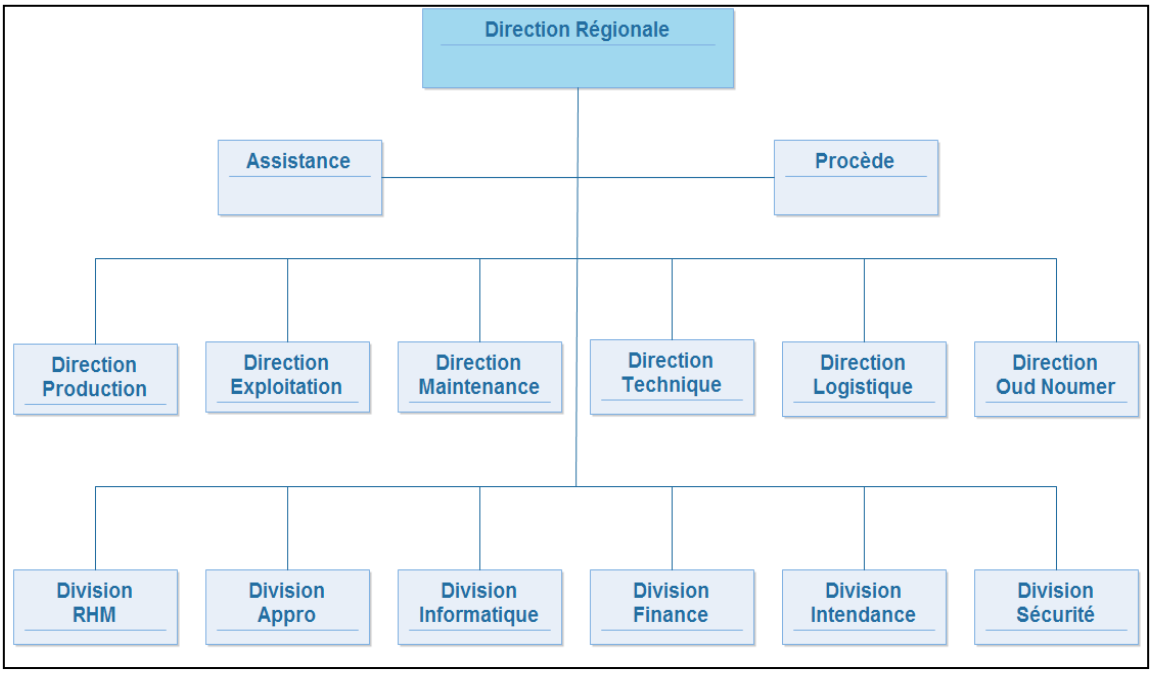


Fig.I.04 : Organigramme de la direction de Hassi R'mel .[2]

I.2.3. Présentation des secteurs de Hassi R'mel :

Le champ de Hassi R'mel compte trois secteurs :

a) Secteur nord :

- Station Boosting Nord (SBN)
- Modules de traitement du gaz (MPP3).
- Station de Compression ou de Réinjection Nord (SCN).
- Centres de Traitement d'Huile (CTH 2,4)

b) Secteur centre :

- Station Boosting Centre (SBC).
- Trois Modules (MPP 0, MPP 1, MPP 4).
- L'unité de phase B.
- Centre de Stockage et de Transfert des Fluides (CSTF)
- Station de Récupération de Gaz Associé (SRGA).
- Centres de Traitement d'Huile (CTH 1,3)

c) Secteur sud :

- Station Boosting Sud (SBS).
- Module de traitement du gaz (MPP2).
- Station de Compression ou de Réinjection Sud (SCS)
- Djebel-Bessa .
- HR sud.

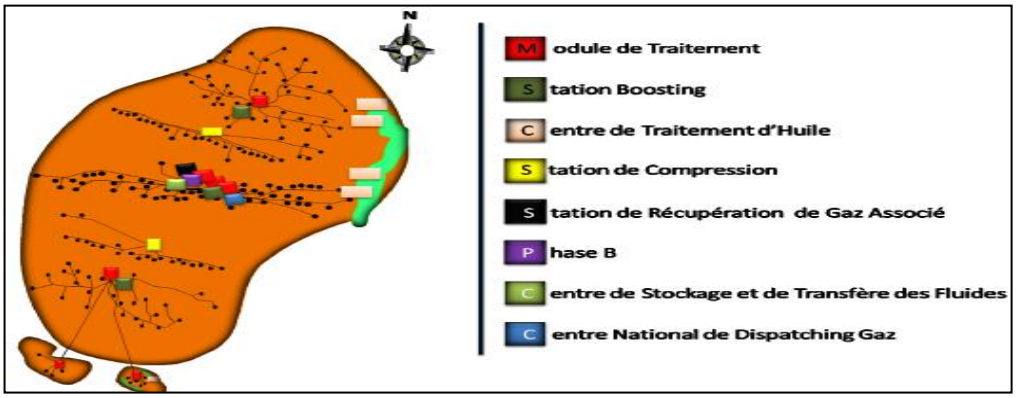


Fig.I.05 : Emplacement des différentes unités de Hassi R'mel

Les stations de boosting nord, centre et sud sont des installations conçues pour augmenter la pression d'entrée des modules de traitement de gaz jusqu'à 100 bars, suite à la forte baisse enregistrée dans la pression du gisement de Hassi R'mel, et afin d'assurer l'exploitation continue du champ gazier. Cette augmentation de pression permet également une séparation optimale dans les modules.

Dans une deuxième étape, les modules traitent le gaz humide et le transforment en dérivés suivants :

- Le gaz sec
- Le GPL (gaz de pétrole liquéfié)
- Le condensat

Les quatre unités de traitement du gaz (MPP 1, MPP 2, MPP 3 et MPP 4) ont chacune une capacité de 80 millions de m^3/jour. Cependant, le MPP 0 a une capacité de 30 millions de m^3/jour, et Djebel Bissa une capacité de 6 millions de m^3/jour.

Le condensat et le GPL produits par ces modules sont envoyés vers le Centre de Stockage et de Transfert des Fluides (CSTF) pour y être stockés, puis acheminés vers le terminal d'Arzew à travers les deux oléoducs LZ1 et NZ1.

Le CSTF a une capacité de stockage totale de 78 000 m^3 de GPL et 285 000 m^3 de condensat.

Le gaz sec (ou gaz de vente) produit par les unités de traitement est collecté au Centre National de Dispatching du Gaz, avant d'être redistribué vers les centres de consommation nationale et internationale (Maroc, Italie et Espagne).

Les deux centres de compression nord et sud (SCN et SCS) sont conçus pour la réinjection du gaz sec dans des puits injecteurs, afin de maintenir la pression du gisement et d'extraire un maximum de condensat.

Enfin, quatre centres de traitement du pétrole ont été mis en service après la découverte d'un anneau pétrolifère sur le flanc est du champ de Hassi R'mel en mars 1979. [3]

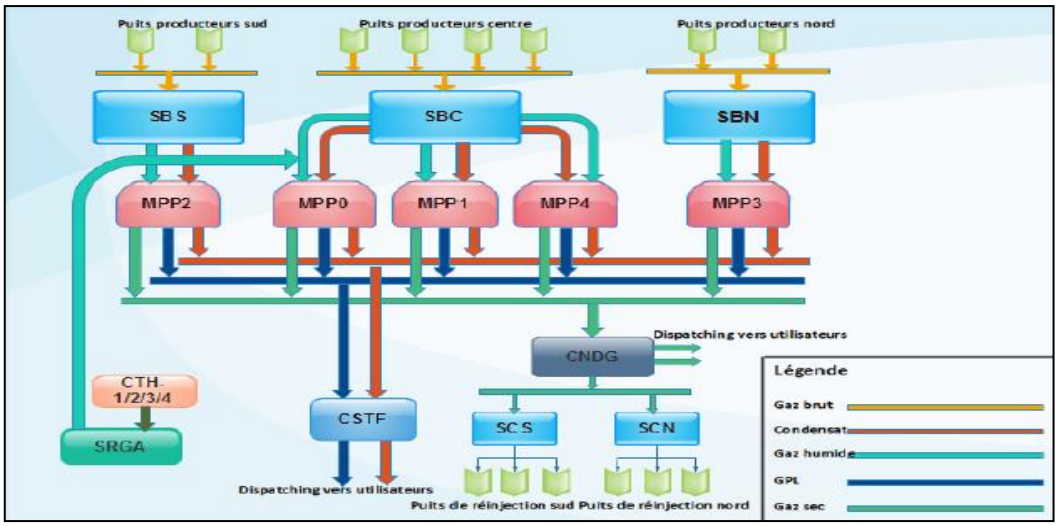


Fig. I.06 : Schéma du processus industriel de Hassi R'mel

I.3. Description de la station SBC (Station Boosting Centre) :

La Station Boosting Centre (SBC) est conçue pour comprimer le gaz d'alimentation jusqu'à une pression d'au moins 102 kg/cm²G, soit la pression de livraison requise à l'entrée des modules MPP-0, MPP-1 et MPP-4. Le condensat et l'eau contenus dans le gaz d'alimentation sont respectivement séparés en amont des unités de compression.

Le condensat séparé est envoyé vers chaque MPP, tandis que l'eau libre est dirigée vers le système d'évacuation des eaux huileuses.

Le mot "boosting" vient de l'anglais "booster", qui signifie amplifier en français. Ainsi, le terme boosting est associé à l'idée d'amplification de pression.

Pourquoi la création de l'unité de boosting ?

Avant la mise en service de cette unité, les modules MPP-0, MPP-1 et MPP-4 étaient alimentés directement par des puits indépendants, avec une pression d'alimentation initialement supérieure à 100 kg/cm².

Cependant, en raison de l'usage permanent et intensif de ces puits, la pression a diminué progressivement, atteignant le seuil minimal critique, ce qui a posé un problème de maintien de la production.

Après plusieurs études, deux solutions ont été envisagées :

- ☒ Réduire la production
- ☑ Créer une station de compression (refoulement)

Étant donné l'importance économique de la production, la création de l'unité boosting a été retenue comme la solution prioritaire afin de maintenir un débit stable.

Débit d'alimentation des modules : 150 millions de m³/jour répartis comme suit :

Module 0 : 30 millions de m³/jour

Module 1 : 60 millions de m³/jour

Module 4 : 60 million de m³/jour

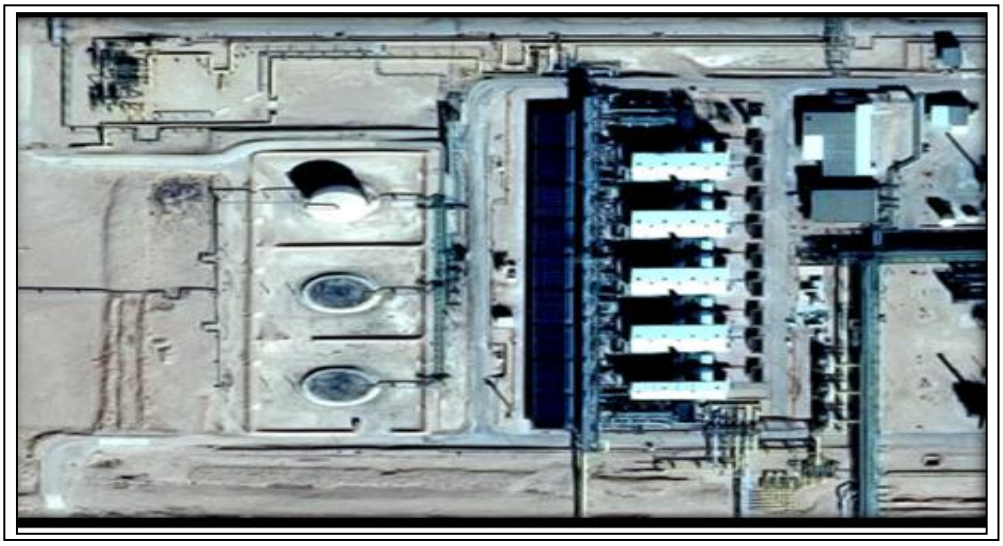


Fig.I.07 : Vue de la station SBC

I.3.1. Sections de procédé :

La station Boosting se compose des trois sections suivantes :

- Manifold
- Séparation d'entrée
- Compression (Boosting)

a) Manifold :

Le mot manifold, d'origine anglaise, signifie collecteur, c'est-à-dire un système qui regroupe un certain nombre de puits. La station Boosting est alimentée par 91 puits producteurs

Cette section est composée des éléments suivants :

- ❖ Manifolds d'entrée et de sortie
- ❖ Ligne de by-pass de la station
- ❖ Vannes d'arrêt d'entrée (XV-901A et XV-901B) et vannes de sortie (XV-920, XV-921 et XV-922).

b) Séparation d'entrée :

Cette section comprend les équipements suivants :

- Séparateurs d'entrée D-901A à D-901F
- Refroidisseurs de condensat hydrocarbures E-904 et E-905

Le condensat et l'eau contenus dans le gaz d'alimentation sont séparés respectivement dans le séparateur D-901.Le gaz séparé est ensuite dirigé vers les unités de compression (boosting).
Le liquide condensat traverse d'abord les deux vannes de niveau LV-934A et LV-934B, contrôlées par un système de régulation à plage partagée (Split Range). Ensuite, le condensat est refroidi en passant par les refroidisseurs E-904 et E-905, avant d'être acheminé vers chaque MPP correspondant. Le débit du condensat est mesuré par des contrôleurs utilisant une régulation en cascade avec contrôle de rapport, permettant de commander les vannes de débit dédiées à chaque MPP (FV-930, FV-931A/B/C, FV-934A/B/C).
Quant à l'eau libre séparée, elle est envoyée vers le système d'évacuation des eaux huileuses.

c) Boosting :

Cette section est composée des éléments suivants :

- ➢ Collecteurs d'entrée et de sortie communs aux unités de boosting.
- ➢ Unités de boosting.

Les équipements constituant l'unité de boosting sont :

- ➢ Ballon d'entrée du compresseur booster D-902.
- ➢ Compresseur booster K-901.
    - Type : centrifuge, modèle BCL 606-3A de Nuovo Pignone
    - Dispositif d'entrainement : turbine à gaz MS5002C de Nuovo Pignone
- ➢ Refroidisseur de gaz E-901.

Le gaz est comprimé par le compresseur centrifuge jusqu'à une pression supérieure à 100 kg/cm² et atteint une température de 104 °C. Il est ensuite refroidi par les refroidisseurs de gaz E-901 à une température d'environ 60 °C. Enfin, le gaz est dirigé vers le collecteur de refoulement, puis évacué vers les modules via :

- XV-920 → vers le module 4
- XV-921 → vers le module 1
- XV-922 → vers le module 0. [3]

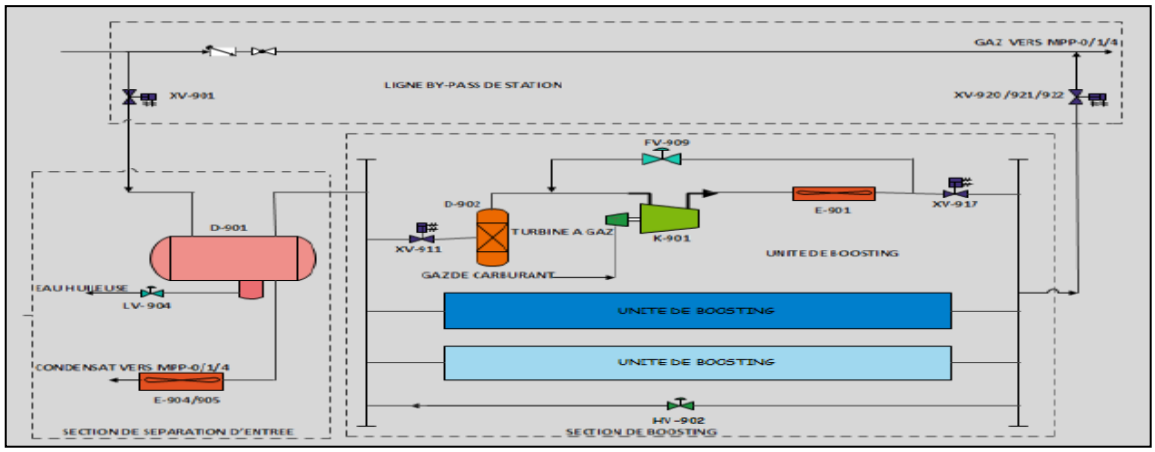


Fig.I.08 : Sections de procédé de la station Boosting

I.3.2. Description des systèmes d'utilités :

a) Système d'air :

Le système d'air est composé des équipements suivants :

- Compresseur d'air axial monté sur le dispositif d'entrainement de l'unité de boosting (turbine à gaz).
- Refroidisseur d'air extrait E-903.
- Sécheur d'air instrument Z-904.
- Récepteur d'air D-907.

Une partie de l'air extrait de chaque unité de boosting est envoyée via le refroidisseur E-903 vers une station de piquage (station des prises d'air) comme air de service. L'air restant est envoyé vers Z-904 pour éliminer l'humidité. Ensuite, l'air séché est distribué via D-907 aux instruments comme air instrument. Les sécheurs d'air instrument fonctionnent en alternance grâce à un contrôle séquentiel, permettant leur régénération automatique.[4]

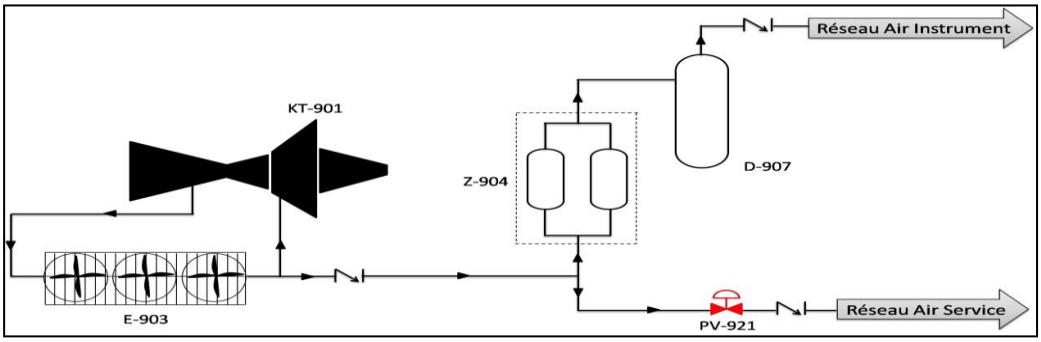


Fig.I.09: Système d'air

b) Système de gaz combustible :

Le système de gaz combustible est composé des équipements suivants :

- Ballon tampon de gaz combustible D-912.
- Système de contrôle de la pression PCV-923A/B.

Le gaz de vente venant de MPP-1 est envoyé vers SBC pour y être utilisé en tant que gaz combustible. Avant de distribuer ce gaz combustible vers les unités, l'eau et le condensat hydrocarbures présents dans le gaz de vente sont séparés dans le ballon tampon de gaz combustible D-912. La pression d'alimentation en gaz combustible est contrôlée par un système de contrôle de la pression avec une gamme divisée (« split range »).[4]

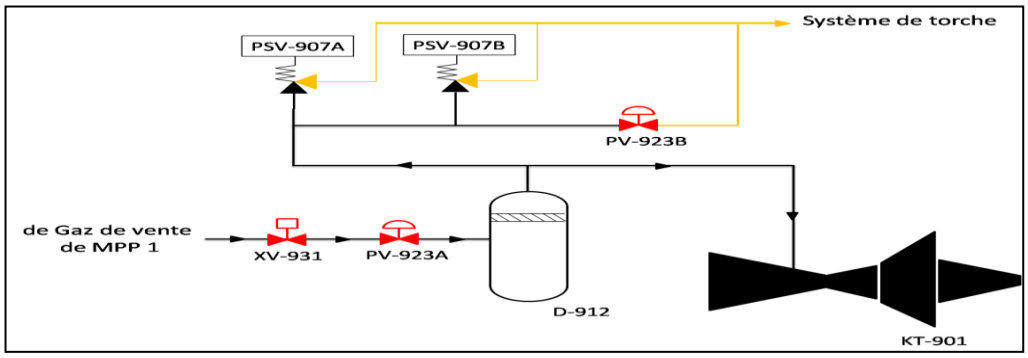


Fig.I.10 : Système de gaz combustible

I.3.3. Turbine à gaz MS5002C :

Les turbines à gaz installées au niveau de la station sont du modèle MS5002. Elles sont utilisées pour entraîner des compresseurs centrifuges multistages (16 étages). La turbine à gaz MS5002C est une machine rotative à combustion interne. Sous tous ses aspects, elle peut être considérée comme un système autosuffisant. Elle aspire et compresse l'air atmosphérique filtré par un système de filtration d'entrée autonettoyant dans son compresseur axial. Ensuite, elle augmente la puissance énergétique de l'air comprimé dans sa chambre de combustion, en utilisant la chaleur dégagée par la combustion, et convertit cette puissance thermique en énergie mécanique utile pendant le processus de détente dans la section turbine.

La grande puissance, le bon fonctionnement ainsi que les hautes performances des turbines à gaz font d'elles un des moyens les plus sollicités pour l'entraînement des charges mécaniques. L'énergie mécanique qui en résulte est transmise par l'intermédiaire d'un accouplement à une machine réceptrice, qui peut être un compresseur, un alternateur, etc. Les turbines à gaz ont une très grande utilité dans l'industrie, car elles sont des appareils de production d'énergie mécanique.

Les turbines utilisées dans les centres industriels sont des turbines à deux arbres. Elles possèdent deux roues mécaniquement indépendantes, permettant aux deux roues de fonctionner respectivement à des vitesses différentes pour répondre aux charges variées exigées par le compresseur centrifuge. [5]

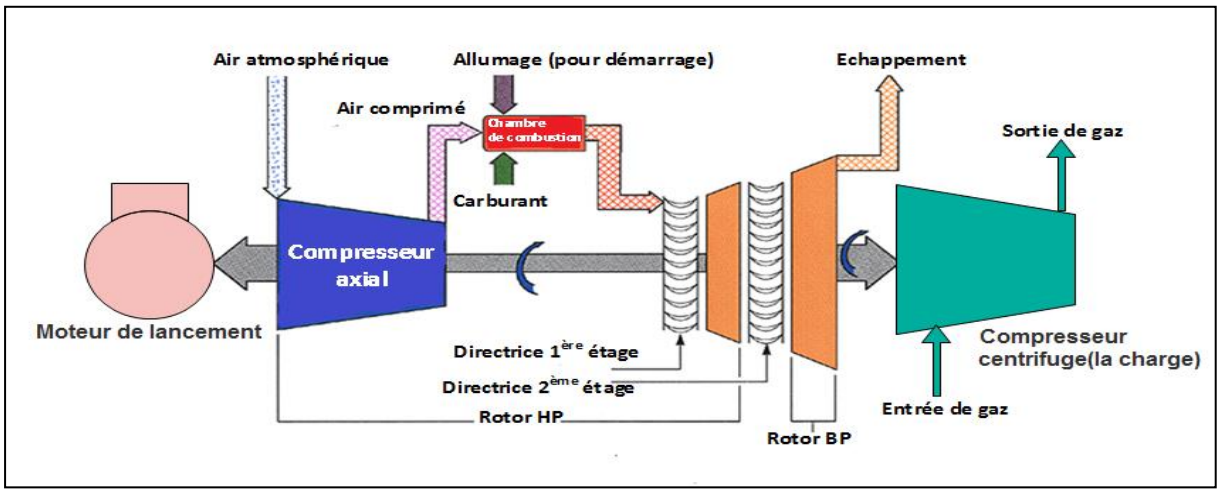


Fig.I.11 : Schéma de débit de la turbine à gaz à deux arbres

I.3.4. Compresseur centrifuge BCL606/3A :

Extérieurement, cet appareil se présente comme une grande enceinte fermée avec deux brides extérieures :

- l'une reliée à la tuyauterie d'aspiration,
- l'autre à la tuyauterie de refoulement.

À l'intérieur de cet appareil se trouve un organe actif assurant la compression du gaz, depuis la pression d'aspiration jusqu'à la pression de refoulement. Ce compresseur centrifuge se compose essentiellement de :

- ✓ Une conduite d'admission, en liaison avec la bride d'aspiration du compresseur.
- ✓ Un rotor à six roues, avec ses paliers et ses garnitures d'étanchéité.
- ✓ Un diffuseur (corps interne fixe qui oriente le gaz d'une roue vers l'autre).
- ✓ Une volute (tuyauterie) de sortie.

L'énergie mécanique fournie par la roue du compresseur est transmise au gaz sous forme d'une augmentation de vitesse, laquelle est ensuite transformée en pression. Cette pression est accrue lors de la collision des molécules de gaz avec le diffuseur, après la sortie de chaque roue.

Le gaz de procédé est comprimé de 56 kg/cm² à 100 kg/cm² par le compresseur centrifuge de type BCL 606/3A, entraîné par une turbine à gaz MS 5002C (fournie par Nuovo Pignone), reliée au compresseur par un accouplement. [6]

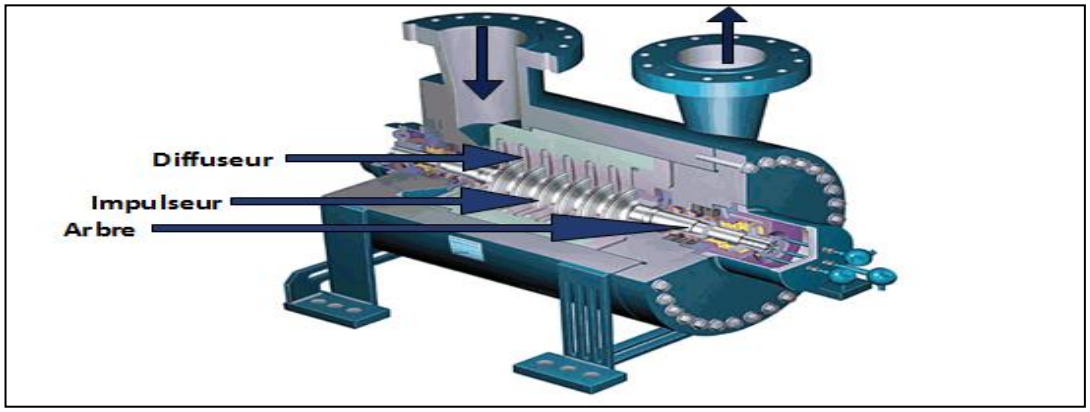


Fig.I.12 : Schéma simplifié d'un compresseur centrifuge

I.3.5. Systèmes de contrôle et de sécurité :

a) Système DCS (système de contrôle distribué) :

Le DCS est un système numérique destiné à la surveillance et à la conduite des procédés industriels. Il est constitué d'un ensemble d'unités basées sur des microprocesseurs, permettant d'assurer le contrôle, la commande et l'exécution des différentes tâches industrielles.

Les traitements de données sont répartis entre plusieurs unités du système, d'où l'appellation « système de contrôle distribué ».

Les principales fonctions du système DCS sont les suivantes :

- Le traitement arithmétique et logique de toutes les boucles de régulation du procédé.
- Le contrôle des différents paramètres du procédé (débit, température, niveau, etc.).
- La gestion de l'ouverture et/ou de la fermeture des vannes motorisées de la station.
- L'acquisition et la gestion des signaux et alarmes provenant du procédé.

b) Système ESD (PLC Triconex):

Le système ESD a pour fonction de gérer les logiques et les séquences de sécurité de la station. C'est le système que nous allons étudier dans ce travail.

Ce système permet d'assurer la mise en sécurité de la station et du procédé en cas de défaillances majeures telles que :

- une coupure de l'alimentation électrique,
- une pression d'air instrument insuffisante.

Il prend en charge notamment :

- ✓ L'exécution des procédures d'arrêt d'urgence de la station (ESD).
- ✓ L'exécution des procédures d'arrêt du procédé de la station (PSD – Process Shut Down).
- ✓ L'exécution des procédures d'arrêt d'urgence avec pressurisation (PESD) ou sans pressurisation (DESD) pour chaque compresseur.

c) Système F&G (Feu & Gaz) :

Le but du système de feu et gaz (FACP, GAP) est de prévoir ou détecter le feu et le gaz, et d'activer les alarmes afin d'entreprendre les actions nécessaires pour garantir la protection du personnel et des installations.

d) Système SCADA :

Le but du système SCADA installé dans la station SBC est le télé-contrôle, la supervision et l'acquisition des données nécessaires à l'exploitation des puits d'alimentation de la station.

e) Mark 5 et Mark 6 :

Ce sont les systèmes de contrôle et de protection des 9 turbocompresseurs situés dans la station SBC. Ces systèmes utilisent des capteurs appropriés pour contrôler et surveiller les paramètres dynamiques, afin d'assurer la souplesse nécessaire pour que la turbine à gaz puisse répondre aux différents types de charges qui lui sont imposées. [7]

I.4. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté une vue d'ensemble du champ de Hassi R'mel, ainsi qu'une description détaillée de la station de boosting du centre (SBC). Cette station joue un rôle crucial dans la production de gaz. L'arrêt de la station SBC aurait un impact direct sur la production dans les modules de traitement (MPP-0, MPP-1, MPP-4), ce qui signifie que toutes les unités de production forment une chaîne interdépendante. Pour garantir le bon fonctionnement de cette chaîne, il est essentiel de contrôler efficacement les procédés et les différents systèmes présents dans cette station.

Chapitre II : Description matérielle du PLC Tricon

II.1. Introduction :

Les automates programmables (PLC) sont apparus pour la première fois aux États-Unis vers 1969. Leur objectif initial était d'automatiser les chaînes de montage dans l'industrie automobile. Grâce à leur fiabilité, leur souplesse et leur facilité de reprogrammation, leur utilisation s'est progressivement généralisée à l'ensemble des secteurs industriels.

Le développement des systèmes automatisés a accompagné une hausse significative des exigences des entreprises industrielles, notamment en matière de qualité, de performance et d'optimisation des processus. Parmi ces exigences, la sécurité occupe une place centrale. Réduire les risques implique la mise en œuvre d'un ensemble de moyens techniques et organisationnels permettant d'atteindre un niveau de sécurité acceptable, garantissant ainsi la protection des personnes, des équipements et de l'environnement.

II.2. L'automate programmable industrielle :

a) Définition :

L'API (Automate Programmable Industriel), ou PLC (Programmable Logic Controller) en anglais, est un système électronique constitué de matériel, de logiciels, de processus, ainsi que d'un ensemble de machines ou d'équipements industriels. Il est destiné à la commande des processus industriels par un traitement séquentiel.

Il contrôle les actionneurs à l'aide d'un programme informatique, qui traite les données d'entrée recueillies par des capteurs. L'automate comporte une mémoire programmable par l'utilisateur (automaticien) à l'aide d'un langage adapté, tels que le langage Ladder, le List, ou d'autres langages normalisés.

Son objectif principal est de stocker et d'exécuter des instructions permettant de satisfaire un besoin ou un objectif de commande spécifique.

L'automate permet ainsi de contrôler, coordonner et agir sur les actionneurs.

L'API est généralement structurée autour :

- d'une unité de traitement (processeur),
- de cartes d'entrées/sorties,
- de bus de communication,
- et de modules d'interface et de commande. [8]

b) Critère de choix d'un automate programmable :

Un automate programmable n'existe pas sous un modèle ou une référence unique. La gamme proposée doit pouvoir s'adapter à différents environnements de fonctionnement (conditions d'énergie, niveau de protection, etc.) ainsi qu'aux types d'informations qu'il devra acquérir, traiter et restituer.

Lors de la phase d'avant-projet, le choix d'une gamme d'automates repose sur les critères suivants :

- Le nombre et la nature des entrées/sorties (E/S) : numériques, analogiques, rapides, etc.
- La nature des traitements à effectuer : temporisation, comptage, régulation, logique combinatoire ou séquentielle…
- Les moyens de dialogue et le langage de programmation disponible (Ladder, Grafcet, Liste d'instructions, etc.).
- La capacité de communication avec d'autres systèmes (réseaux industriels, supervision, autres API…).
- La facilité d'exploitation et de maintenance : diagnostic, accessibilité, ergonomie de l'interface.
- Les moyens de sauvegarde du programme : mémoire non volatile, batterie, carte mémoire…
- La fiabilité, la robustesse et l'immunité aux perturbations électromagnétiques.
- La qualité de la documentation technique, le service après-vente, la durée de la garantie, ainsi que les possibilités de formation pour les utilisateurs.
- Les performances du processeur : capacité de traitement, rapidité, gestion des données, traitement en temps réel, etc.

II.3. Le Tricon :

L'exécution d'une application de sécurité nécessite un automate dédié, tel que le Triconex. Ce dernier a été l'un des premiers systèmes développés pour la sécurité industrielle et le contrôle des processus critiques.

La marque Triconex a été fondée en 1983 par l'entrepreneur Jon Wimer, qui a réuni une équipe d'ingénieurs, de développeurs et de professionnels qualifiés pour créer le premier système de sécurité industrielle mondial. En 1994, Triconex a été acquis par Siebe, une société britannique spécialisée dans les automates programmables industriels. En 1999, Siebe

a fusionné avec British Tire and Rubber, une autre société d'ingénierie britannique, pour former une nouvelle entreprise d'automates programmables industriels, appelée Invensys.

Le PLC Tricon est l'un des produits phares de Triconex et est considéré comme l'étalon-or dans les systèmes instrumentés de sécurité (SIS). Ce système est un contrôleur de processus et de logique programmable de pointe, offrant un niveau élevé de tolérance aux pannes pour garantir, à tout moment, l'intégrité optimale du système. [9]



Fig.II.01 : Châssis principale d'un PLC Tricon

II.3.1. Avantages de Tricon :

- Exécution sûre, fiable et ininterrompue.
- Fonctionnement avec tolérance aux défauts, garantissant une continuité d'opération même en cas de panne.
- Haut niveau d'intégration, facilement disponible et permettant une mise en œuvre rapide.
- Coûts d'investissement et de cycle de vie réduits, offrant ainsi une solution économique à long terme.
- Valeur totale de propriété supérieure, grâce à des performances élevées et une durabilité accrue.
- Flexibilité dans la localisation des entrées/sorties, permettant de les installer là où elles sont nécessaires, en fonction des besoins du système.

II.3.2. Application de Tricon :

a) Industries :

- Raffinage et produits pétrochimiques.
- Le pétrole et le gaz en amont et en aval.

- Produits chimiques et spécialités chimiques.
- Production d'électricité.
- Pharmaceutiques.

b) Applications de sécurité et de contrôle critique :

- Systèmes d'arrêt d'urgence (contrôle ESD).
- Systèmes d'incendie et de gaz (contrôle F & G).
- Systèmes de gestion des brûleurs (contrôles BMS).
- Systèmes de protection à haut niveau d'intégration contre la pression (contrôle HIPPS).
- Contrôle de turbomachine (TMC) et systèmes de protection. [10]

II.3.3. Caractéristiques de Tricon :

a) Sécurité :

- **Évaluation de la classe de sécurité :** Le contrôleur Tricon version 9 (le type de contrôleur installé dans la station SBC), ainsi que la station de travail de programmation associée, TriStation 1131, sont certifiés conformes aux exigences des normes DIN 19250 AK5-AK6 et IEC 61508 **SIL3** par TÜV Rheinland/Berlin-Brandenburg .[9]

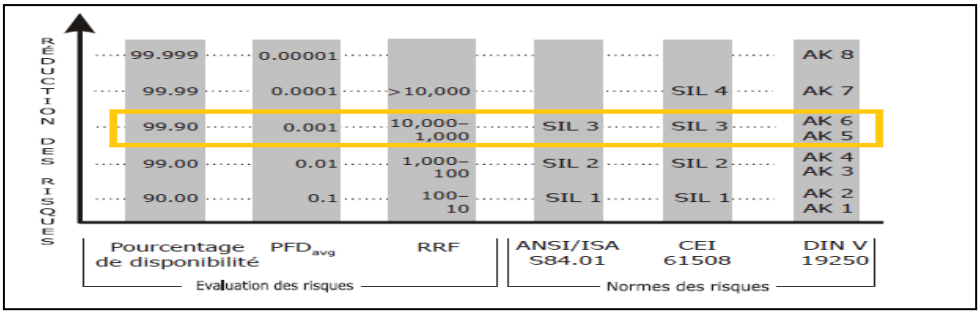


Fig.II.02 : Normes et évaluation des risques

b) Redondance et tolérance aux défauts :

- **Architecture triple modulaire redondante (TMR):** Dans cette architecture, trois chaînes système identiques exécutent le programme d'application de manière indépendante. Des mécanismes matériels et logiciels spécialisés réalisent un « vote » sur toutes les entrées et sorties. Cette architecture TMR confère au contrôleur Tricon un haut niveau de tolérance aux défauts.
- **Tolérance aux défauts :** Il s'agit d'une fonction essentielle du contrôleur Tricon. Elle permet de détecter aussi bien les erreurs transitoires que permanentes, et

d'appliquer les mesures correctives appropriées, tout cela en temps réel. Cette capacité renforce à la fois la sécurité et la disponibilité du contrôleur ainsi que du processus surveillé.

c) Performance :

- **Intelligence des modules d'entrées/sorties** : Les modules d'E/S intelligents permettent de réduire la charge de traitement des processeurs principaux. Chaque module d'E/S est équipé de trois microprocesseurs.
  - ✓ Les microprocesseurs des modules d'entrées filtrent les signaux, éliminent les rebonds, et diagnostiquent les défauts matériels.
  - ✓ Ceux des modules de sorties assurent le vote des données de sortie, vérifient les signaux de retour d'état provenant des bornes de sortie pour valider l'état final, et détectent les problèmes de câblage sur site.
- **Exécution des programmes d'application** : Les programmes sont développés et débogués à l'aide des logiciels TriStation 1131 ou TriStation MSW.
- **Diagnostics en ligne** : Le système permet un diagnostic complet en ligne avec des fonctions de réparation adaptative.

d) Communication et intégration :

- Prise en charge de jusqu'à 118 modules d'E/S (analogiques et logiques) et de modules de communication en option, interfacés avec des Modbus maîtres et esclaves, des systèmes DCS (systèmes de contrôle distribués) Foxboro et Honeywell, d'autres contrôleurs Triconex sur des réseaux Peer-to-Peer, ainsi que des applications hôtes externes sur des réseaux Ethernet.
- Soutien complet des modules d'E/S pouvant être situés à 12 kilomètres du châssis principal via des modules SRXM.
- Jusqu'à 254 nœuds de communication Peer-to-Peer.
- Certification de cyber sécurité Achilles de niveau 1.

e) Maintenance :

- Possibilité d'effectuer des installations et des réparations sur site au niveau des modules lorsque le contrôleur est en ligne. Le remplacement d'un module d'E/S ne perturbe pas le câblage côté site.
- Possibilité d'effectuer les opérations de maintenance de routine pendant que le contrôleur Tricon fonctionne, sans que le processus contrôlé en soit affecté.

- Prise en charge du basculement vers un module d'E/S de rechange à chaud pour les applications critiques lorsqu'une réparation rapide est impossible.

II.4. Architecture matérielle du système Tricon :

Physiquement, un contrôleur Tricon de base se compose de trois processeurs principaux, de modules d'entrées/sorties (E/S), de modules de communication, d'un châssis accueillant ces modules, d'un câblage côté site, ainsi que d'un PC équipé du logiciel TriStation. Cette section fournit une description succincte de ces éléments, accompagnée de leurs spécifications générales.

Les modules Tricon sont des unités remplaçables sur site, logées dans un boîtier métallique contenant les composants électroniques. Chaque module est équipé d'un capot de protection, évitant toute exposition des composants et circuits lors de son retrait du châssis. Les connecteurs décalés (offset) du fond de panier empêchent l'insertion incorrecte des modules, et des clés mécaniques supplémentaires garantissent qu'un module ne soit installé que dans son emplacement approprié.

Le contrôleur Tricon prend en charge les points d'entrée et de sortie logiques et analogiques, les entrées impulsionnelles, les thermocouples, ainsi que plusieurs protocoles de communication.

II.4.1. Châssis du Tricon :

Un contrôleur Tricon peut comporter jusqu'à 15 châssis, intégrant différentes combinaisons de modules d'entrées, de sorties, de communication, ainsi que des modules de rechange à chaud. Il existe trois types de châssis : le châssis principal, le châssis d'extension et le châssis RXM. [9]

II.4.1.1. Le châssis principal du contrôleur Tricon :

Le châssis principal du contrôleur Tricon, situé dans la station SBC, comprend deux modules d'alimentation, trois processeurs principaux, une batterie, un emplacement de communication (COM) sans option de rechange à chaud, ainsi que six emplacements logiques destinés aux modules de communication (ACM) et aux modules d'E/S (AI, DI, DO). Chaque emplacement logique comprend deux emplacements physiques permettant l'installation des modules correspondants.

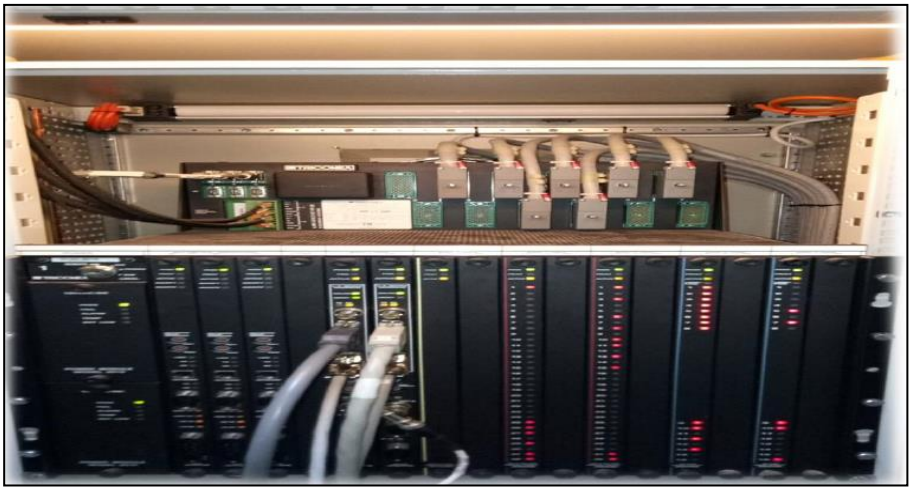


Fig.II.03 : Châssis principale de PLC Tricon situé dans la station SBC

a) Batteries du châssis principal :

Le châssis principal du contrôleur Tricon est équipé de deux batteries au lithium redondantes, assurant la sauvegarde de la mémoire en cas de coupure totale de l'alimentation électrique. Les châssis d'extension et RXM ne disposent pas de batteries intégrées.

En cas de coupure de l'alimentation côté site, une seule batterie est capable de maintenir l'exécution du programme d'application dans la mémoire RAM du processeur principal.

En cas de coupure totale de courant, ces batteries peuvent préserver les données et les programmes pendant une période cumulative pouvant atteindre six mois. La durée de conservation (durée de vie en stockage) des batteries est estimée entre 8 et 10 ans. Triconex recommande de remplacer les batteries soit tous les 8 à 10 ans, soit après six mois d'utilisation cumulative, selon la première échéance atteinte.

Si l'indicateur BAT LOW (batterie faible) sur les modules d'alimentation s'allume, cela signifie que la batterie doit être remplacée.



Fig.II.04 : Batteries du châssis principal

b) Commutateur à clé du contrôleur Tricon :

Le contrôleur Tricon est équipé d'un commutateur à clé à quatre positions, situé sur le dessus des modules d'alimentation. Ce commutateur détermine les opérations autorisées sur le système.

La position du commutateur peut être lue par le contrôleur Tricon, les maîtres Modbus, les dispositifs externes et le programme d'application via le bloc de fonction TR_SCAN_STATUS. La position sélectionnée active ou désactive certaines fonctions de l'ensemble du système Tricon, y compris les châssis d'extension et RXM.[12]



Fig.II.05 : Commutateur à clé du contrôleur Tricon

Le tableau [6] ci-dessous indique la signification des positions du commutateur :

Commutateur à clé Position	Fonction
RUN (exécution)	Fonctionnement normal avec un accès en lecture seule. Les processeurs principaux exécutent le programme d'application déjà chargé. TriStation, les maîtres Modbus et les hôtes externes ne sont pas autorisés à modifier les variables du programme. Toutefois, un programme d'application peut appeler des fonctions d'accès permettant les écritures par des hôtes externes pendant un intervalle de temps donné.
PROGRAM (programme)	Chargement et vérification du programme d'application. Permet le contrôle du contrôleur Tricon depuis le logiciel TriStation et autorise l'exécution des commandes de téléchargement global et de téléchargement des modifications. Autorise également les maîtres Modbus et les hôtes externes à accéder en écriture aux variables du programme.
STOP(Arrêt)	Met fin à la lecture des entrées, force la définition des sorties logiques et analogiques (sans conservation) sur la valeur 0 et arrête le programme d'application. (Les sorties avec conservation reprennent la valeur qu'elles avaient avant que le commutateur à clé soit placé dans cette position.) La position STOP est conseillée pour l'installation et la maintenance des équipements liés aux procédés, mais déconseillée pour la maintenance du contrôleur Tricon

REMOTE (A distance)	Permet à TriStation, aux maîtres Modbus et aux périphériques externes d'accéder en écriture aux variables du programme d'application. (L'exécution des commandes de téléchargement global et de téléchargement des modifications via TriStation n'est pas autorisée.)

II.4.1.2. Le châssis d'extension (châssis 2 à 15) :

Le châssis d'extension Tricon permet d'ajouter des modules d'E/S (Entrées/Sorties) et de communication supplémentaires à un système existant. Le châssis d'extension unique installé dans la station SBC comprend deux modules d'alimentation et huit emplacements logiques pour l'installation de modules d'E/S, sans module de communication.

L'utilisation du châssis d'extension est soumise à une contrainte de distance : la longueur totale des câbles des bus d'E/S, entre le châssis principal et le châssis d'extension, ne doit pas dépasser 30 mètres (100 pieds).



Fig.II.06 : Châssis d'extension du PLC Tricon situé dans la station SBC

II.4.1.3. Le châssis RXM :

Le châssis RXM contient un jeu de modules RXM principal ainsi que six emplacements pour modules d'E/S. Il permet l'extension d'un système jusqu'à une distance maximale de 12 kilomètres du châssis principal, via des modules SRXM (Synchronous Remote Expansion Modules). Les modules RXM sont utilisés pour les courtes distances (jusqu'à 2 km), tandis que les modules SRXM sont conçus pour les longues distances (jusqu'à 12 km).[9]

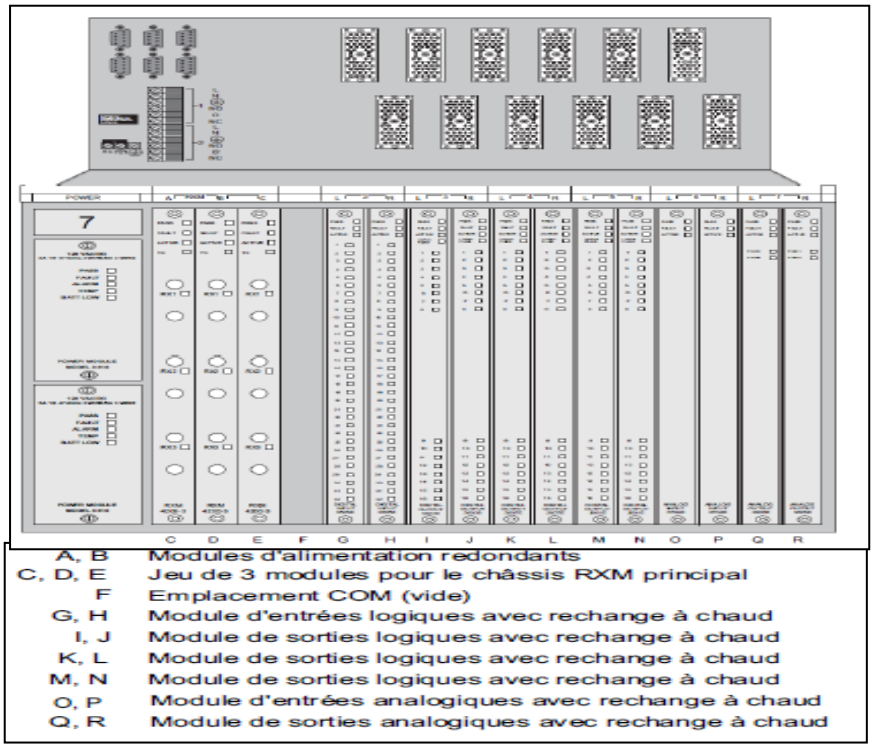


Fig.II.07 : Châssis RXM

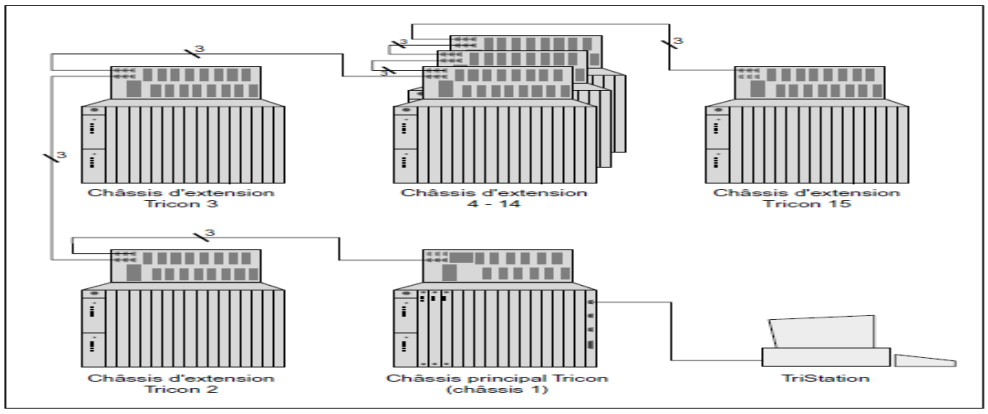


Fig.II.08 : Exemple de configuration d'un système Tricon.[11]

II.4.2. Ports du bus d'E/S et connexions :

Chaque châssis Tricon dispose de deux jeux de ports de bus d'E/S RS-485 triplés, permettant l'extension du bus d'E/S depuis le châssis principal vers d'autres châssis du système. Ces ports sont organisés en trois paires distinctes, assurant une redondance complète grâce à une extension triplée du bus d'E/S. La communication s'effectue à une vitesse de 375 kilobits par seconde, identique à celle du bus d'E/S interne du contrôleur Tricon. Ainsi, les trois chaînes de contrôle sont prolongées à la fois physiquement et logiquement jusqu'aux châssis d'extension, sans compromettre les performances du système.

La figure suivante illustre l'emplacement des ports du bus d'E/S (un port pour chaque chaîne d'entrée et de sortie). [11]

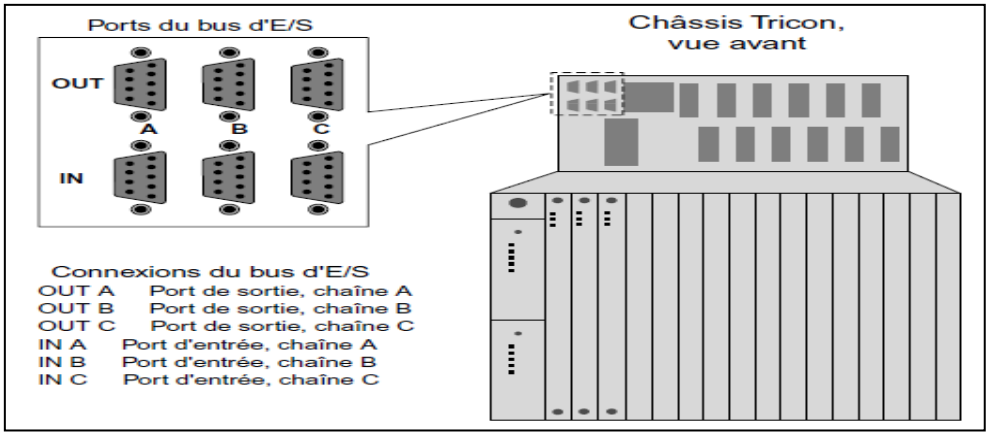


Fig.II.09 : Ports du bus d'extension d'E/S

II.4.3. Câblage côté site d'un contrôleur Tricon :

Des ensembles de raccordement externes (interfaces à relais) sont disponibles pour la connexion des équipements côté site. Il est également possible de connecter directement nos propres câbles aux connecteurs à 56 broches situés en haut du fond de panier du contrôleur Tricon. [12]

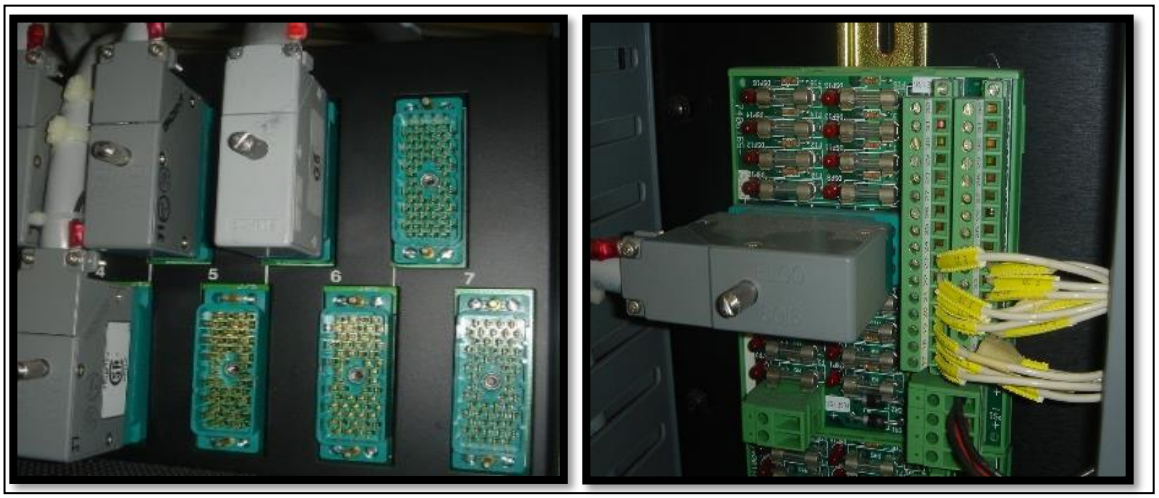


Fig. II.10 : Raccordement des câbles de terminaison LQ entre le contrôleur Tricon et les interfaces à relais

II.4.4. Modules d'Alimentation :

Chaque châssis Tricon est équipé de deux modules d'alimentation, chacun étant capable de faire fonctionner le contrôleur à pleine charge et à la température nominale. Les modules d'alimentation convertissent l'alimentation secteur en alimentation continue (DC) appropriée pour tous les modules Tricon

Les modules d'alimentation, situés sur le côté inférieur gauche du châssis, convertissent l'alimentation secteur en alimentation continue (DC) appropriée pour tous les modules de contrôleur Tricon. Deux barrettes de connexion sur le plan de base sont utilisées pour sélectionner les options de mise à la terre du contrôleur, ainsi que pour les connexions d'alimentation entrante et d'alarme.[11]

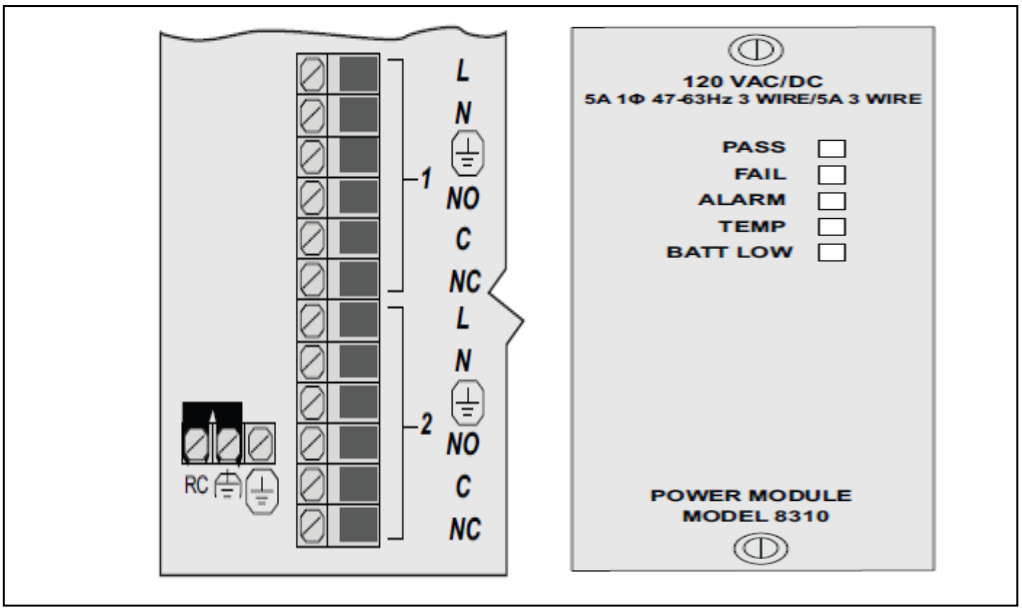


Fig.II.11 : Bornes du module d'alimentation et panneau avant

Les bornes 1 et 2 sont les suivantes :

- **L :** Ligne (phase) ou DC+
- **N :** Neutre ou Châssis de mise à la terre, terre de protection
- **NO :** Contact d'alarme du châssis (normalement ouvert) – s'ouvre lorsqu'une condition d'alarme se produit
- **C :** Contact commun d'alarme
- **NC :** Contact d'alarme du châssis (normalement fermé) – se ferme lorsqu'une condition d'alarme se produit
- **RC** : Réseau **RC** connecté à la mise à la terre du châssis.
- : Connexion directe à la mise à la terre interne du signal du contrôleur **Tricon** (terre fonctionnelle).
- : Connexion directe à la mise à la terre du châssis (terre de protection).

II.4.5. Systèmes de bus et distribution de l'alimentation :

La figure ci-dessous illustre les trois systèmes de bus triplés gravés sur le fond de panier du châssis : Le TriBus, le bus d'E/S et le bus de communication.

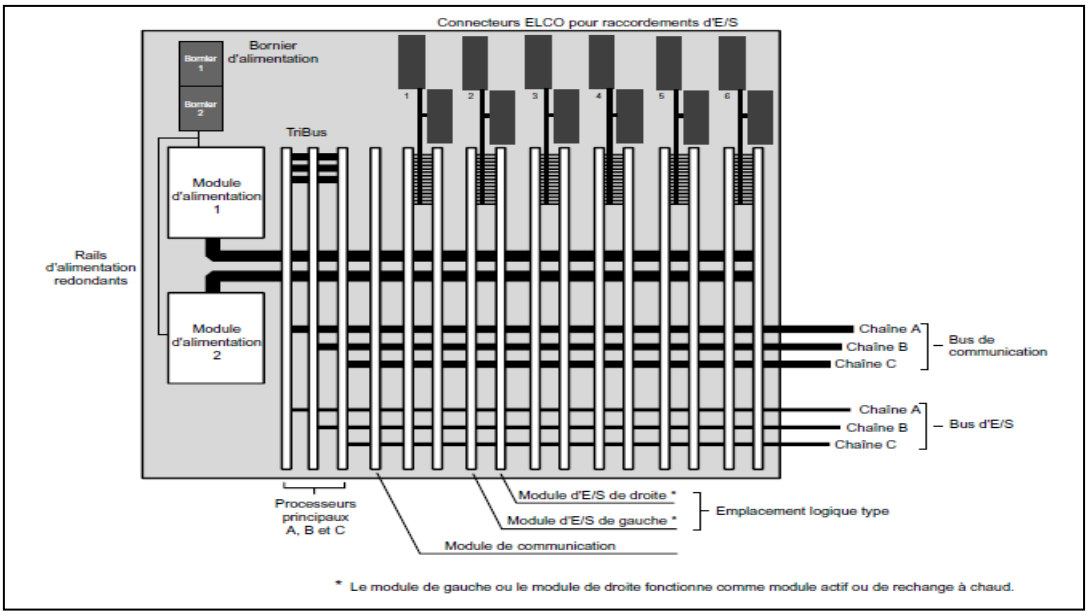


Fig.II.12 : Systèmes de bus Tricon et distribution de l'alimentation

a) Fonctionnement du TriBus :

Le TriBus est composé de trois liaisons série indépendantes qui permettent de synchroniser les processeurs principaux au début de chaque cycle de scrutation. Il remplit également les fonctions suivantes :

- Le TriBus transfère les données entre les processeurs principaux, liées aux entrées/sorties, au diagnostic et à la communication
- Comparaison des données et signalement des divergences dans les données de sortie ou les données mémoire issues de la scrutation précédente.

Une caractéristique importante de l'architecture du contrôleur Tricon est l'utilisation d'un seul émetteur pour envoyer les données aux processeurs principaux amont et aval, ce qui garantit que les mêmes données sont reçues par tous les processeurs .[9]

b) Fonctionnement du bus d'E/S :

Chaque module d'entrée/sortie (E/S) échange des signaux avec le terrain via son propre bloc de terminaison de terrain. Dans le châssis, deux emplacements physiques sont combinés pour former un seul emplacement logique.

Les câbles de terminaison sont connectés aux connecteurs situés en haut de la carte arrière (Backplane), et chaque connexion s'étend du module de terminaison vers le module actif ainsi que le module de secours à chaud (Hot-Spare), ce qui garantit que les deux modules reçoivent exactement les mêmes informations provenant du câblage terrain.

Le bus d'E/S triplé assure le transfert des données entre les modules d'E/S et les processeurs principaux à une vitesse de 375 kilobits par seconde. Il est intégré le long de la partie inférieure de la carte arrière. Chaque canal de ce bus est dédié à un processeur principal et connecté aux canaux correspondants sur les modules d'E/S. Pour garantir une intégration complète et une redondance optimale du système, le bus d'E/S est également prolongé entre plusieurs châssis à l'aide de trois câbles de bus, assurant ainsi une communication fiable et continue dans les architectures complexes et critiques.

c) Fonctionnement du bus de communication :

Le bus de communication fonctionne entre les processeurs principaux et les modules de communication à une vitesse de 2 mégabits par seconde**.**

d) Distribution de l'alimentation :

L'alimentation dans le châssis est distribuée par deux rails d'alimentation indépendants situés sur la partie centrale du fond du panier. Chaque module du châssis est alimenté par les deux rails d'alimentation via des régulateurs de puissance redondants. Chaque module d'entrées et de sorties dispose de quatre jeux de régulateurs de puissance : un jeu pour chacune des 3 chaînes (A, B et C) et un autre jeu pour les indicateurs d'état.

II.5. Principes de fonctionnement de Tricon :

L'architecture Triple Modulaire Redondante (TMR) assure une tolérance aux pannes, garantissant ainsi un contrôle ininterrompu et sans erreur, même en présence de défaillances matérielles graves ou de fautes transitoires d'origine interne ou externe. Chaque module d'E/S comprend des circuits pour trois canaux indépendants. Chaque canal des modules d'entrée lit les données du procédé et les transmet à son processeur principal respectif. Les trois processeurs principaux communiquent entre eux via un bus propriétaire à haute vitesse, appelé TriBus.

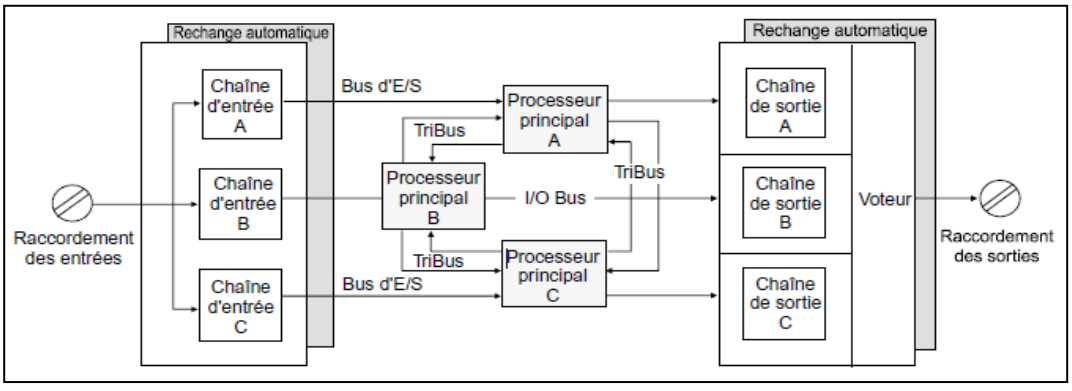


Fig.II.13 : Architecture triplée du contrôleur Tricon

Une fois par cycle de scrutation, les processeurs principaux se synchronisent et communiquent avec leurs voisins via le TriBus. Le TriBus effectue un vote sur les données d'entrée numériques, compare les données de sortie et envoie une copie des données d'entrée analogiques à chaque processeur principal. Les processeurs principaux exécutent le programme de contrôle et transmettent les sorties générées aux modules de sortie.

Le contrôleur Tricon effectue un vote sur les données de sortie aussi près du terrain que possible, afin de détecter et de compenser les erreurs pouvant survenir entre le processeur principal et la sortie finale transmise au terrain.

Chaque emplacement d'E/S peut contenir deux modules d'E/S identiques, ce qui permet, en cas de défaillance de l'un des modules, de basculer automatiquement le contrôle vers le module sain. Un module défectueux peut également être remplacé en ligne lorsqu'un seul module est installé. Dans ce cas, un module sain est inséré dans l'emplacement libre et le contrôle est transféré à ce module, permettant ainsi de retirer le module défectueux pour l'envoyer en réparation.[11]

II.6. Organisation du contrôleur Tricon situé dans la station SBC :

Dans la station SBC, le système ESD a été installé pour assurer la commande de sûreté des neuf compresseurs, ainsi que des parties communes, comme le système de séparation des entrées (ballons D901 A, B, C, D, E, F), avec une ségrégation maximale afin d'éviter tout mode commun en cas de défaillance matérielle.

Concernant l'architecture finale de la station SBC avec ses neuf compresseurs, le système de sûreté ESD choisi est un API d'arrêt d'urgence modulable, divisé en deux châssis :

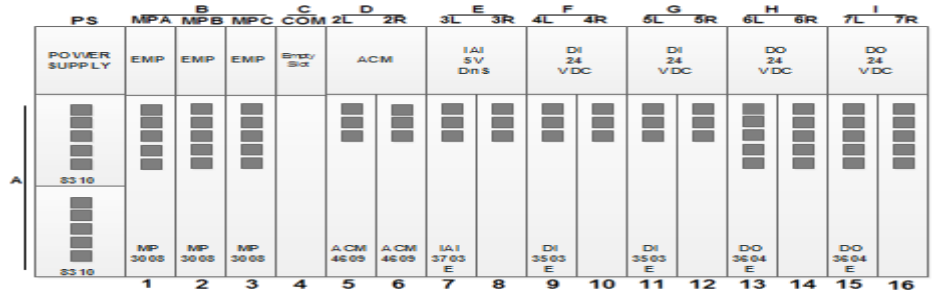
- Châssis principal, correspondant à la partie commune.
- Châssis d'extension, correspondant à la partie compresseur.

II.6.1. Partie commune :

Le châssis principal du contrôleur Tricon a été attribué à la partie commune et est composé de :

- Trois processeurs, deux modules de communication.
- Un seul module d'entrées analogiques, regroupant les signaux des transmetteurs de la partie commune.
- Un module d'entrées logiques regroupant toutes les entrées du DCS ainsi que celles de la console auxiliaire.
- Un module d'entrées logiques pour les fins de courses liées aux vannes.

- Deux modules de sorties logiques pour la commande des vannes. [12]



A : Les deux modules d'alimentation.
B : Les trois processeurs principaux.
C : Emplacement COM (vide).
D : Deux modules ACM (Advenced communication module).
E : Modules d'entrées analogiques avec rechange à chaud.
F, G : Modules d'entrées logiques avec rechange à chaud.
H, I : Modules de sorties logiques avec rechange à chaud.

Fig.II.14 : Modules du châssis principal

II.6.2. Partie compresseur :

Un châssis d'extension a été attribué aux compresseurs et est constitué de :

Deux modules d'E/S logiques pour chaque groupe de trois compresseurs, à savoir :

- Les cartes B et C pour les compresseurs A / D / G
- Les cartes D et E pour les compresseurs B / E / H
- Les cartes F et G pour les compresseurs C / F/ I. [12]



A : Les deux modules d'alimentation.
B, D, F, I : Modules d'entrées logiques avec rechange à chaud.
C, E, G : Modules de sorties logiques avec rechange à chaud.
H : Emplacement vide

Fig.II.15 : Modules du châssis extension

II.6.3. Panneau de by-pass et commutateurs de dépassement pour la maintenance :

Les commutateurs de dépassement pour la maintenance permettent de désactiver temporairement certaines entrées du système lors des opérations de maintenance, sans générer d'alarmes ni provoquer l'arrêt de la station , sont fournis uniquement pour les entrées (tout ou rien et analogiques), notamment :

- Les entrées analogiques de la partie commune (signifie la désactivation temporaire de l'alarme liée à ce signal analogique).
- Les entrées tout ou rien de la partie compresseur.

Le panneau de by-pass est conçu pour connecter les entrées logiques via la dernière carte d'entrées logiques installée dans le châssis d'extension, en utilisant une banque de 32 commutateurs pré-câblés.

Les entrées logiques sont configurées dans le programme de contrôle, ce dernier agissant comme un interrupteur commandé depuis le panneau de by-pass.

Le panneau dispose de voyants LED qui indiquent l'état actuel (activé ou désactivé) de l'entrée bypassée. [12]



Fig.II.16 : Panneau de by-pass

II.7. Modules du contrôleur Tricon situé dans la station SBC

II.7.1. Module du processeur principal (Modèle 3008)

Ce module constitue le cœur du système Tricon. Il repose sur une architecture redondante triple (TMR), intégrant trois processeurs identiques fonctionnant en parallèle, avec un système de vote pour assurer la fiabilité et la tolérance aux pannes. Il utilise deux types de mémoire : SRAM pour les données critiques et DRAM pour les données temporaires.

II.7.2. Modules d'entrées/sorties (E/S)

Ces modules assurent l'interface entre le terrain et le système Tricon. On distingue :

a) Module d'entrée analogique (Modèle 3703E) : reçoit les signaux des transmetteurs de pression, de niveau, etc. Chaque point d'entrée est traité par trois chaînes indépendantes.

b) Module d'entrée numérique (Modèle 3503E) : reçoit les signaux logiques (ON/OFF) de contacts et commutateurs. Il dispose de mécanismes de test et de diagnostic intégrés.

c) Module de sortie numérique (Modèle 3604E) : envoie les ordres aux actionneurs (électrovannes, relais…). Il utilise un vote à deux sur trois chaînes pour valider chaque commande.

II.7.3. Modules de communication

Ces modules permettent au Tricon de communiquer avec les autres systèmes numériques, notamment le DCS. Les types rencontrés sont :

- SMM (Safety Manager Module)
- EICM (Enhanced Intelligent Communication Module)
- HIM (Hiway Interface Module)
- DCM (Data Communication Module)
- NCM (Network Communication Module)
- ACM (Advanced Communication Module)

II.7.3.1. ACM – Advanced Communication Module (Modèle 4609)

Le module ACM assure l'interface entre le système de sécurité Triconex et le système DCS Foxboro via le réseau Nodebus. Il permet la transmission des données critiques, des alarmes, de la synchronisation temporelle, des informations de diagnostic, ainsi que des séquences d'événements (SOE).

La connexion s'effectue à l'aide de deux ports Nodebus (données et contrôle) et d'un port réseau TS/TSAA destiné à la communication avec un PC TriStation. [12]

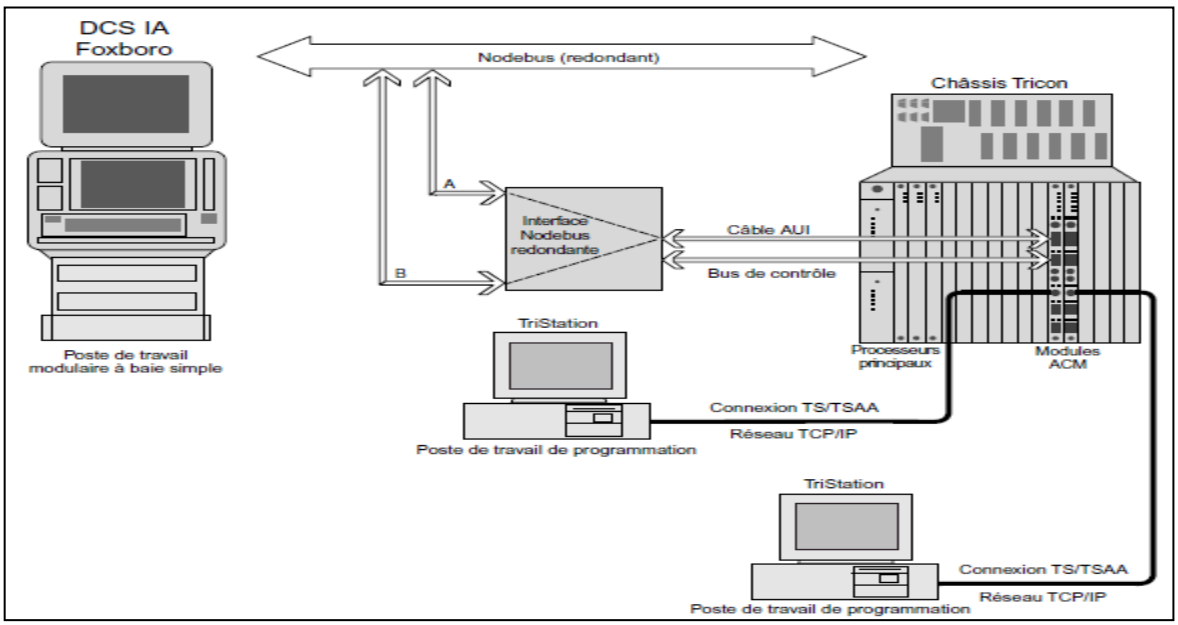


Fig.II.17 : Interface entre le module Tricon ACM et le système DCS I/A Foxboro

II.8. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté de manière détaillée l'architecture matérielle du contrôleur Tricon. Nous avons décrit ses différents composants, leurs fonctions, ainsi que les performances et caractéristiques techniques qui font de ce système un élément essentiel dans les environnements industriels critiques.

L'analyse menée a permis de démontrer que le contrôleur Tricon, grâce à son architecture TMR (Triple Modular Redundancy), garantit un haut niveau de sécurité, de fiabilité et de disponibilité, même en cas de défaillance matérielle.

En conclusion, ce type de PLC représente une solution idéale pour les applications industrielles nécessitant un contrôle sûr, continu et tolérant aux pannes.

Chapitre III : Présentation du logiciel de programmation TriStation 1131

III.1. Introduction :

La configuration du contrôleur TRICON installé dans la station SBC est réalisée à l'aide d'un logiciel spécifique au système Triconex, appelé **TriStation 1131**. Grâce à ce logiciel, les utilisateurs peuvent :

- Identifier la configuration matérielle de l'automate TRICON
- Définir et configurer les différents types de points (mémoires, entrées/sorties)
- Créer et éditer des programmes ainsi que des blocs fonctionnels en utilisant les éléments des bibliothèques standard **IEC 61131-3** et propres au système TRICON

Le logiciel TriStation 1131 offre aux utilisateurs une suite complète d'outils leur permettant de concevoir un projet intégrant l'ensemble des programmes, des blocs fonctionnels et des données de configuration nécessaires à la mise en œuvre d'une application sur l'automate de sécurité TRICON

III.2. Caractéristiques principales du logiciel TriStation 1131:

- La configuration matérielle permet aux utilisateurs de configurer facilement chaque châssis ainsi que les modules d'entrées/sorties associés au système TRICON.
- Il est possible de visualiser et de modifier à tout moment, avant la compilation et le téléchargement de l'application dans le TRICON, la mémoire allouée aux points mémoire ainsi qu'aux points d'entrées/sorties.
- Le logiciel permet de développer des blocs fonctionnels, de créer des fonctions personnalisées et de les réutiliser dans les programmes.
- Les messages d'erreur du compilateur mettent en évidence les zones contenant des erreurs de programmation, facilitant ainsi le débogage du programme.
- Il est possible d'émuler les programmes directement dans la station de programmation afin de les simuler et de les tester avant leur téléchargement dans le système TRICON.

III.3. Configuration requise du TriStation 1131 :

Le logiciel installé sur le PC connecté au contrôleur Tricon situé dans la station SBC utilise la version 4.9 de TriStation 1131. Les exigences minimales pour le bon fonctionnement de cette version sont les suivantes [7] :

- Un PC exécutant le .NET Framework 3.5 et l'un des systèmes d'exploitation Windows suivants :
    - Windows® XP Professionnel

- Windows® 7 Professionnel / Entreprise (32 bits ou 64 bits)
- Windows Server® 2003
- Windows Server® 2008 R2 (32 bits ou 64 bits)

- Processeur : 1 GHz minimum
- Mémoire vive (RAM) : 512 Mo
- Espace disque disponible : 500 Mo
- Lecteur CD-ROM
- Carte réseau
- Moniteur SVGA (Super Video Graphics Array) avec une résolution minimale de 1024 x 768 et affichage en 32 bits. [14]

III.4. Configuration hardware du contrôleur :

Avant de mettre en œuvre le programme sur l'automate de sécurité TRICON, il est nécessaire de configurer deux types de châssis :

- Un châssis principal.
- Un ou plusieurs châssis d'extension, selon les besoins du procédé et le nombre d'entrées/sorties, afin de pouvoir affecter tous les points à des adresses physiques sur le PLC.

Pour visualiser une configuration matérielle dans **TRISTATION1131**, procédez comme suit :

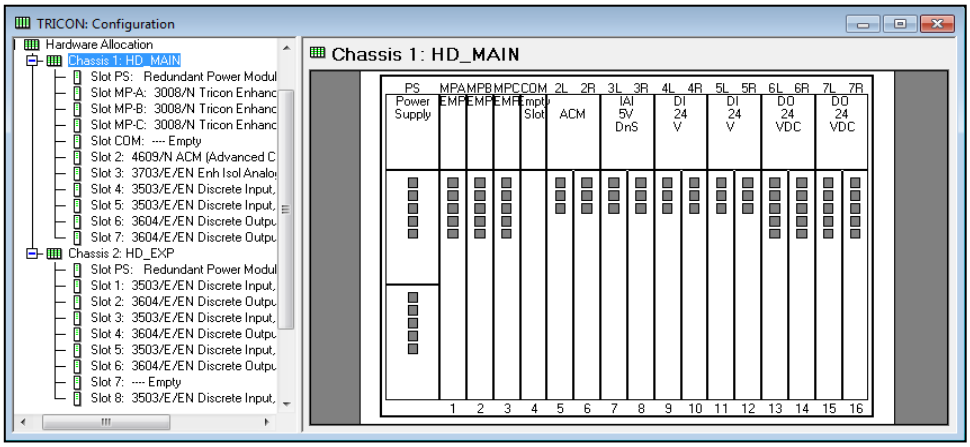


Fig. III.01 : Configuration du contrôleur Tricon.

1. Développez l'arborescence **Hardware Allocation**.
2. Ensuite, développez l'arborescence **Chassis1 :HD_MAIN** pour visualiser le châssis principal.
3. Pour visualiser le châssis d'extension, développez l'arborescence **Chassis2 :HD_EXP**.

La figure ci-dessous illustre la configuration matérielle du projet de la station SBC, comprenant deux châssis : un principal et un d'extension.

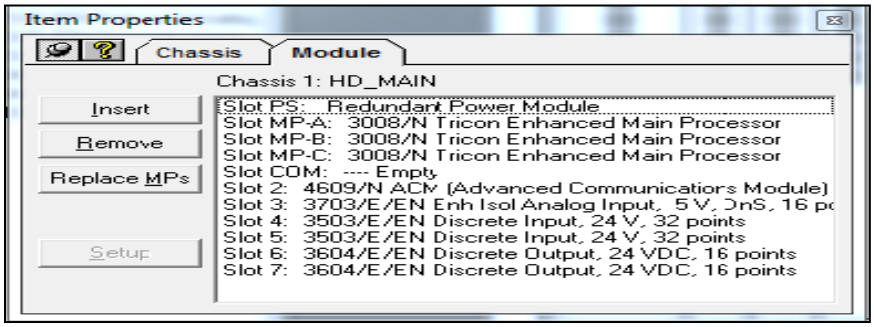


Fig.III.02 : Configuration du châssis principale

Une fois le nombre de châssis TRICON défini, on procède à la sélection des cartes d'entrées/sorties ainsi que des modules de communication nécessaires pour l'interfaçage avec les systèmes externes, tels que le SNCC. Les deux figures ci-dessous présentent la liste des modules intégrés dans les châssis principal et d'extension de la station SBC

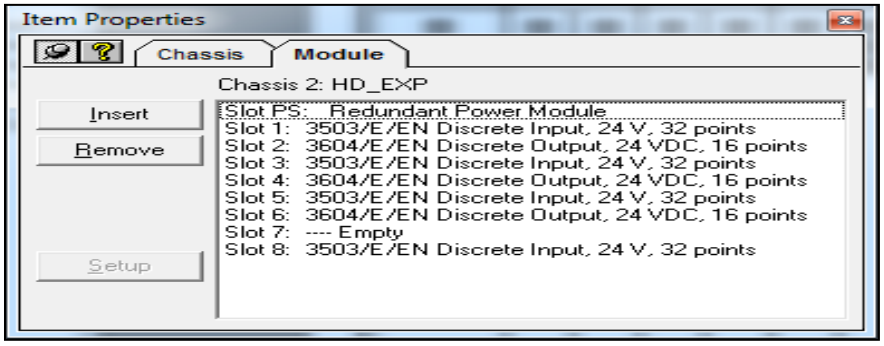


Fig.III.03 : Configuration du châssis supplémentaire

III.5. L'espace de travail de l'application dans TriStation 1131 :

Le développement des applications s'effectue dans l'espace de travail nommé **Application**. L'arborescence de ce dernier comprend plusieurs dossiers, notamment :

- Les programmes utilisateur,
- Les fonctions et blocs fonctionnels,
- Les types de données,
- Les noms de variables (Tagnames),
- Les paramètres de mise en œuvre (Implementation Settings) nécessaires à l'exécution de l'application.

L'arborescence contient également la **bibliothèque TriStation 1131**, qui regroupe un ensemble de fonctions prêtes à l'emploi et de types de données standard pouvant être utilisés dans les différents programmes.

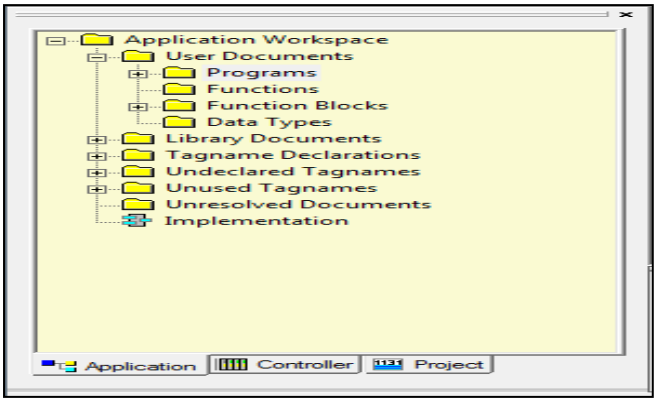


Fig.III.04 : Arborescence de l'espace de travail de l'application

L'arborescence des déclarations répertorie les déclarations du programme, de la fonction ou du bloc fonctionnel actuellement ouvert.

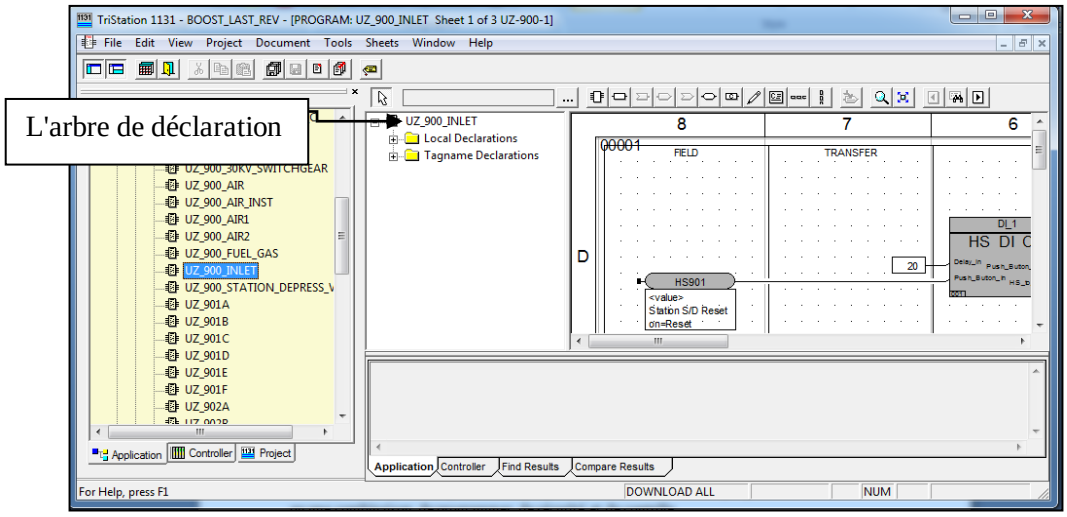


Fig.III.05 : Espace de travail de programmation

Pour créer un nouveau programme ou une nouvelle fonction, il est nécessaire d'utiliser les outils de l'éditeur. Le schéma ci-dessous présente la barre d'outils de l'éditeur de schémas.

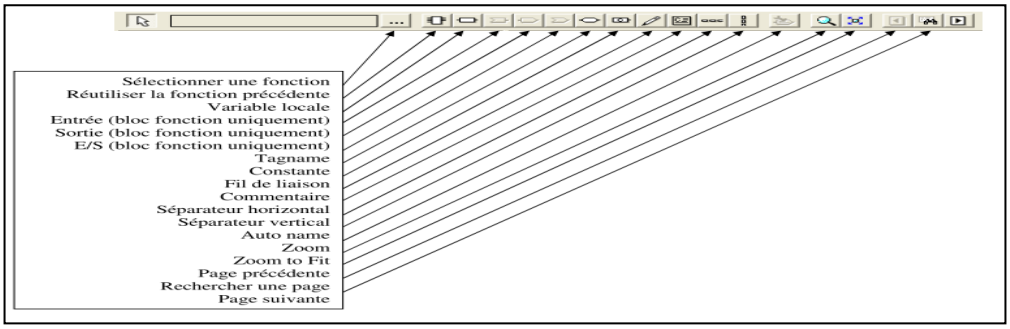


Fig.III.06 : Aperçu de la barre d'outils de l'éditeur de schémas

L'arborescence de mise en œuvre répertorie les éléments configurables de l'application, notamment la liste d'exécution (liste des programmes et temps de cycle), la configuration SOE (Sequence of Events) ainsi que la configuration Peer-to-Peer.

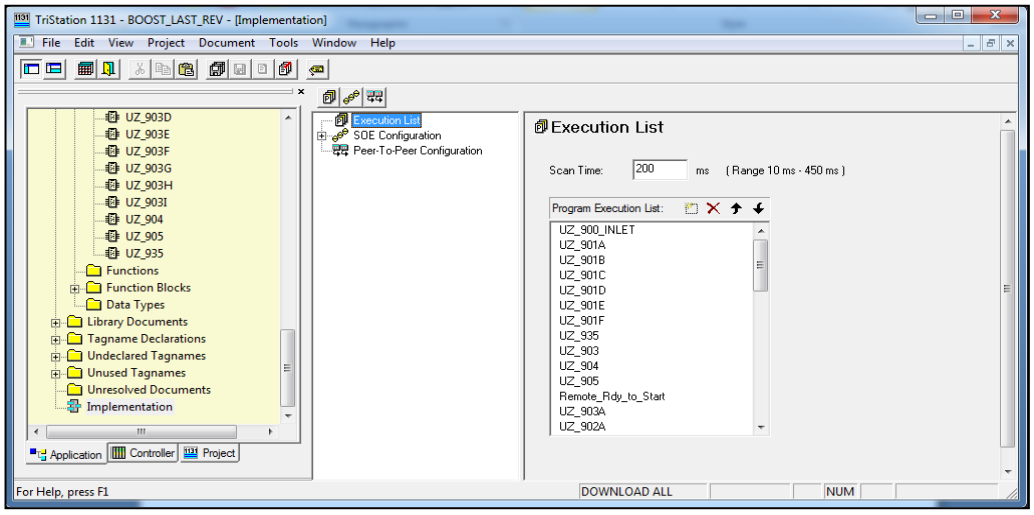


Fig.III.07 : Espace de travail de l'implémentation

III.6. Type de l'application :

L'application peut inclure des programmes de sécurité, des programmes de contrôle, ou une combinaison des deux.

Dans le cas de la station SBC, l'application est de type sécurité (safety), qui est le type le plus contraignant. Ce type d'application est conçu pour ramener le processus à un état sûr lorsque certaines conditions prédéfinies sont violées.

Tous les éléments de l'application (programmes, fonctions, blocs fonctionnels et noms de variables – Tagnames) doivent obligatoirement être définis comme des éléments de sécurité.

Dans les propriétés de n'importe quel programme de l'application de la station SBC, le type d'application est clairement indiqué, comme le montre la fenêtre ci-dessous.

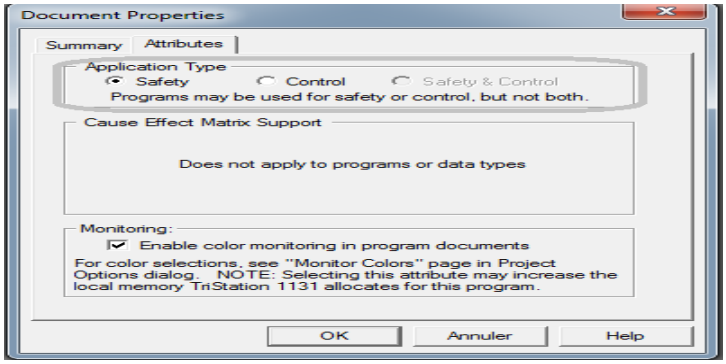


Fig.III.08 : Onglet de spécification de type d'application

III.7. Langage de programmation :

Le logiciel **TriStation 1131** prend en charge plusieurs langages de programmation permettant de développer, tester et documenter les applications exécutées sur un contrôleur **Triconex**. Les langages de programmation supportés sont les suivants :

- Diagramme de blocs fonctionnels (FBD – Function Block Diagram)
- Schéma à contacts (LD – Ladder Diagram)
- Texte structuré (ST – Structured Text)
- CEMPLE (Cause and Effect Matrix Programming Language Editor). [13]

III.7.1. Diagramme de blocs fonctionnels (Function Block Diagram - FBD) :

Le langage de blocs fonctionnels (FBD) est un langage graphique similaire aux schémas de circuits électriques. Les éléments utilisés dans ce langage apparaissent sous forme de blocs interconnectés, formant ainsi un circuit logique.

Les connexions (ou "fils") permettent de transmettre des données binaires ou d'autres types de données entre les différents éléments FBD.

Dans ce langage, un ensemble d'éléments visuellement reliés entre eux constitue un réseau (network). Un diagramme FBD peut contenir un ou plusieurs réseaux.

Le diagramme de blocs fonctionnels est le langage utilisé pour la création des programmes, fonctions et blocs fonctionnels dans l'application de la station SBC.

Pour vérifier le type de langage spécifié, il faut accéder au menu du projet, cliquer sur Project Options, puis **sélectionner l'onglet Language**

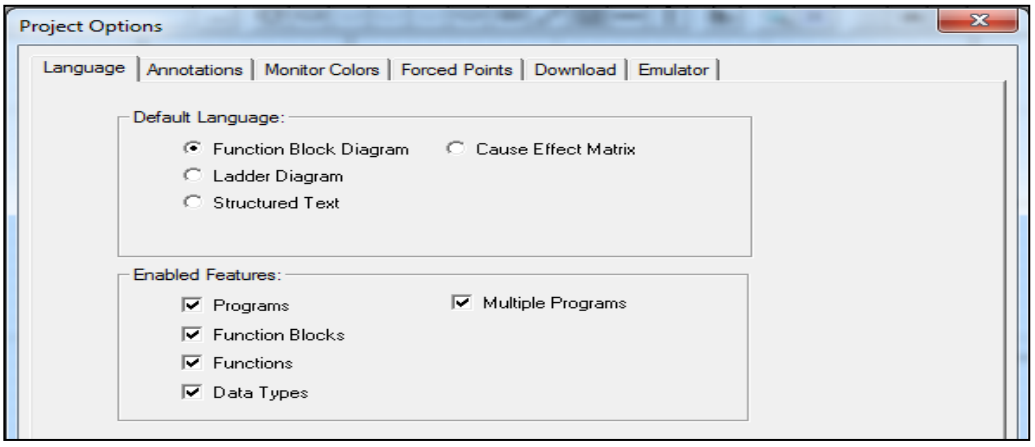


Fig.III.09 : Onglet de spécification de langage

III.8. Types de données utilisées :

Les types de données utilisés dans TriStation 1131 sont conformes à la norme CEI 61131-3. Ils servent à définir la nature des données pour :

- Les constantes,
- Les déclarations de noms de variables (*Tagnames*) et leurs références,
- Les variables locales, d'entrée, de sortie et d'E/S (entrées/sorties).

Le logiciel **TriStation 1131** prend en charge :

- Les types de données élémentaires,
- Les types de données génériques.

III.8.1. Types de données élémentaires :

Les types de données élémentaires définissent la taille, les caractéristiques et le comportement de la plupart des données utilisées dans un programme, une fonction ou un bloc fonctionnel. Ils déterminent également les opérations pouvant être appliquées à ces données. Le tableau ci-dessous présente les différents types de données élémentaires ainsi que leurs usages respectifs. [13]

Type de donnée	Description	Noms de variables(Tagnames)	Constantes et variables locales
BOOL	Booléen, 1 bit de longueur	✓	✓
DATE	Date, 64 bits de longueur		✓
DINT	Double Entier, 32 bits de longueur		✓
DT	Date+Temps, 64 bits de longueur		✓
DWORD	Double Mots, 32 bits de longueur		✓
INT	Entier, 16 bits de longueur	✓	✓
LREAL	Réel Long, 64 bits de longueur		✓
REAL	Réel, 32 bits de longueur	✓	✓
STRING	Une séquence de jusqu'à 132 caractères alphanumériques Caractères délimités par guillemets		✓

	simples (136 bits)	
TIME	Temps (durée) exprimée en jours, Heures, minutes, secondes ou millisecondes	✓
TOD	Temps spécifique de la journée (64 bits)	✓

Dans un système Triconex, seuls trois types de données peuvent être déclarés comme points de contrôleur (controller points) : BOOL, DINT et REAL. Ces variables correspondent à des adresses physiques au sein du contrôleur TRICON et sont accessibles globalement par tous les programmes d'une même application.

III.8.2. Types de données génériques :

Les types de données génériques, identifiés par le préfixe **ANY**, sont utilisés exclusivement dans les fonctions et les blocs fonctionnels disponibles dans la bibliothèque standard de TriStation 1131.

Lorsqu'une fonction spécifie un type de données générique pour un argument, ce dernier doit appartenir à l'un des types de données que ce générique représente. Si plusieurs arguments utilisent le même type de données générique, ils doivent tous être du même type.

Par exemple, la fonction **ADD** utilise le type générique **ANY_NUM** pour ses arguments et sa valeur de retour. Cela signifie que nous pouvons additionner :

- deux entiers doubles (DINT),
- deux entiers simples (INT),
- deux réels longs (LREAL),
- ou deux réels (REAL).

En revanche, il n'est pas possible d'additionner un **REAL** avec un **LREAL**, car ils n'appartiennent pas au même sous-type au sein du générique **ANY_NUM**.

Un tableau ci-dessous [7] répertorie la signification de chaque type de données génériques ainsi que les types standards qu'il englobe. [13]

Type de donnée	**Type de donnée standard représenté**
ANY	Tous les types de données standard: BOOL, DATE, DINT, DT, DWORD, INT, LREAL, REAL, STRING, TIME, TOD ou dérivé

ANY_NOTE1	Tout type de données élémentaire: BOOL, DATE, DINT, DT, DWORD, INT, LREAL, REAL, STRING, TIME ou TOD. Notons que chacun de ces types est commandé de sorte que des valeurs du même type peuvent être comparées (comme les fonctions de librairie (EQ, GE, GT, LE, LT, NE, MIN et MAX).
ANY_NUM	N'importe quel nombre: DINT, INT, REAL ou REAL
ANY_REAL	Tout nombre réel: REAL ou REAL
ANY_INT	Tout entier: DINT ou INT
ANY_BIT	Tout type de données bit à bit: BOOL ou DWORD
ANY_DATE	Toute date ou heure du jour ou les deux: DATE, DT ou TOD

III.9. Configuration des points d'E/S et points de mémoire :

Dans TriStation 1131, pour configurer un point (d'entrée, de sortie ou de mémoire), il faut d'abord déclarer un Tagname pour ce point. Le Tagname est le terme couramment utilisé pour désigner les points d'entrée (capteurs) et les points de sortie (actionneurs). Les Tagnames sont des références à des Tagnames physiques (étiquettes) sur les périphériques de terrain connectés ou à des points mémoire du contrôleur. Dans la terminologie CEI, les Tagnames sont appelées variables globales.

Les Tagnames décrivent le type de point (entrée, sortie ou mémoire) ainsi que les propriétés associées à chaque point. Nous pouvons déclarer les Tagnames avant ou après l'écriture des programmes. Toutefois, les Tagnames doivent être déclarés avant de télécharger l'application dans le contrôleur.

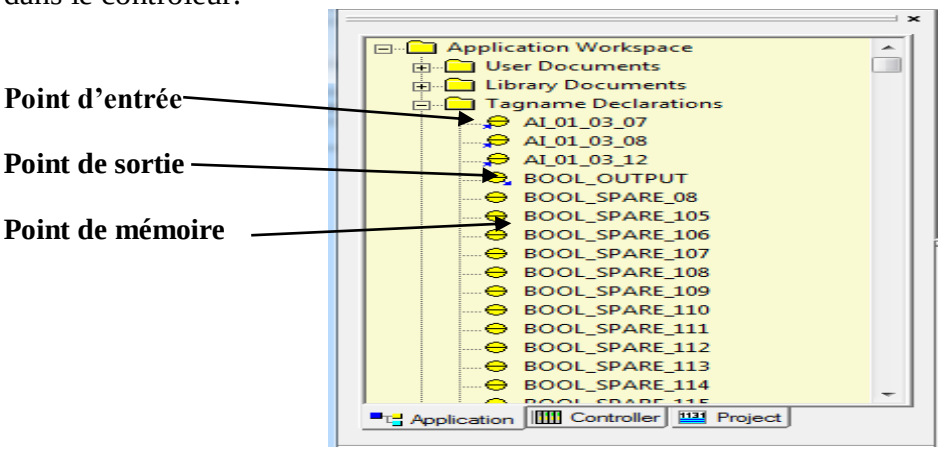


Fig.III.10 : Arborescence des Tagnames déclarés

III.9.1. Déclaration des Tagnames :

C'est la première étape où l'on doit spécifier les différentes propriétés de ce nouveau Tagname dans l'onglet déclaration.

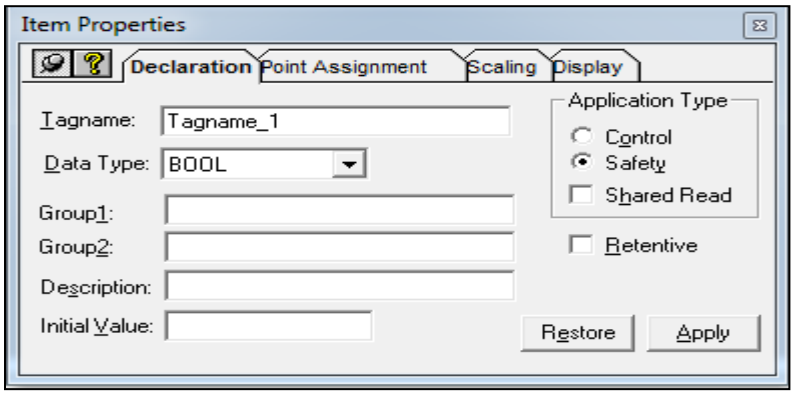


Fig.III.11 : Onglet de déclaration de Tagname

Les propriétés de la Déclaration :

- **Tagname :** Nom du Tagname. Il doit contenir un maximum de 31 caractères.
- **Data type :** Type de donnée. Le type de donnée par défaut est BOOL.
- **Groupe 1 et Groupe 2 :** Groupes auxquels ce Tagname appartient.
- **Description :** Description du Tagname.
- **Initial Value :** La valeur initiale du Tagname lorsque le système démarre.
- **Application Type :** Type d'application du Tagname qui doit être utilisé dans une application de sécurité ou de contrôle. Le type par défaut est Control.
- **Shared Read :** On sélectionne la case à cocher pour permettre à différents types d'application de lire le Tagname. La case par défaut est non cochée.
- **Retentive :** On sélectionne la case à cocher pour que la valeur du Tagname soit conservée en cas de panne de courant. La case par défaut est non cochée. [13]

III.9.2. Attribution d'un numéro d'alias, d'un type d'alias et d'une adresse physique :

La deuxième étape de la configuration d'un point consiste à affecter les informations nécessaires à un Tagname, comprenant :

- **Attribution d'un numéro d'alias et d'une adresse physique aux points d'entrée et de sortie:** Chaque point d'entrée et de sortie doit se voir attribuer un numéro d'alias et une adresse physique. Le numéro d'alias sert d'identifiant unique pour le point, tandis que l'adresse physique correspond à son emplacement réel dans le système.

- **Attribution d'un numéro d'alias et d'un type d'alias aux points de mémoire :** De même, chaque point lié à la mémoire (comme ceux qui stockent ou affichent des données) doit recevoir un numéro d'alias et un type d'alias approprié.

Il est important que la configuration matérielle des points d'entrée et de sortie soit terminée avant l'attribution d'un numéro d'alias ou d'une adresse physique.

L'attribution des numéros d'alias et des adresses physiques doit être effectuée une fois que le système est correctement configuré d'un point de vue matériel, afin de garantir son bon fonctionnement.

Attribution d'un numéro d'alias et d'une adresse physique à chaque point est essentielle pour assurer une identification précise de chaque point dans le système et garantir une opération fiable.

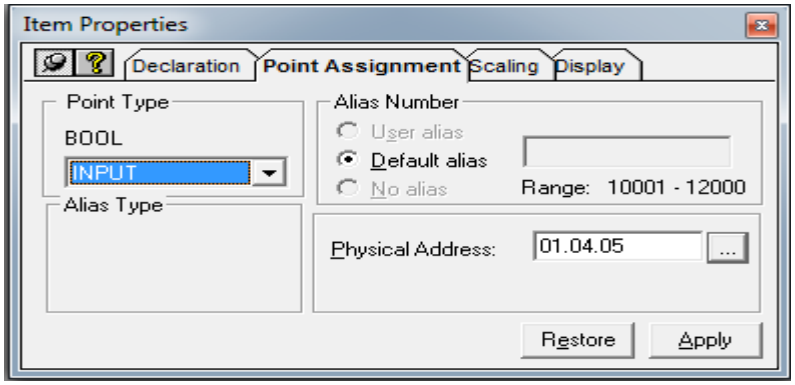


Fig.III.12 : Affectation pour un point d'entrée

Les propriétés de **Point Assignment** pour les points d'entrées/sorties :

- **Point Type :** Type de point (entrée, sortie, mémoire).
- **Alias Number :** Les numéros d'alias permettent à un DCS ou à des applications externes d'accéder à la valeur d'un Tagname via le protocole Modbus. Le numéro d'alias peut être spécifié par l'utilisateur (dans une plage définie) ou automatiquement attribué par le système en fonction d'une plage par défaut. La valeur par défaut est Default Alias.
- **Physical Address :** Le numéro représentant l'adresse physique du point d'entrée ou de sortie.

Dans le cas de l'affectation pour les points de mémoire, un numéro d'alias et un type d'alias sont attribués.

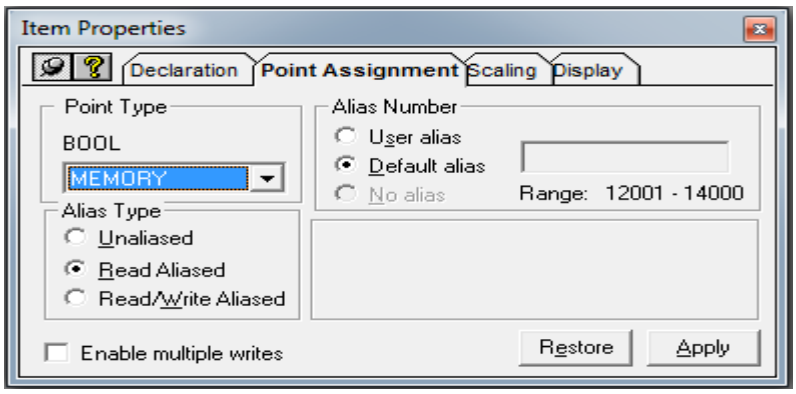


Fig.III.13 : Affectation pour un point mémoire

Les propriétés de **Point Assignment** pour les points de mémoire :

- **Alias Number :** Numéro d'alias du point de mémoire.
- **Alias Type :** Pour permettre l'accès à un point de mémoire à partir d'un périphérique distant, via deux actions (lecture ou lecture/écriture), on sélectionne Read Aliased ou Read/Write Aliased. La valeur par défaut est Unaliased.
- **Enable Multiple Write :** Pour permettre l'écriture répétée du point à partir des programmes dans l'application, on coche la case Enable Multiple Writes.

Les deux types d'alias affectés pour les points de mémoire déclarés et utilisés dans l'application de la station SBC sont :

- **Type Unaliased :**

Les données de type Unaliased sont propres au Tricon, c'est-à-dire que ce type ne permet pas l'accès à un système distant comme le DCS.

- **Type Read Aliased :**

Ce type d'alias permet l'accès au SNCC, comme le DCS FOXBORO I/A SERIES, à travers le protocole Modbus pour effectuer des actions de lecture sur les points de mémoire du Tricon. [13]

III.10. Conclusion :

Ce chapitre a présenté un aperçu des principaux outils et fonctionnalités du logiciel TriStation 1131. Ce logiciel se distingue par sa simplicité d'utilisation et sa grande souplesse, ce qui le rend particulièrement convivial. Il offre également la possibilité de programmer en quatre langages différents, permettant ainsi une adaptation optimale aux besoins spécifiques des applications industrielles.

Chapitre IV : Description de l'application de sécurité de la station SBC

IV.1. Introduction :

Après avoir représenté le côté hardware et software du contrôleur Tricon situé dans la station SBC, on cherche à analyser l'application de sécurité exécutée dans ce contrôleur.
Les programmes constituant de cette application comprendre :

- Les séquences d'arrêt d'urgence de la station SBC (la fonction **E**mergency **S**hut**d**own).
- Les séquences d'arrêt de procédé de la station SBC (la fonction **P**rocess **S**hut**d**own).
- Les séquences d'arrêt des unités de compression de la station SBC (la fonction **U**nit **S**hut**d**own).

IV.2. Facteurs d'arrêt d'urgence de la station SBC :

En raison du potentiel élevé de dangerosité des hydrocarbures et des volumes importants manipulés dans les installations, et compte tenu des incidents majeurs survenus dans l'histoire de l'industrie pétrolière, une fonction automatique de mise en sécurité a été développée pour les unités de production. Cette fonction vise à limiter les risques d'explosion et d'incendie en tenant compte des différents facteurs de risque.

Cette fonction, connue sous le nom de Dépressurisation d'Urgence (Emergency Dépressurisation), est largement adoptée à l'échelle internationale. Son déclenchement nécessite l'activation du système d'arrêt d'urgence ESD de l'unité SBC, qui est située près des modules de traitement du gaz (modules 0, 1 et 4). Cette activation entraîne l'isolation de l'unité SBC et la fermeture des vannes d'entrée et de sortie vers les modules 0, 1 et 4.

L'objectif de cette dépressurisation est de minimiser les risques associés aux hydrocarbures lors de situations critiques, en réduisant rapidement la quantité de gaz présents dans l'installation. Une fois isolée, la dépressurisation est effectuée, et tous les gaz sont dirigés vers le système de torchère où ils sont brûlés en toute sécurité, tandis que la pression interne des équipements est abaissée à un niveau proche de la pression atmosphérique.

La mise en sécurité de la station SBC, décrite dans le premier chapitre, exige le déclenchement de l'arrêt de la station SBC en présence de l'un des **trois facteurs** suivants :

a) **Chute de pression de l'air instrument** :

La plupart des actionneurs utilisés dans la station sont alimentés par l'air instrument, tels que les actionneurs pneumatiques des vannes, les positionneurs, et les convertisseurs courant/pression. Le bon fonctionnement du procédé, en termes de stabilité et de rendement

de tous les équipements, est assuré par une pression de 7 bars, avec une pression minimale autorisée de 4 bars. En dessous de cette pression, et après un délai de 2,5 secondes, la station SBC se déclenche .

Le transmetteur PT920, installé en aval du ballon D-907 et relié au PLC Tricon, permet de surveiller cette pression.

La figure suivante illustre la localisation du Transmetteur PT920.

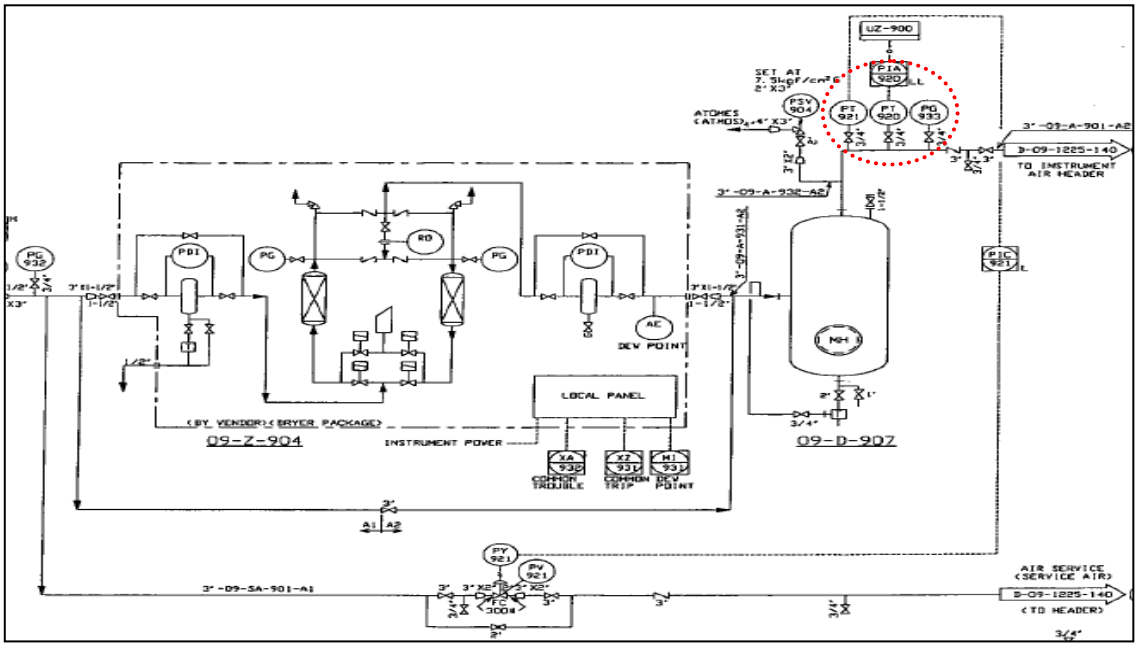


Fig.IV.01 : Localisation de transmetteur PT-920 dans l'unité SBC.[4]

Le programme relatif à la chute de pression, à l'aide du transmetteur PT920, est présenté dans la figure suivante:

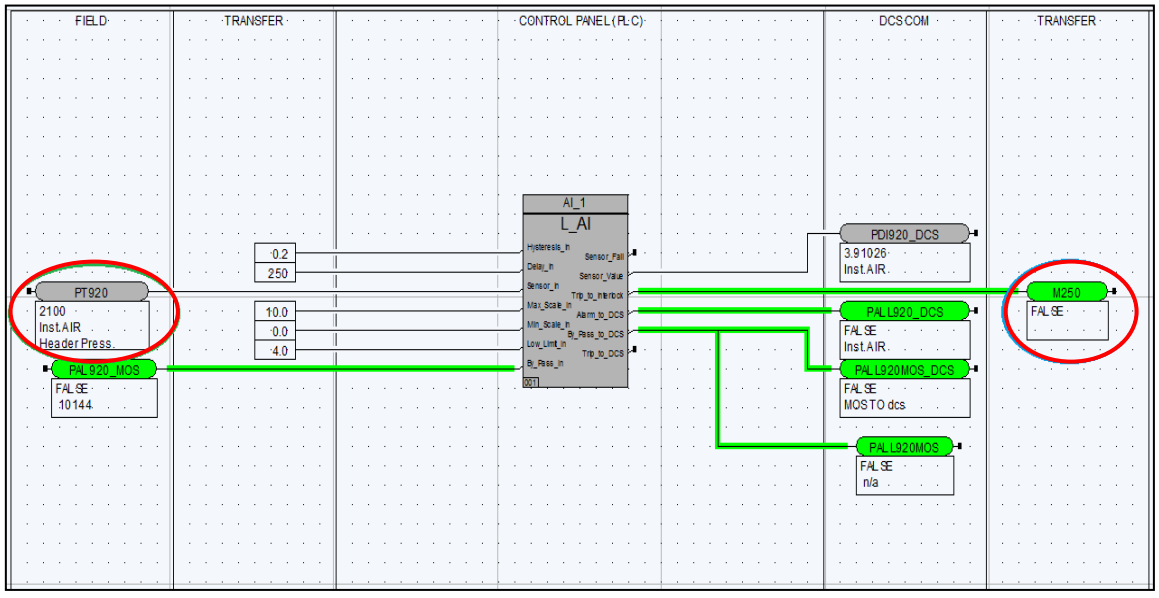


Fig.IV.02 : Programme de chute de pression de l'air instrument sur TriStation

b) Chute de tension :

L'alimentation électrique de la sous-station de l'unité SBC est assurée par deux lignes redondantes de 30 kV provenant de Sonelgaz.

pour contrôler ces deux lignes, quatre contacts provenant de la sous-station sont reliés au PLC Tricon :

- Deux contacts (ERB006, ERB007) détectent l'état des disjoncteurs d'alimentation (Switchgear) des deux transformateurs.
- Deux contacts (EXA044, EXA045) détectent une chute de tension (sous-tension) sur les deux lignes.

Les deux lignes sont commandées par deux disjoncteurs principaux et protégées par des relais contre la chute de tension .

Si les deux relais de protection détectent une chute de tension éventuelle, ils ouvrent les disjoncteurs d'alimentation 30 kV et envoient un retour d'état (feedback) au PLC Tricon, Par conséquent, la séquence dans le programme déclenche l'arrêt de la station en ouvrant simultanément les deux contacts (ERB006, ERB007 ou EXA044, EXA045).

la figure suivante illustre le programme relatif à la chute de tension :

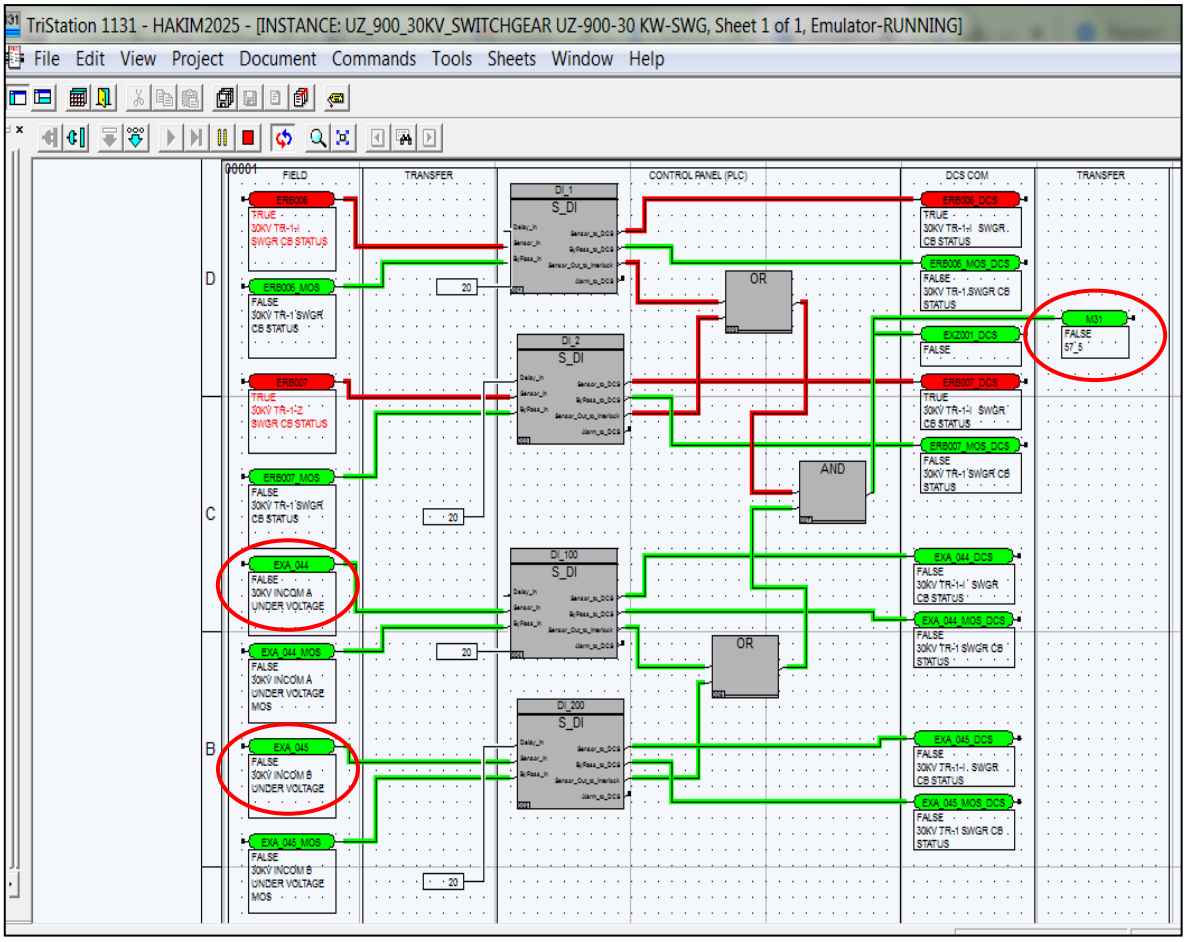


Fig.IV.03 : Programme de chute de tension sur TriStation

c) Le bouton poussoir ESD (HS-900) :

C'est un bouton d'arrêt d'urgence manuel situé dans la salle de contrôle. L'utilisation de ce bouton se fait par une action volontaire de l'opérateur, afin d'éviter tout risque pouvant impacter les équipements ou le personnel d'exploitation du procédé, comme une fuite importante de gaz, la présence de feu, une explosion, etc



Fig.IV.04 : Bouton poussoir ESD sur la console auxiliaire

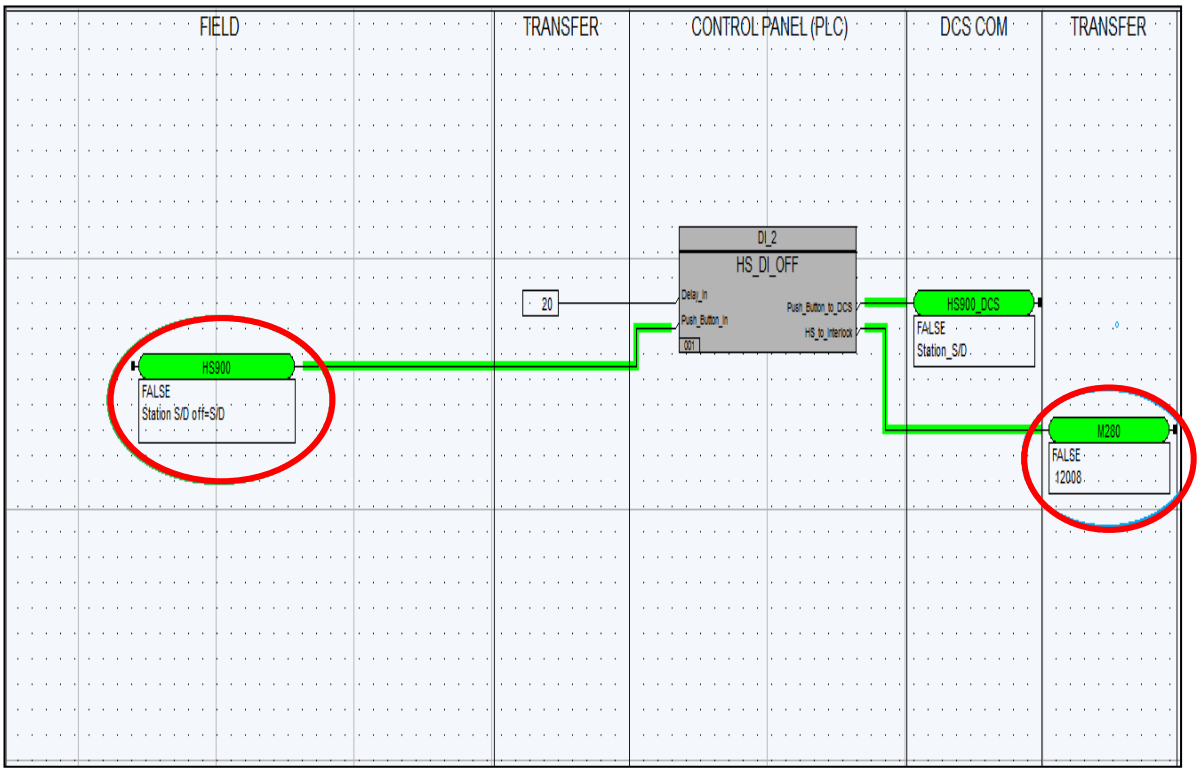


Fig.IV.05 : Activation de bouton poussoir ESD sur TriStation

La figure suivante présente les facteurs de déclenchement de l'arrêt de la station SBC à travers le point mémoire M01. À titre d'exemple, le point M250 correspond à un déclenchement dû à une chute de pression

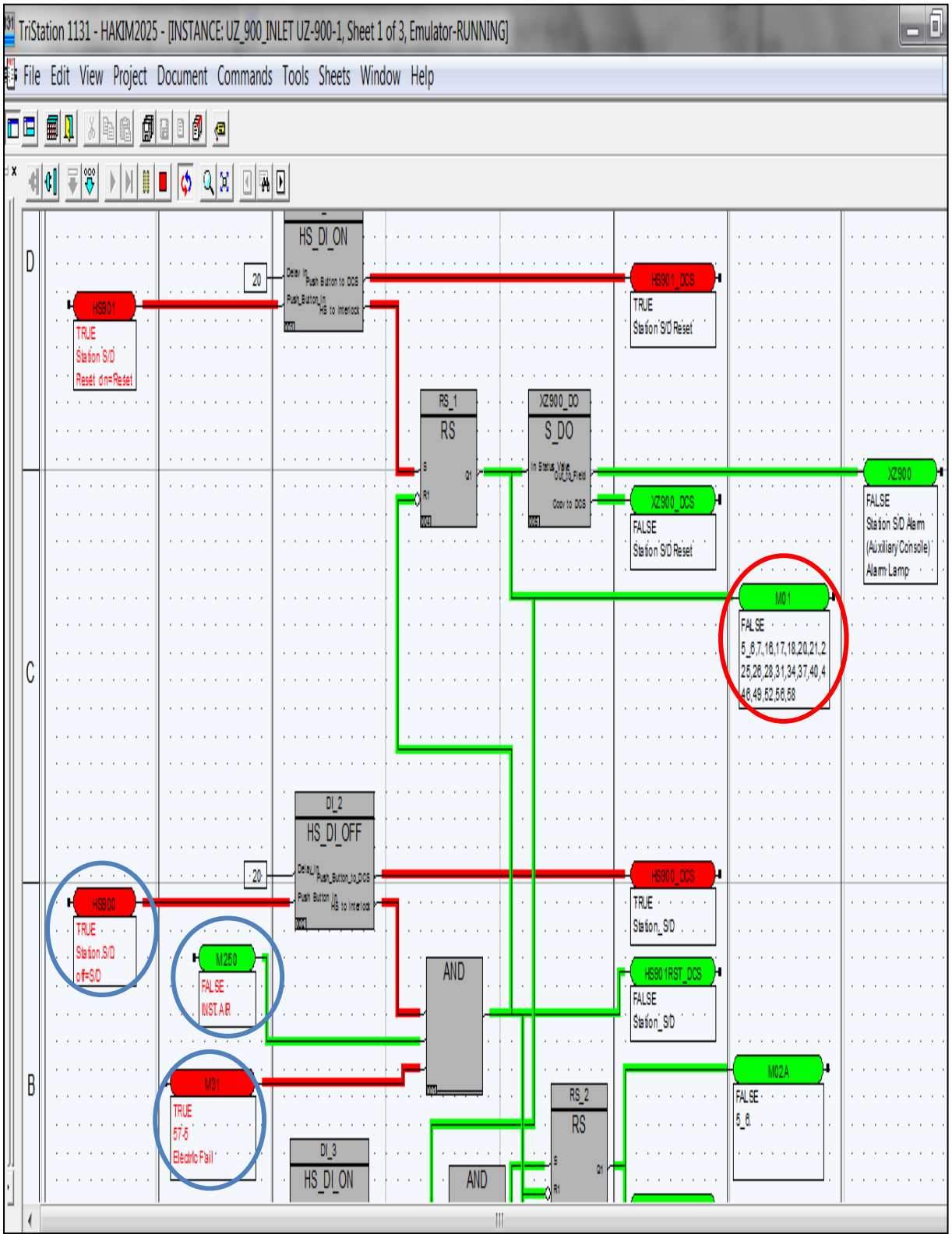


Fig.IV.06 : Programme de déclenchement de la station SBC par le facteur de chute de pression

IV.3. Effets d'arrêt d'urgence de la station SBC :

En fonctionnement normal, les trois facteurs montrés dans le programme illustré dans la figure précédente représentent l'état 1 (cet état est animé par la couleur rouge avec la configuration actuelle)

Si l'un des trois facteurs passe à l'état 0 (animé par la couleur verte), la sortie présentée par le point mémoire (M01) sera également à l'état 0, ce qui déclenche immédiatement l'arrêt de la station SBC.

La liaison directe entre ce point mémoire et plusieurs séquences engendre les effets suivants :

a) L'isolement du manifold d'entrée par la fermeture des vannes d'aspiration (XV-901A et XV-901B) avec la désexcitation des électrovannes (XSOV901-A2 et XSOV-901B2).

lorsqu'un facteur de déclenchement est détecté, les deux vannes (XV-901A et XV-901B) passent à l'état de fermeture avant de se fermer complètement

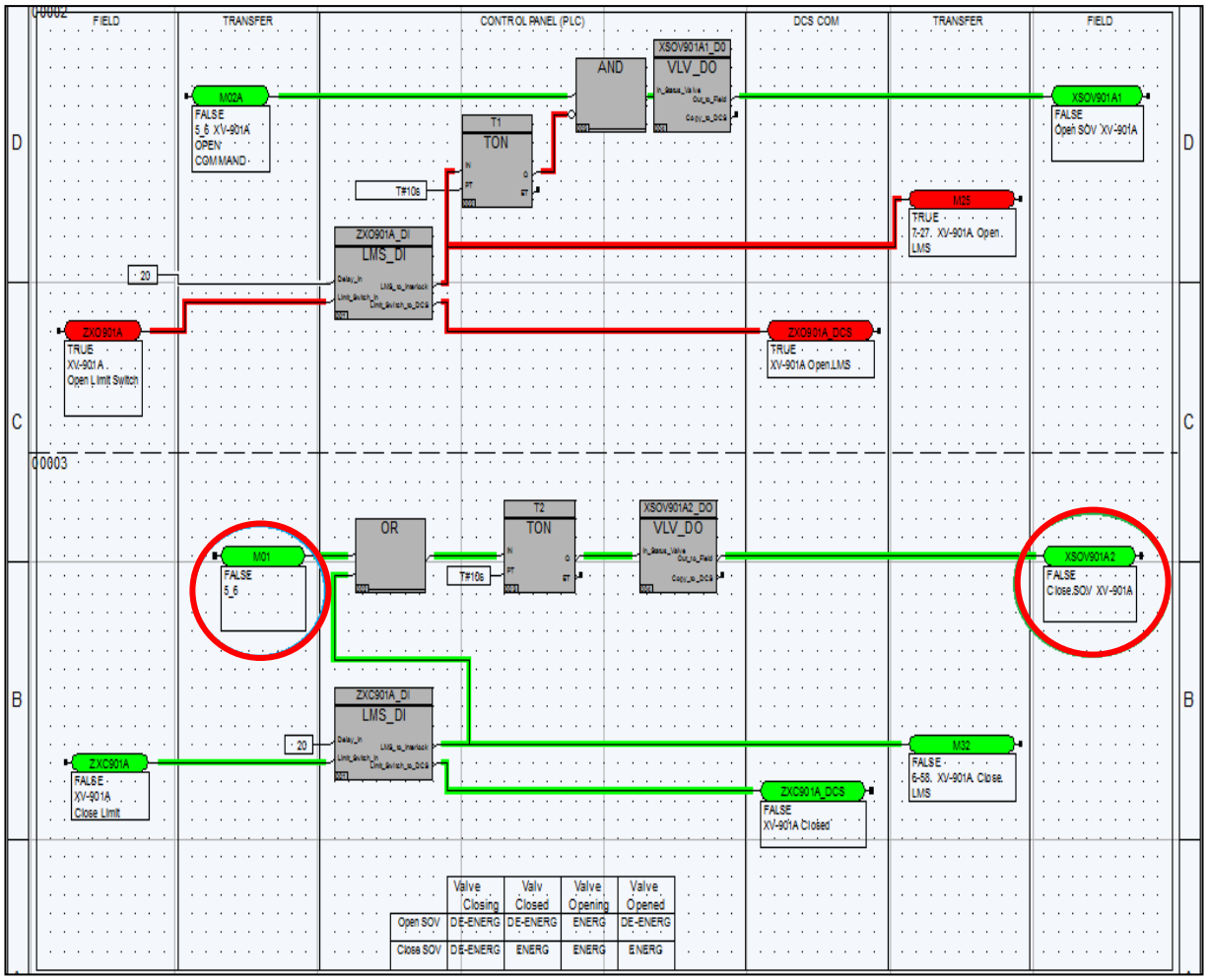


Fig.IV.07 : Programme de fermeture de la vanne d'aspiration XV-901A

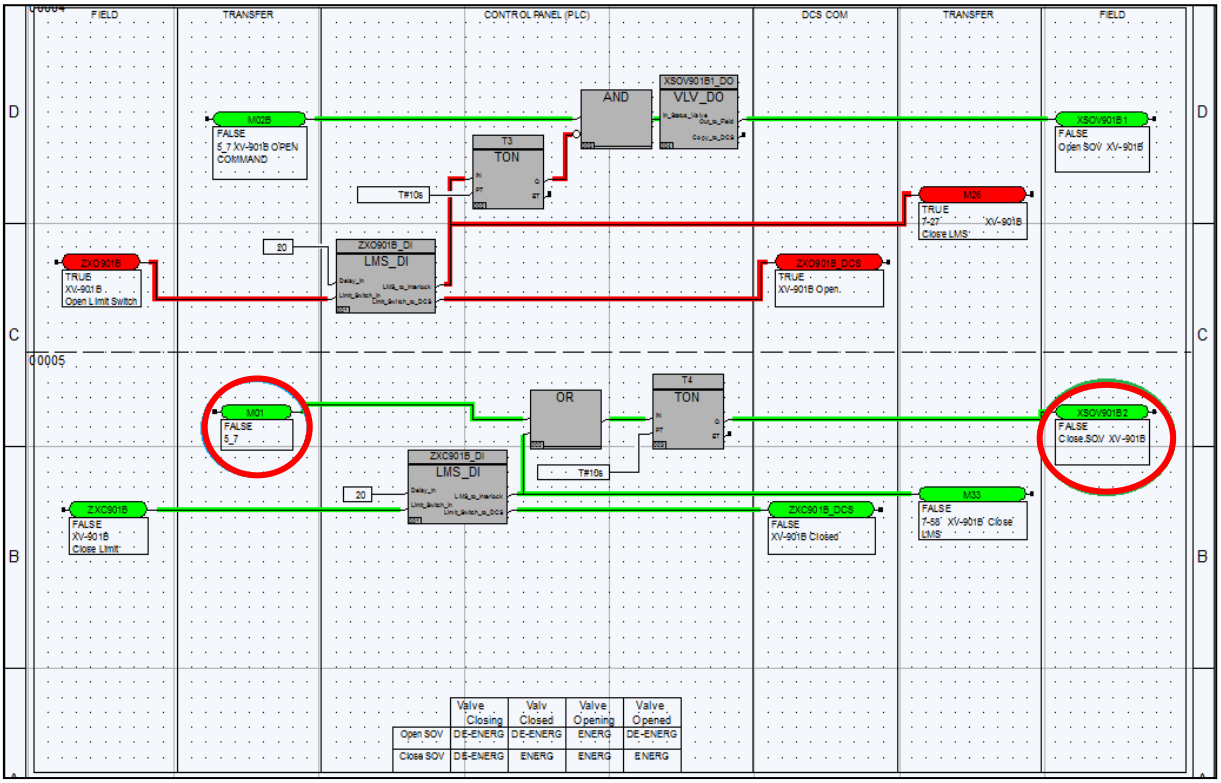


Fig.IV.08 : Programme de fermeture de la vanne d'aspiration XV-901B

a) L'isolement de manifold de sortie par la fermeture des vannes de refoulement (XV-920, XV-921 et XV-922) avec la désexcitation des électrovannes (SOV-920A2, XSOV921-A2, XSOV-922A2).Les trois vannes de refoulement ont le même comportement que les deux vannes d'aspiration en cas de déclenchement d'un facteur ESD.

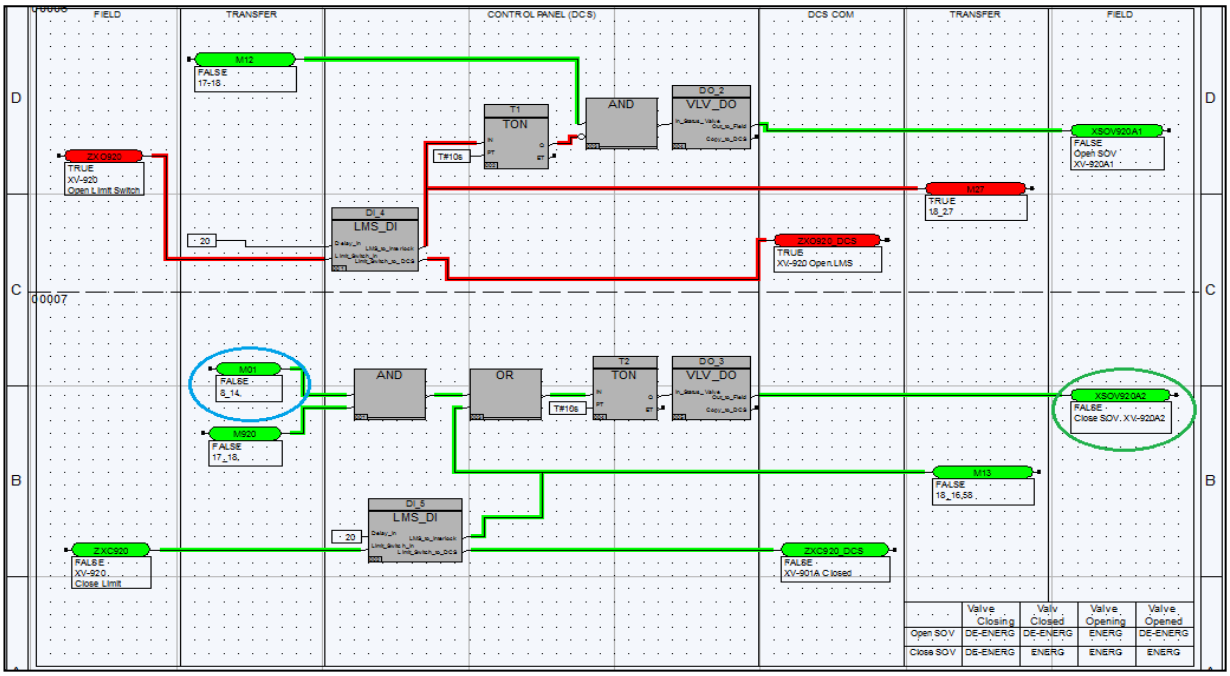


Fig.IV.09 : Programme de fermeture de la vanne de refoulement XV-920

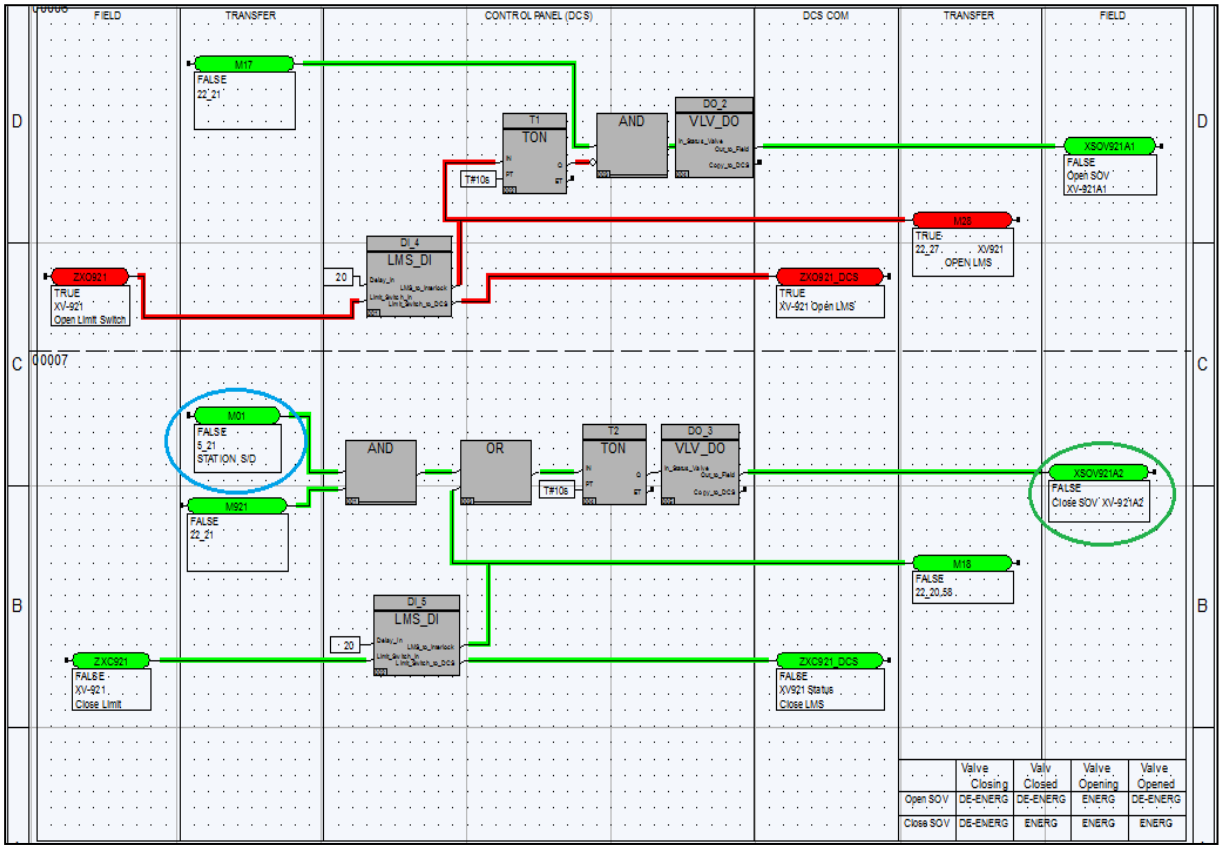


Fig.IV.10 : Programme de fermeture de la vanne de refoulement XV-921

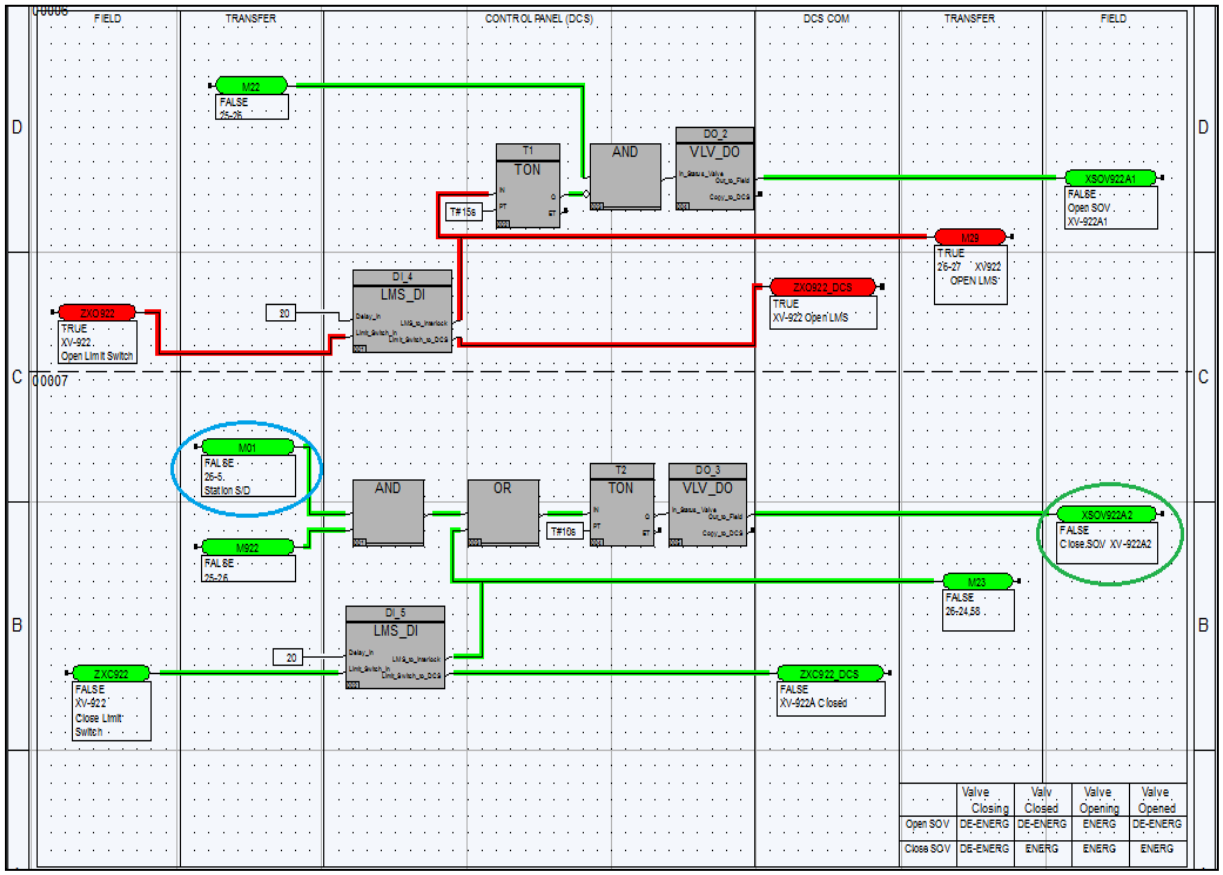


Fig.IV.11 : Programme de fermeture de la vanne de refoulement XV-922

b) L'isolement de gaz combustible (fuel gas) qui nécessite :

- La fermeture de la vanne d'alimentation (XV-931) avec la désexcitation de l'électrovanne (XSOV-931).
- L'ouverture de la vanne split-range vers torche (PV-923B) avec la désexcitation de l'électrovanne (PSOV-923B) pour dépressuriser le ballon de fuel gas D-912.

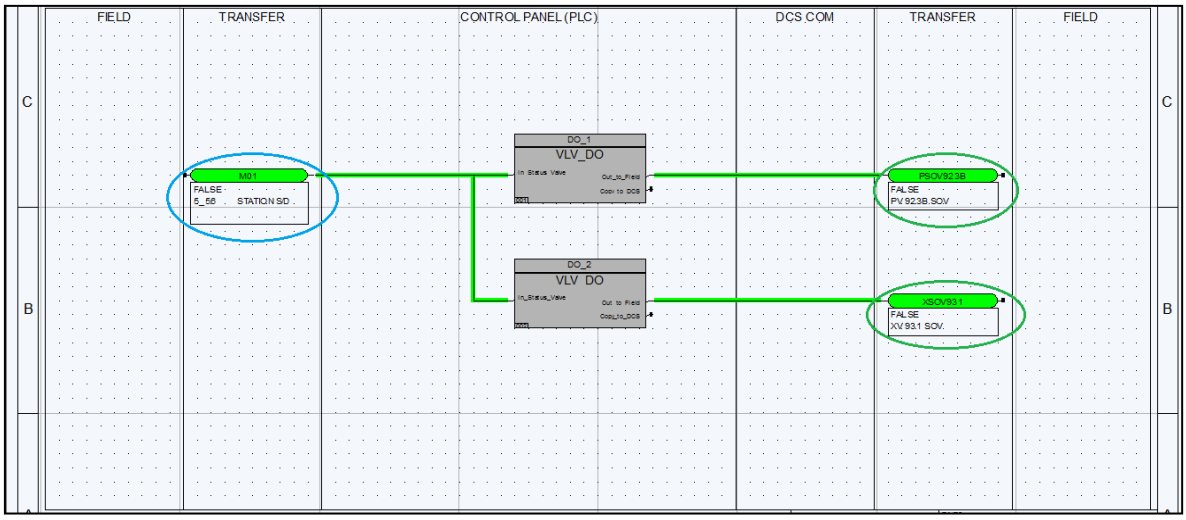


Fig.IV.12 : Programme de la fermeture de la vanne XV-931 et l'ouverture de la vanne PV-923B

c) Arrêt avec dépressurisation des 9 turbocompresseurs (A/B/C/D/E/F/G/H/I), le PLC Tricon déclenche les 9 machines par l'ouverture du contact (L5esd) dans chaque panneau de contrôle de ces 9 machines, ce contact entre dans une série de paramètres de déclenchement de la turbine par le système de contrôle (MARKV, MARKVI).

Dans l'application de sécurité de l'unité SBC on trouve 9 séquences identique qui permet l'arrêt de chaque unité du turbocompresseur de boosting avec :

- Pressurisation (PESD) en cas d'utilisation de bouton poussoir (HS-994) situé dans la salle de contrôle.
- Dépressurisation (DESD) en cas :
  - ✓ L'utilisation l'un des deux boutons poussoir (HS-992, HS-991) le premier est localisé a l'entrée de bâtiment de chaque machine et le deuxième situé dans la salle de contrôle.
  - ✓ La présence d'un paramètre d'arrêt d'urgence ESD (M01=0).

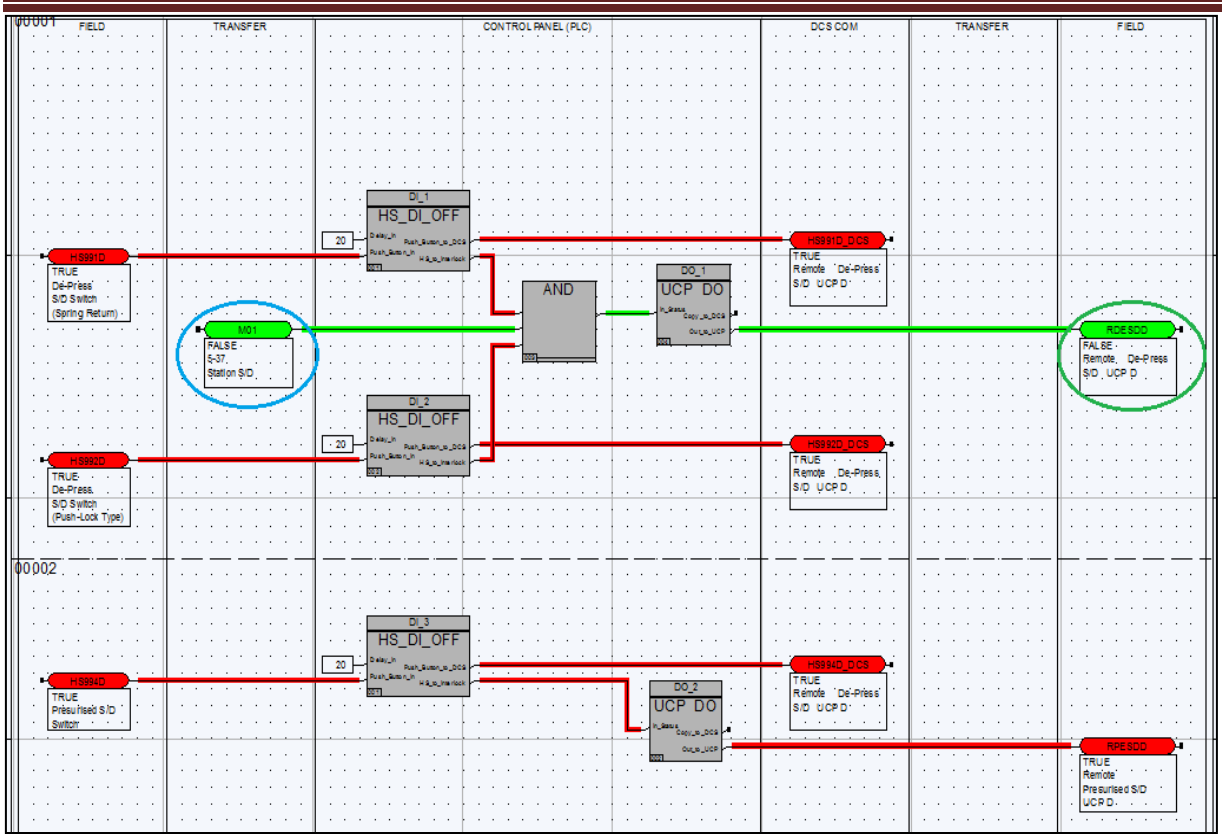


Fig.IV.13 : Programme de l'arrêt avec dépressurisation de l'unité D par un facteur ESD

IV.4. Séquences d'arrêt de procède (PSD) de la station SBC :

La fonction d'arrêt de processus (PSD) est une barrière de sécurité conçue pour protéger le procédé contre les risques liés à la sécurité. Cette fonction est activée automatiquement par différents capteurs liés au processus. L'arrêt du processus permet d'arrêter et d'isoler tous les équipements ou systèmes associés, afin de réduire la probabilité d'une situation de fonctionnement anormal pouvant conduire à une situation d'urgence.

À la station SBC, la fonction PSD est exécutée en contrôlant le niveau de liquide dans les équipements suivants :

- Les six ballons de séparation d'entrée D-901 (A/B/C/D/E/F).
- Les ballons de séparation situés en amont des compresseurs D-902 (A/B/C/D/E/F/G/H/I)

L'objectif principal de cette fonction est d'empêcher l'introduction de gaz dans les systèmes liquides reliés aux ballons de séparation D-901 et D-902.

IV.4.1. Séquences d'arrêt des procèdes (D-901A/B/C/D/E/F) :

Le niveau de liquide est surveillé par le transmetteur LT-903, installé sur le ballon de séparation D-901 et connecté au PLC Tricon via une interface analogique**.**

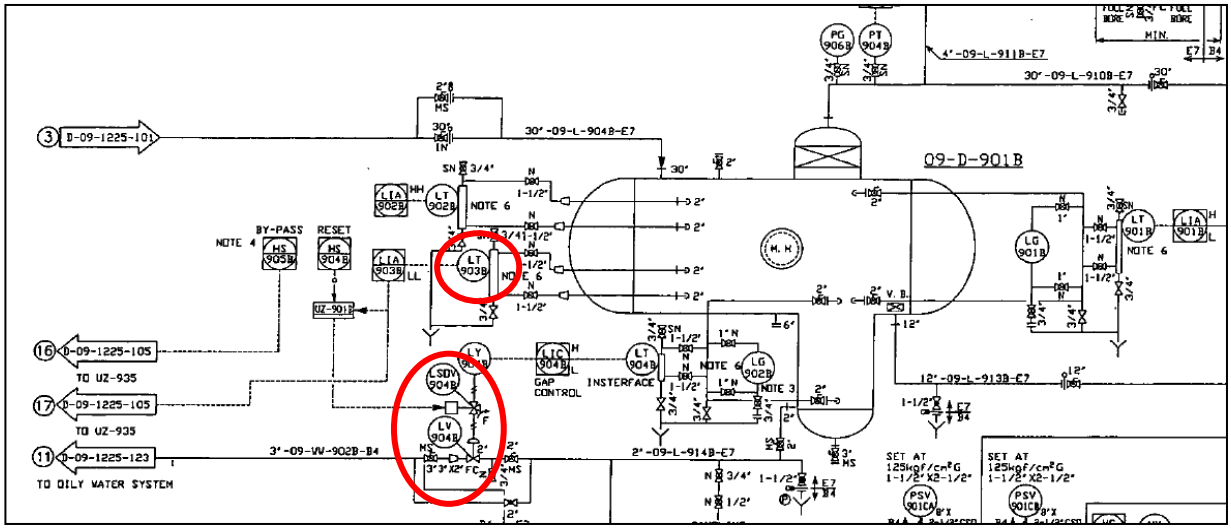


Fig.IV.14 : Localisation de transmetteur LT-903 et la vanne LV-904 dans le ballon de séparation D-901B.[4]

Si le transmetteur LT-903 détecte une valeur inférieure à la valeur minimale configurée dans le programme TriStation (50,0 cm) durant l'exploitation de la station, les conséquences suivantes se produisent :

- Fermeture de la vanne de niveau LV-904, qui relie le ballon D-901 au système d'eau huileuse, par la désexcitation de l'électrovanne LSOV-904 du ballon concerné par la détection de niveau bas (LL).

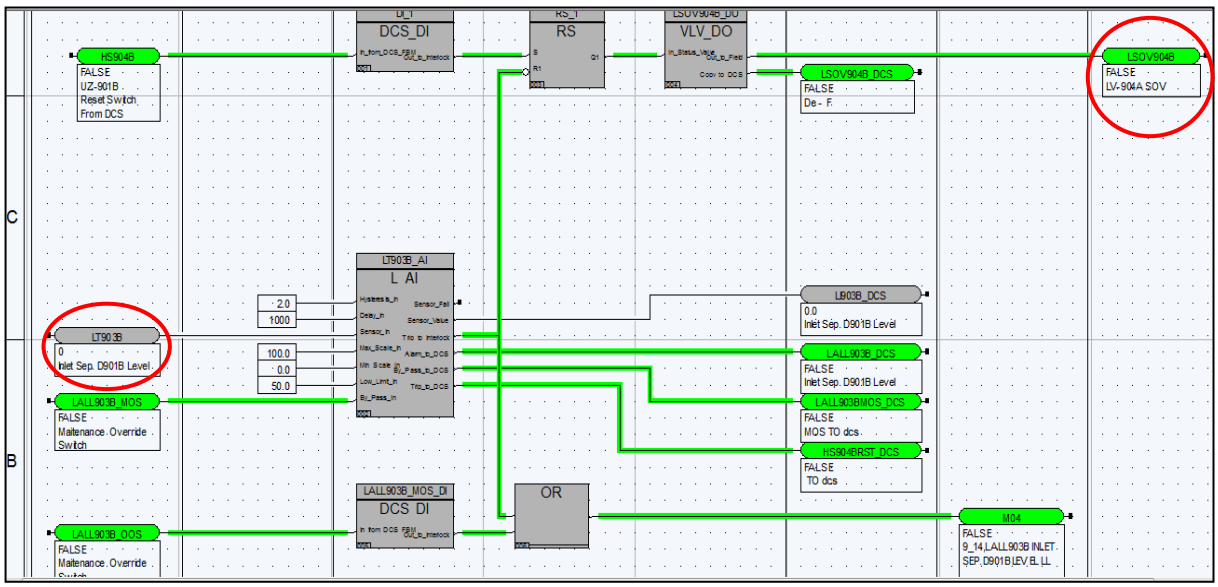


Fig.IV.15 : Programme de fermeture de la vanne LV-904B après avoir un niveau inférieur détecté par LT-903B

IV.4.2. Séquences d'arrêt de procèdes (D-902 A/B/C/D/E/F/G/H/I) :

Le ballon d'entrée D-902 de chaque unité de boosting sert à enlever les gouttelettes de liquide du gaz provenant de la section de séparation d'entrée , afin d'assurer l'exploitation sure des compresseurs.

La fonction PSD utilisé dans le contrôle de niveau de ce procédé permet d'éviter l'écoulement de gaz dans le système d'eau huileuse à travers la vanne de niveau LV-905, l'instrument de contrôle adopté par cette fonction soit le contacteur de détection de niveau LSLL-907.

Après un délai de 5 secondes de détection du niveau minimal (LL) dans le ballon d'entrée D-902 le contacteur LSLL-907, associé au PLC Tricon par l'interface d'entrée digital, devient ouvert et par conséquent ,l'électrovanne LSOV-905 sera désexcitée, ce qui entrainera la fermeture de la vanne de niveau LV-905 .

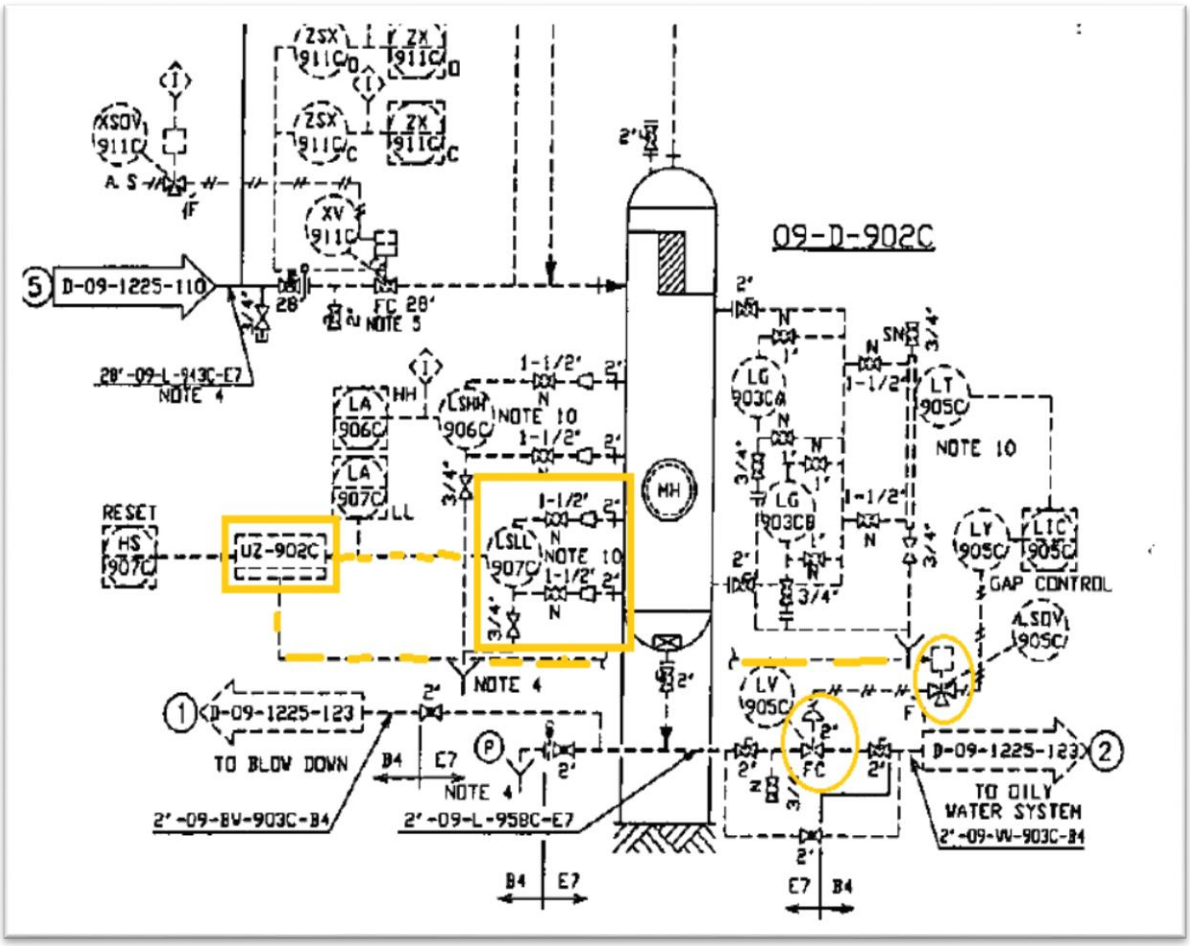


Fig.IV.16 : Localisation de contacteur LSLL-907 et la vanne LV -905 dans le ballon D-902C.[4]

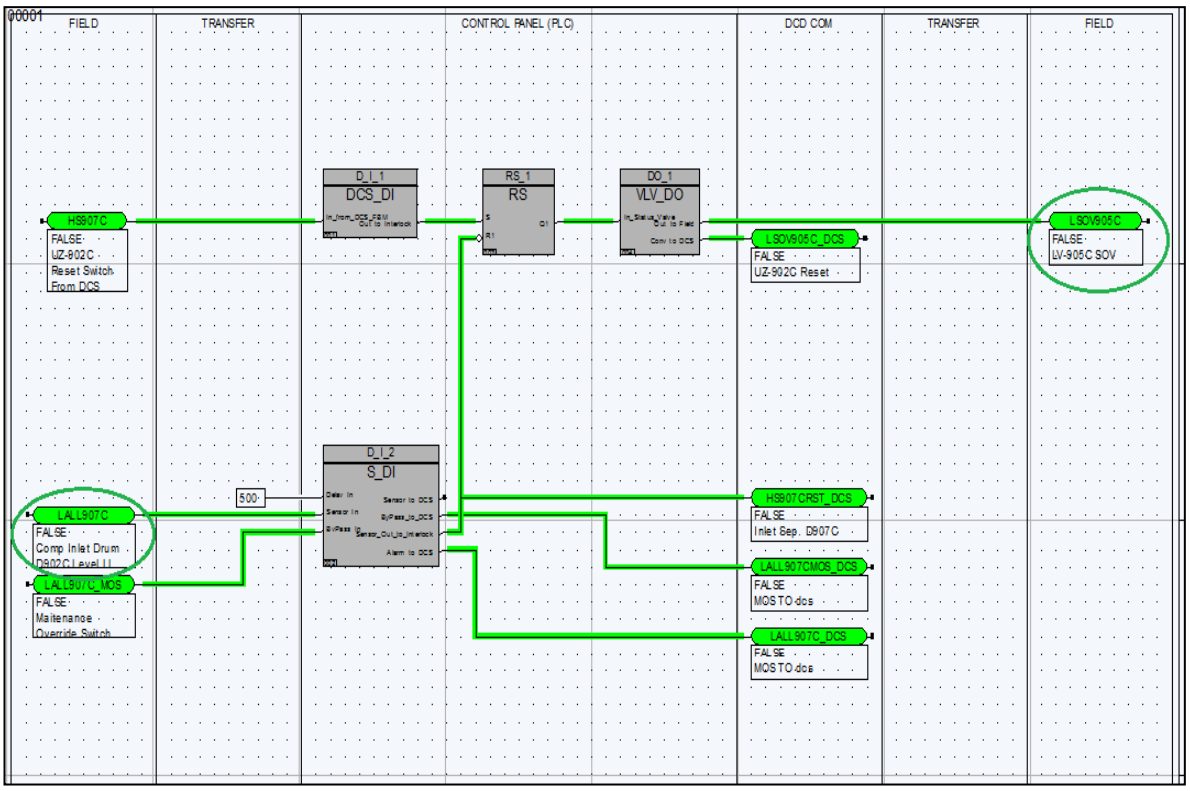


Fig.IV.17 : Programme de la fermeture de la vanne LV-905C après avoir un niveau inférieur détecté par LSLL-907C

IV.5. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons détaillé et simulé les différentes séquences constituant l'application de sécurité de la station SBC. Nous avons en particulier étudié les principales fonctions assurées par ces séquences, notamment la fonction ESD ainsi que les trois facteurs essentiels qui lui sont associés, et la fonction PSD appliquée aux ballons de séparation D-901 et D-902. L'ensemble de ces étapes a été représenté et validé à l'aide de l'émulateur Triconex afin de vérifier le bon fonctionnement des logiques de sécurité mises en place. Ce travail nous a permis d'acquérir une compréhension approfondie du rôle de chaque séquence dans la protection de l'installation. Dans le chapitre suivant, nous proposerons des améliorations visant à optimiser l'application, en particulier au niveau du programme de contrôle de la chute de pression de l'air instrumenté, afin d'accroître la fiabilité et la réactivité du système.

Chapitre V : Étude d'une amélioration de l'architecture de contrôle de la chute de pression de l'air instrument

V.1. Introduction :

Après avoir assimilé l'application de sécurité de la station SBC décrit dans le chapitre précédent on cherche à améliorer l'architecture utilisé dans le contrôle de chute de pression de l'air instrument et réalisé une application de traitement appropriée pour cette amélioration sur la plateforme de TriStation.

V.2. Problématique :

La mesure de pression de l'air instrument à la sortie du récepteur d'air D-907 se fait par deux transmetteurs PT-920 et PT-921 et un indicateur local de pression PG-933.

Le transmetteur PT-921 représente l'organe de mesure de la boucle de régulation configurée sur le système numérique DCS, cette boucle permet de contrôler la pression à la sortie du récepteur d'air grâce au régulateur de pression PIC-921 afin d'éviter la diminution de la pression d'alimentation en air instrument ,c'est qu'en cas de descente de la pression d'air instrument en raison d'une consommation relativement importante de l'air service ,la vanne de contrôle de la pression d'air service (PV-921) se ferme automatiquement ,rendant l'utilisation d'air service impossible pour assurer l'exploitation normale.

Le transmetteur PT-920 est adopté dans l'application de sécurité correspondue au contrôle de chute de pression de l'air instrument. A cause de l'importance de paramètre de l'air instrument sur la sécurité de la station SBC ce transmetteur est configuré sur le PLC Tricon mais le contrôle de ce paramètre est basé sur une architecture d'un seul transmetteur, cette architecture nous permet pas d'atteindre un niveau SIL très élevé qui nécessite une tolérance aux anomalies du transmetteur sachant que les composants à fiabilité infini n'existant pas. A ce stade, une amélioration de cette architecture est préférable pour assurer un niveau de sécurité élevée de l'unité SBC.[4] Les figures suivantes représentent le schéma fonctionnel du système d'air instrument présenté sur l'interface DCS, ainsi que l'architecture actuelle utilisée dans le contrôle de l'air instrument, et la disposition des instruments au niveau du site.

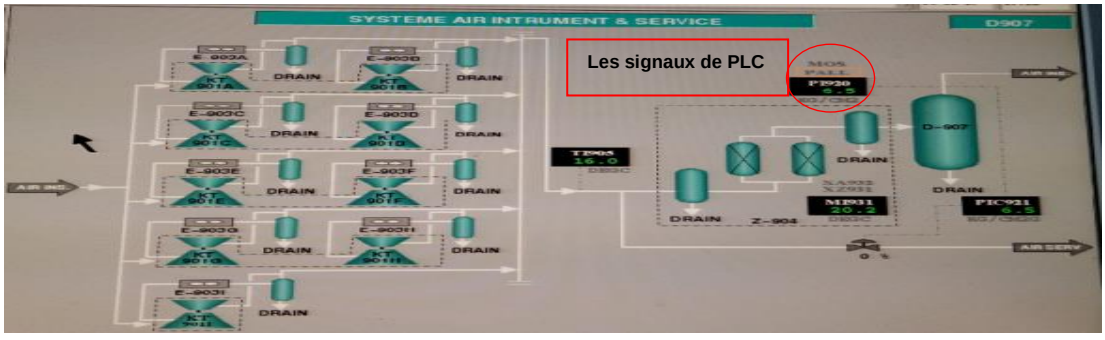


Fig.V.01 : Schéma fonctionnel du système d'air instrument présenté sur l'interface DCS

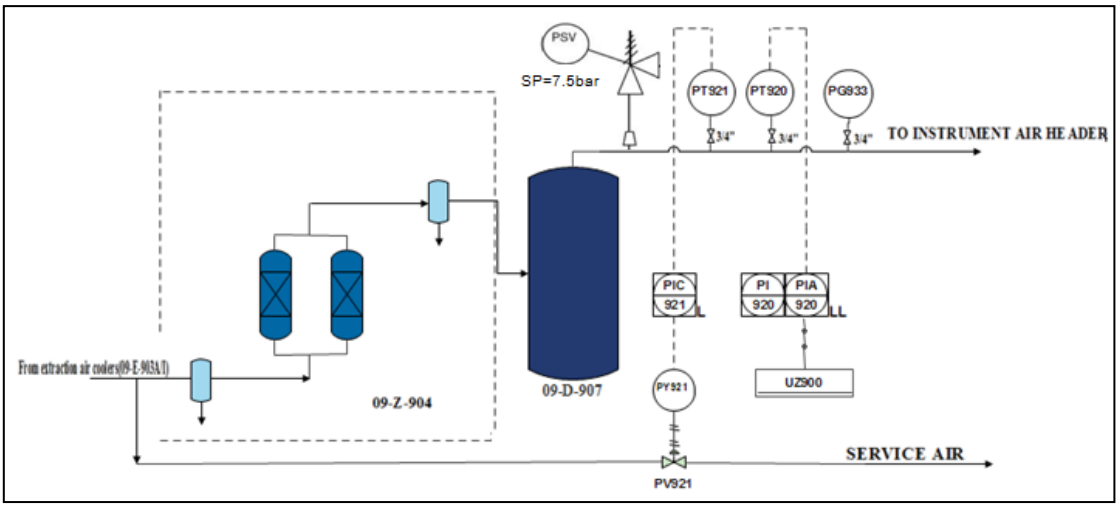


Fig.V.02 : Schéma PID de l'architecture de contrôle actuel.[4]



Fig.V.03 : Disposition des instruments et des points de prise d'impulsion des transmetteurs dans le processus d'air instrument sur site

V.2.1. Conséquences de la chute de pression et de l'arrêt de la station SBC :

L'arrêt de la station SBC dû à une chute de la pression de l'air instrument peut entraîner plusieurs conséquences graves. D'abord, cela provoque une interruption de la production, ce qui se traduit directement par une baisse du rendement économique et une diminution des revenus financiers. Ensuite, la perte de pression affecte négativement le fonctionnement des actionneurs pneumatiques, des vannes de régulation, ainsi que des turbines, ce qui peut entraîner des défaillances en chaîne ou accélérer l'usure de certains composants sensibles. Enfin, ces arrêts non planifiés nuisent à la fiabilité globale de la station et augmentent les coûts de maintenance corrective.

Afin de prévenir ces arrêts critiques, il est impératif de renforcer les systèmes de sécurité de la station. Il devient essentiel d'améliorer les normes de sécurité pour éviter ces incidents qui affectent directement la production et les coûts. Cela contribue à maintenir une performance optimale de la station tout en réduisant les risques.

V.3. Amélioration proposée :

La bonne pratique est de mettre en place des redondances telle qu'au lieu d'utiliser un transmetteur de pression on utilisera 3, avec un système de vote pour déclencher l'action de sécurité.la multiplication des canaux indépendants permet de diminue la PFD, et qu'un système de vote à la majorité donner lieu de l'augmentation de la disponibilité. Le surcout par ce type d'architecture est bien souvent compensé par de moindres pertes d'exploitation.

Une amélioration sans faire toucher le processus de l'air instrument nécessite de profiter le troisième piquage de sortie qui alimente l'indicateur local de pression PG-933 car ce piquage a le même diamètre(3/4") des deux piquages d'alimentation des deux transmetteurs PT-920 et PT-921, afin de remplacer ce manomètre par un nouveau transmetteur de pression et aboutit une architecture des trois transmetteurs (PT920+PT921+ le nouveau transmetteur) en suite Pour garder l'élément de mesure le PT-921 dans la boucle de régulation qui est configuré sur le DCS, on utilise un répartiteur isolé (Splitter Isolator Module) qui prend une entrée de signal(PT921) et fournit deux sorties identiques proportionnelles à l'entrée aux deux systèmes (DCS, PLC Tricon).

A la fin on configure les deux transmetteurs (PT921+ le nouveau transmetteur) au système ESD et on développe un programme convenable qui fait le vote deux sur trois (2oo3) de trois transmetteurs.

La figure suivante représente la nouvelle architecture utilisée dans le contrôle de chute de pression l'air instrument.

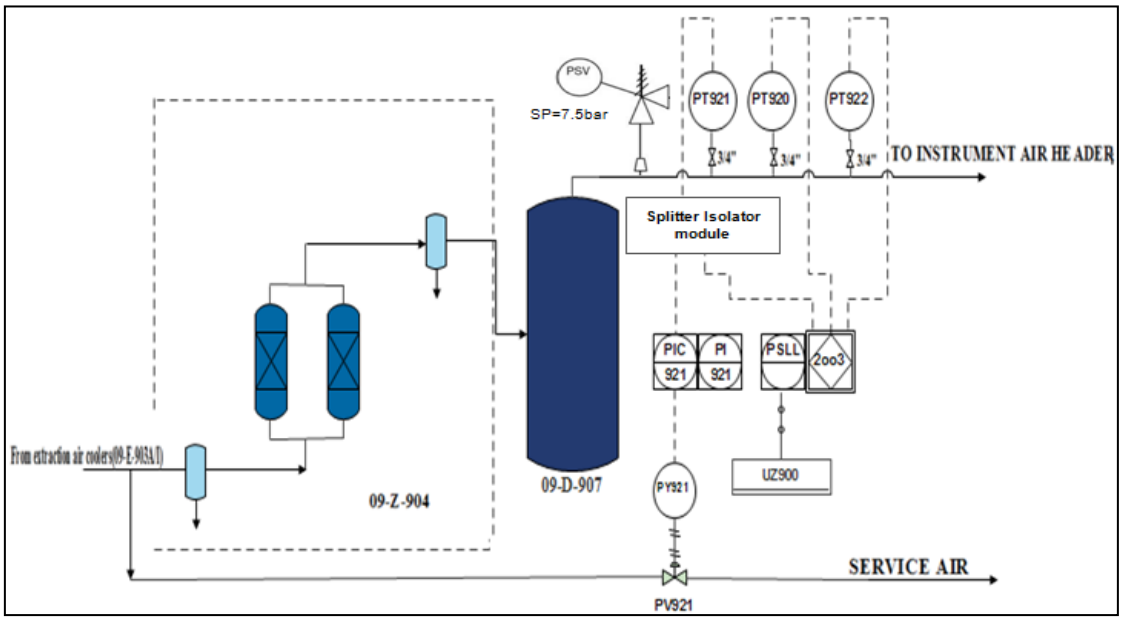


Fig.V.04 : Schéma PID de l'architecture de contrôle après l'amélioration proposée

Lors de l'application de la logique de vote 2oo3 dans le processus il y a une certaine considération faut-il prendre en compte :

- Les transmetteurs ne doivent pas avoir des taraudages communs à la ligne de processus.
- Nous utilisons un splitter isolateur pour distribuer un signal vers plusieurs sorties sans altérer la mesure d'origine, tout en assurant une isolation galvanique qui protège les équipements, élimine les interférences et garantit une transmission précise et sécurisée du signal.



Fig.V.05 : Module répartiteur isolé de signal 4–20 mA

- Les transmetteurs qui forment la même logique de vote ne doivent pas être affectés sur le même module d'E / S du système instrumenté de sécurité(PLC).
- Chaque câble d'instrument est acheminé diversement.
- Les transmetteurs sont configurés avec la même plage d'étalonnage.

Il est également recommandé d'avoir des transmetteurs de différents fabricants pour éviter les défauts de fabrication provoquant une panne de mode commun. Ainsi avec cette configuration de logique de vote, SIS doit comparer la valeur des transmetteurs et déclencher une alarme sur l'interface homme-machine (HMI) pour toute déviation de mesure parmi les trois transmetteurs.

V.4. Création d'un nouveau programme :

Pour créer un projet nous avons suivi les étapes ci-dessous :

- Dans le même projet exécuté dans le PLC Tricon (BOOST_LAST_REV.PT2), cliquer **New Program** et choisir le langage de programmation à utiliser.

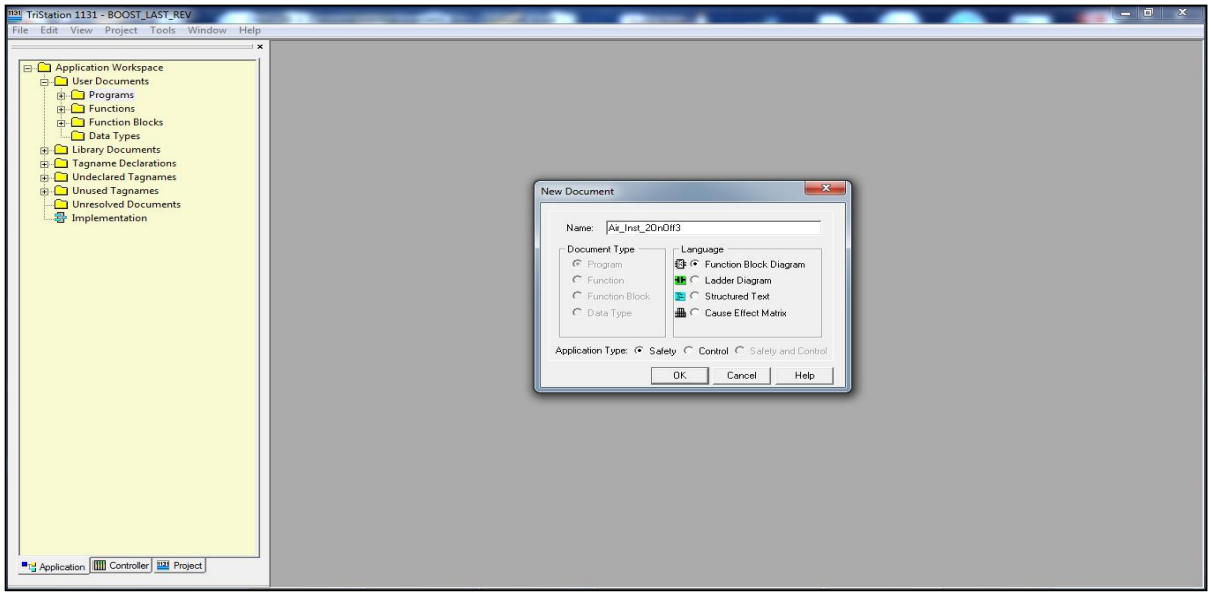


Fig.V.06 : Vue comment choisir le langage de programmation

Le programme de vote Deux sur Trois (2oo3) que nous avons développé fonctionne comme une fonction bloc essentielle dans le système de contrôle de notre station. Il constitue un mécanisme de surveillance redondante et de décision automatique, garantissant la fiabilité des opérations en collectant et en traitant les signaux issus de trois transmetteurs de pression analogiques utilisant un signal standard 4-20mA Ces fonctions sont assurées par l'intégration de plusieurs programmes de blocs, dont notamment :

a) Programme de la Chaîne d'acquisition des signaux:

La chaîne d'acquisition commence par la collecte des signaux analogiques provenant des trois transmetteurs de pression, qui sont ensuite convertis et traités pour obtenir des valeurs physiques pertinentes. Cette chaîne se compose des blocs suivants :

- **Bloc AIN :**

  Ce bloc permet de convertir une valeur numérique provenant d'une entrée analogique (comprise entre 819 DINT ,qui correspond à 4mA, et 4095 DINT qui correspond à 20mA) en une valeur réelle (REAL) exprimée en unités physiques (comme la pression ou la température), basée sur un signal de type 4-20 mA.

  La formule utilisée à l'intérieur du bloc AIN est la suivante:

  AIN DINT_TO_REAL:= ((IN - 819) * 3.05250305e-4) * (MX - MN) + MN

  - **IN** : valeur numérique lue depuis l'entrée analogique
  - **MN** : valeur minimale en unités physiques (correspondant à 4 mA)
  - **MX** : valeur maximale en unités physiques (correspondant à 20 mA)
  - **AIN** :valeur réelle correspondante en unité physique

- **Bloc LINEMENTER – Surveillance de la boucle analogique** :

  Ce bloc surveille l'intégrité du signal dans la boucle analogique 4-20 mA. Il détecte les anomalies, telles que les valeurs hors échelle (inférieures à 4 mA ou supérieures à 20 mA), ou des défauts de transmetteurs, comme un fil coupé ou un court-circuit. En cas de problème, il génère un signal de défaut (fault) pour déclencher une alarme générale.

- **Bloc Alarm Level – Gestion des alarmes** : Ce bloc compare les valeurs mesurées aux seuils définis pour déclencher des alarmes spécifiques. Par exemple, si la pression mesurée est inférieure à 4 bar, une alarme est générée pour signaler une situation anormale ou dangereuse.

  Les programmes illustrés dans les figures suivant représentent les chaînes d'acquisitions des trois transmetteurs de pression (PT920, PT921, PT922).

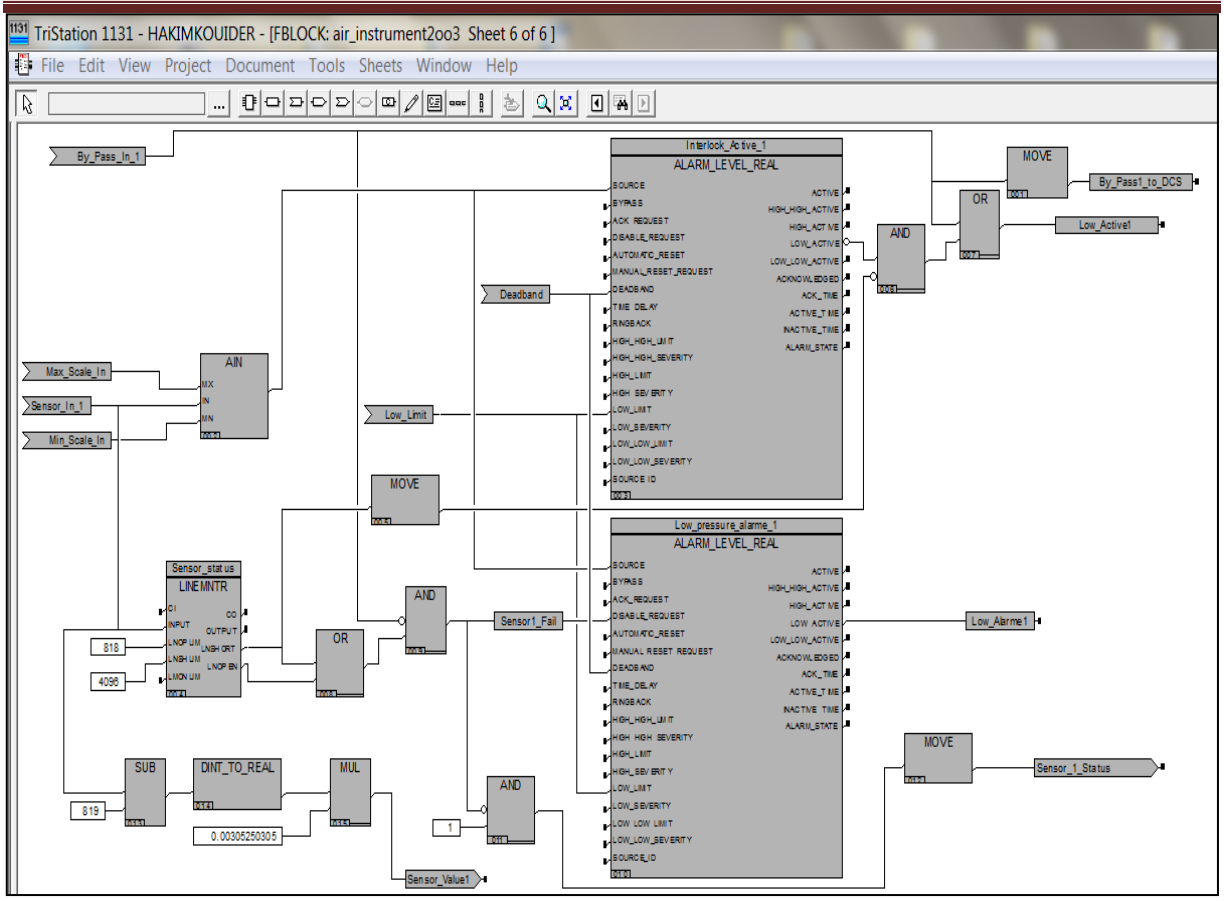


Fig.V.07 : Programme de la chaine d'acquisition pour le PT-920

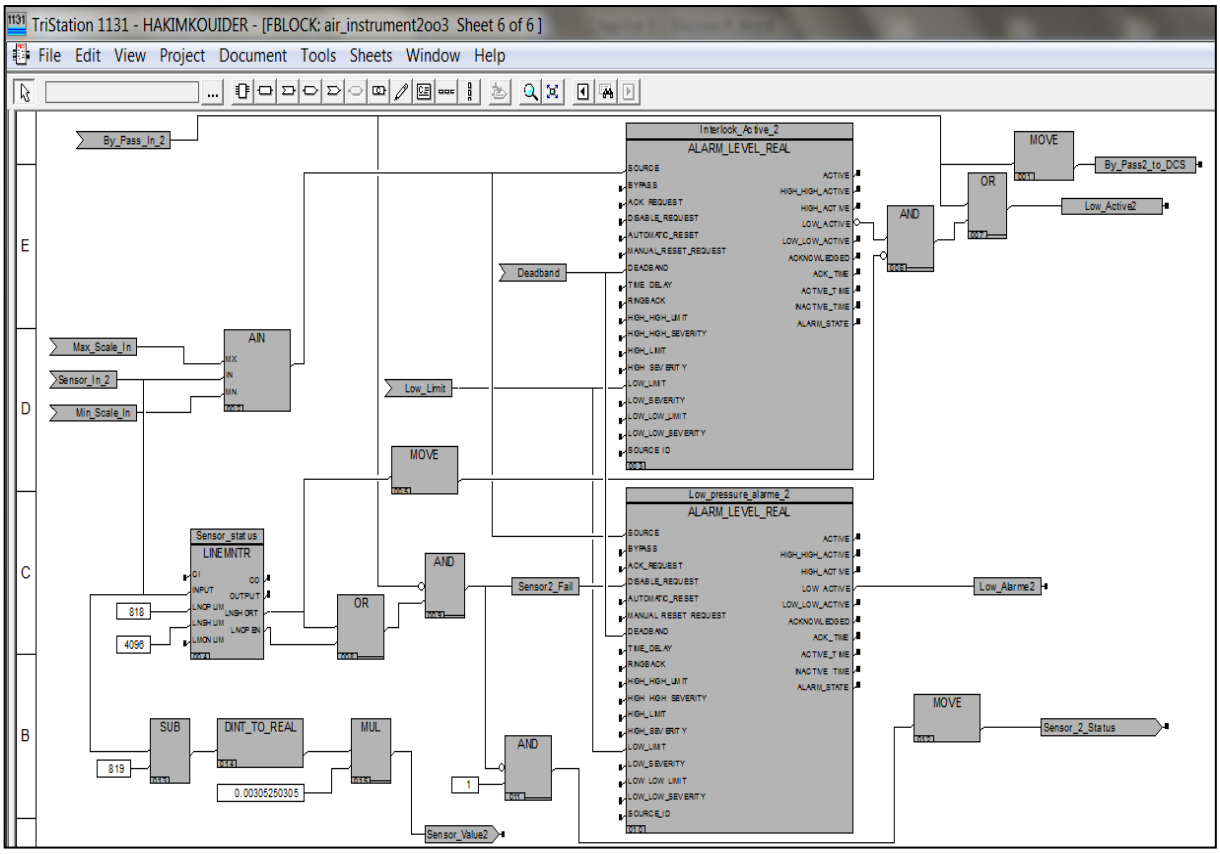


Fig.V.08 : Programme de la chaine d'acquisition pour le PT-921

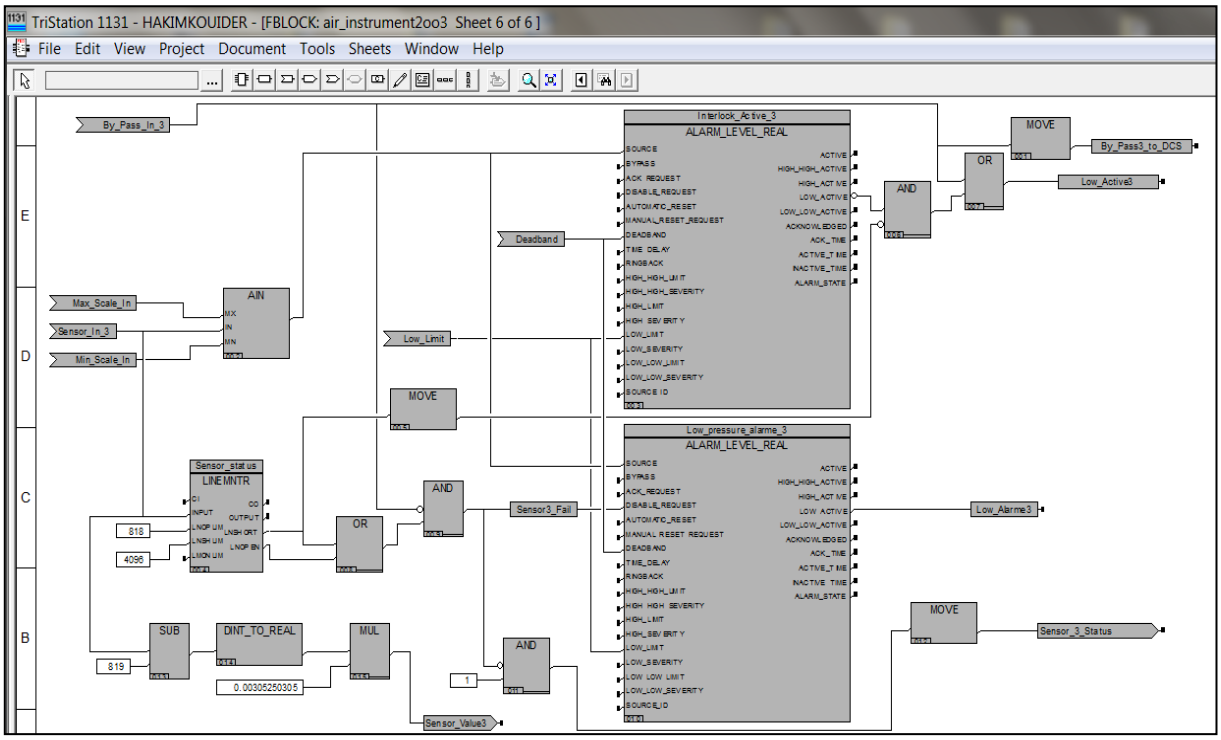


Fig.V.09 : Programme de la chaine d'acquisition pour le PT-922

b) Programme de détection de déviation:

Ce programme permet de détecter toute dérive anormale d'un transmetteur par rapport aux deux autres. Une alarme est générée lorsque l'un des trois transmetteurs affiche une déviation supérieure à 20 % (environ 2 bar) par rapport à la valeur commune.

Le programme présenté dans la figure suivante explique ce système.

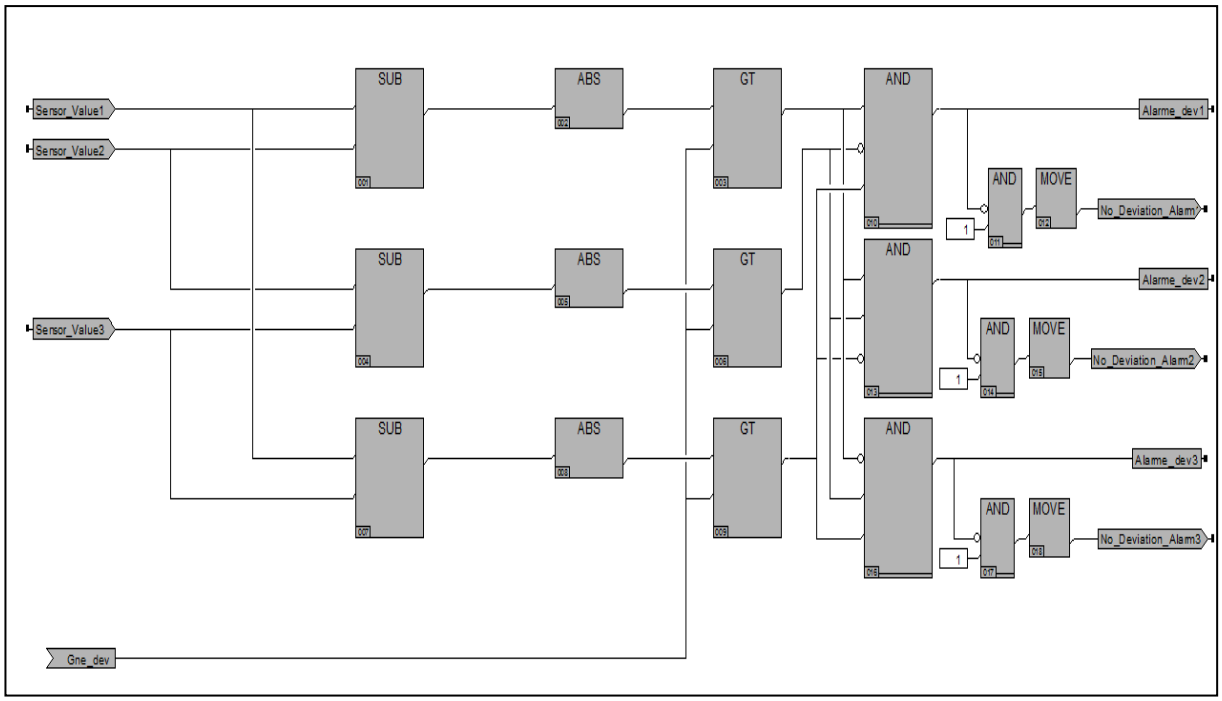


Fig.V.10 : Représentation du programme de déviation

c) Programme de vote 2oo3 – Déclenchement de sécurité:

Ce système applique une logique de vote Deux sur Trois (2oo3) pour générer un signal de déclenchement en cas de condition critique, entraînant l'arrêt de la station SBC afin d'assurer la sécurité de l'installation.

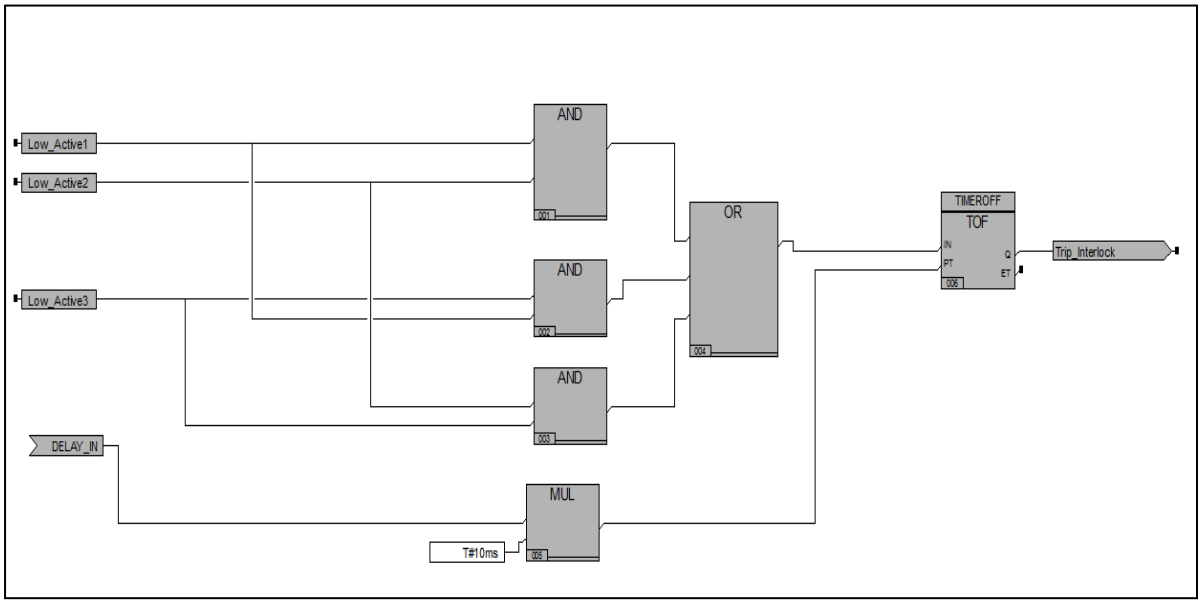


Fig.V.11 : Programme de vote 2oo3

d) Programme de génération des alarmes vers le DCS:

Un programme est mis en place de génération des différentes alarmes vers le DCS on utilisant un pack de 32 bits (DWORD) puis on convertie l'information binaire correspondre a l'alarme vers un codage sur 16 bits (DINT).

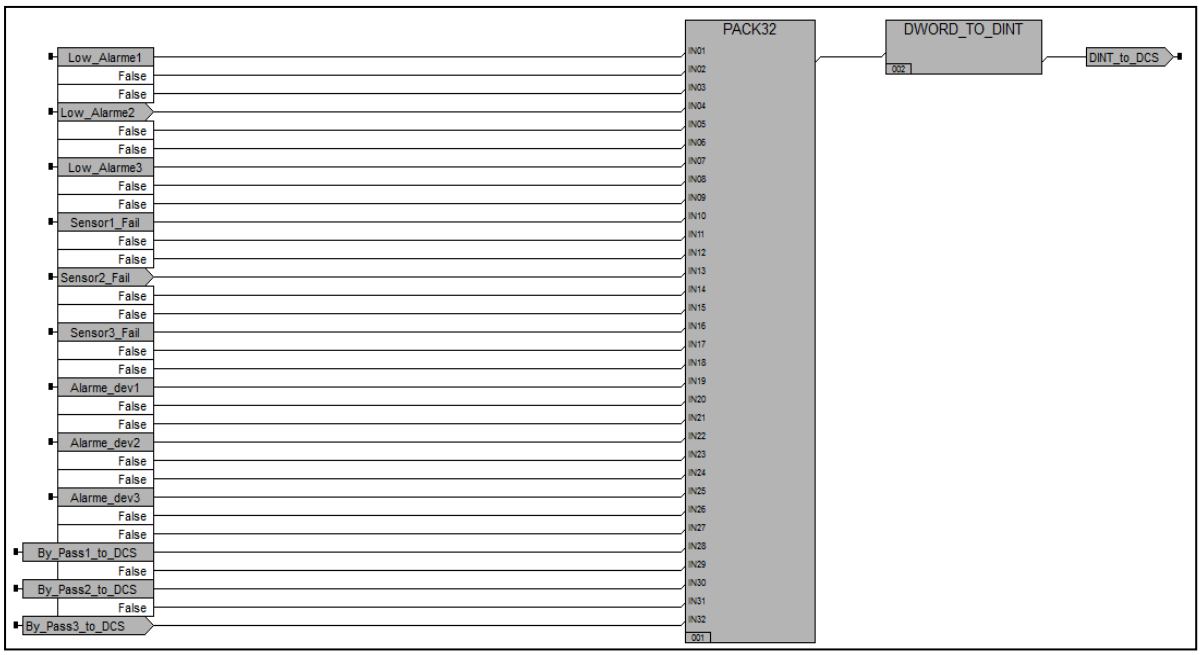


Fig.V.12 : Programme de génération d'alarmes vers le DCS

e) Fonction bloc d'interconnexion du Programme global de Vote 2oo3:

La fonction bloc ci-dessous simplifie et fait l'interconnexion entre les programmes cités en avant et montre le programme global de vote 2oo3

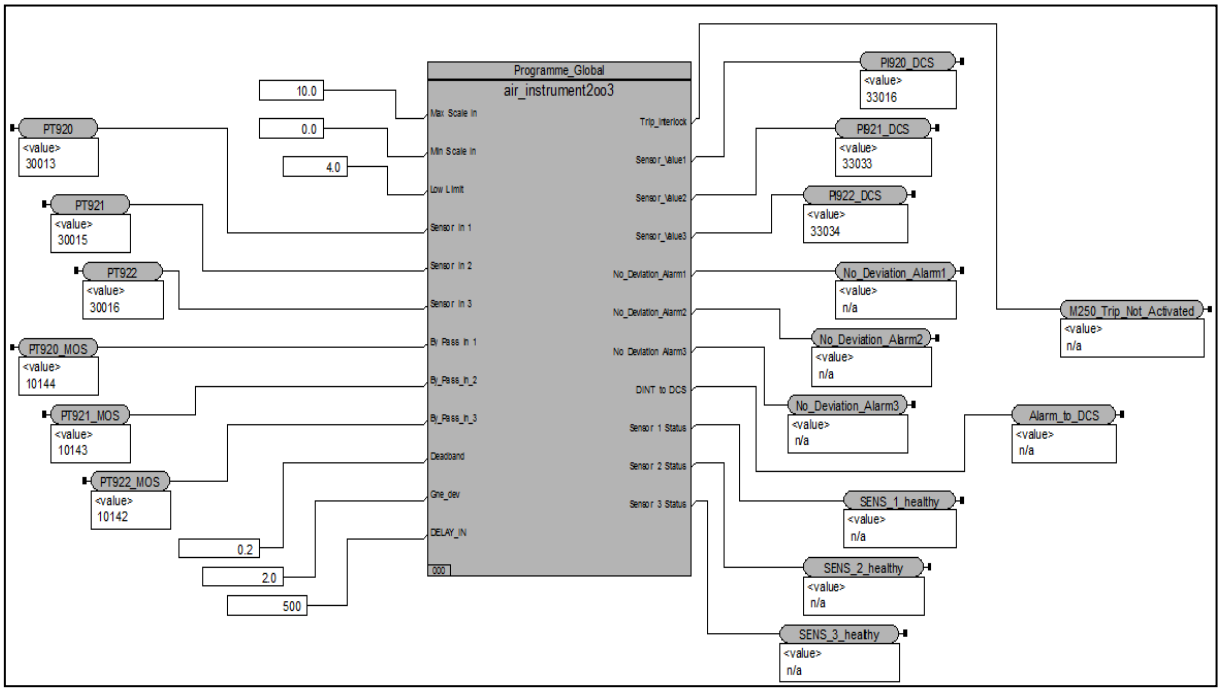


Fig.V.13 : Représentation du bloc fonctionnel du programme global de vote 2oo3

V.5. Implémentation du programme :

Après avoir écrit tous les programmes dans l'éditeur, il est nécessaire de vérifier le programme par compilation afin de détecter d'éventuelles erreurs. Une fois la vérification effectuée, nous avons procédé à l'implémentation du programme en suivant les étapes suivantes :

- Dans l'index Application, sélectionner Implémentation puis exécution List.

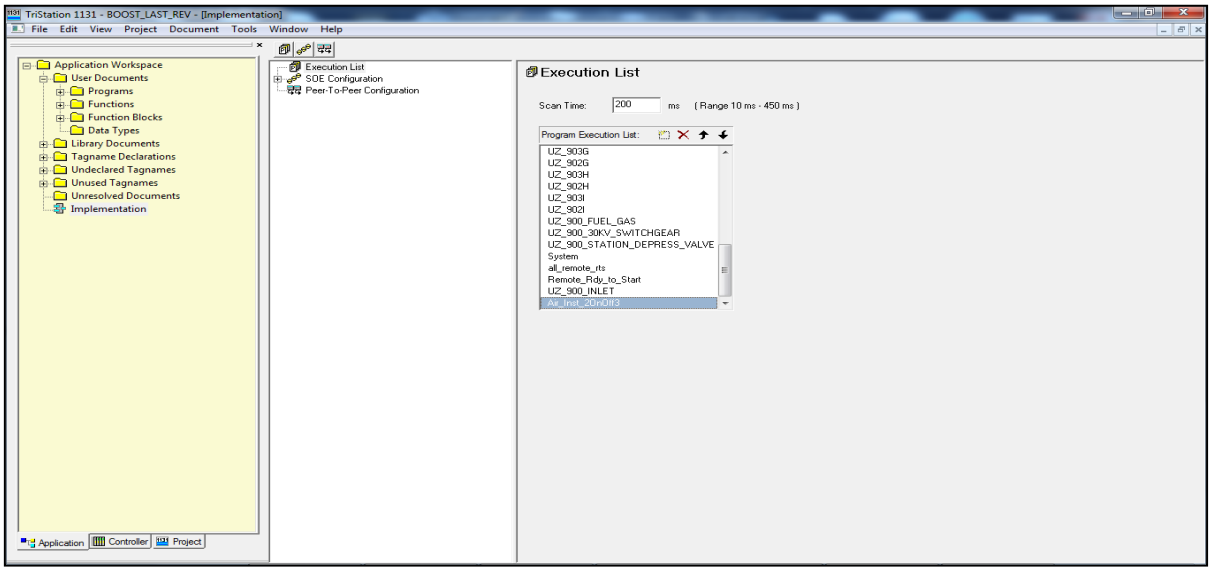


Fig.V.14 : Implémentation du programme

- Clique sur New puis sélectionner le nom du programme dans la liste.

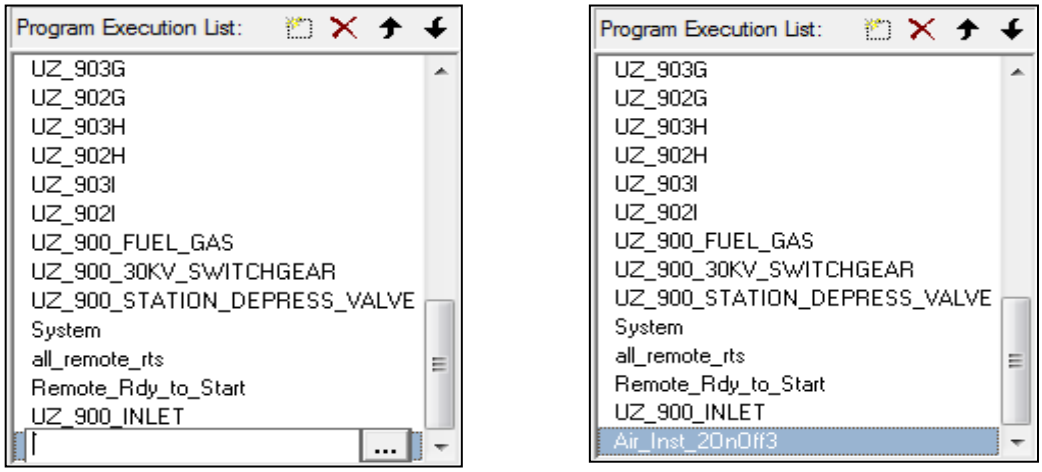


Fig.V.15 : Recherche et sélection du programme à exécuter

V.6. Résultats de la simulation du programme global 2oo3 :

Après l'implémentation du programme on peut le simuler avec **Emulateur panel.**

- Dans l'index Controller, sélectionner Emulateur Panel.

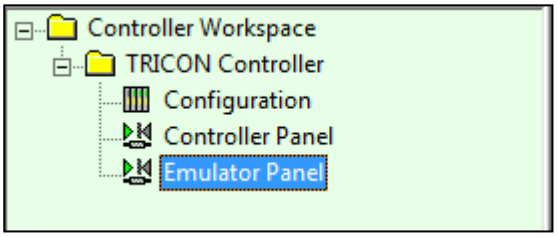


Fig.V.16 : Emulation du programme

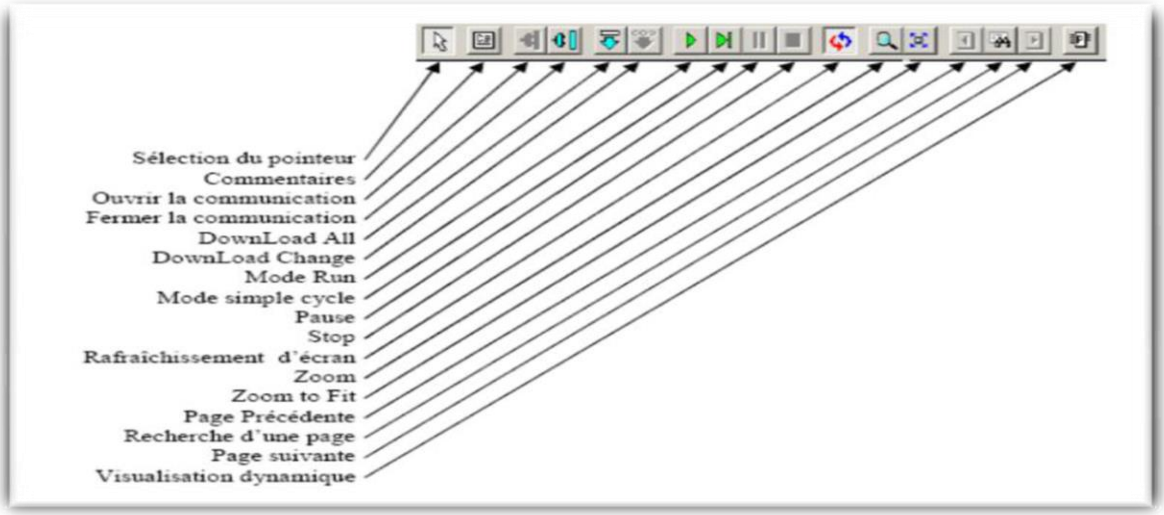
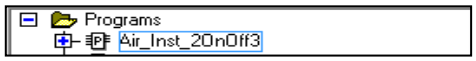


Fig.V.17 : Barre d'outils des panneaux du contrôleur et de l'émulateur

- Ouvrir la communication entre la TriStation et l'émulateur.
- Charger le projet dans l'émulateur.
- Démarrer l'application.
- Sélectionner le programme.



- Ouvrir la visualisation dynamique.
- Double cliquer sur une entrée pour en changer l'état.
- Taper True ou 1 à la place de False et Confirmer.

Les résultats de simulation obtenus comme suit :

1) L'état normal :

Lorsque la pression de l'air instrument est normale, le signal de sortie du bloc de déclenchement de l'arrêt de la station SBC est rouge, et aucune alarme n'est générée. Cependant, si l'un des trois transmetteurs présente une déviation, fournit une valeur erronée ou est défaillant, une alarme est activée (alarme déviation ou défaut capteur), et le signal de déclenchement n'est pas émis, car la logique 2oo3 n'est pas validée.

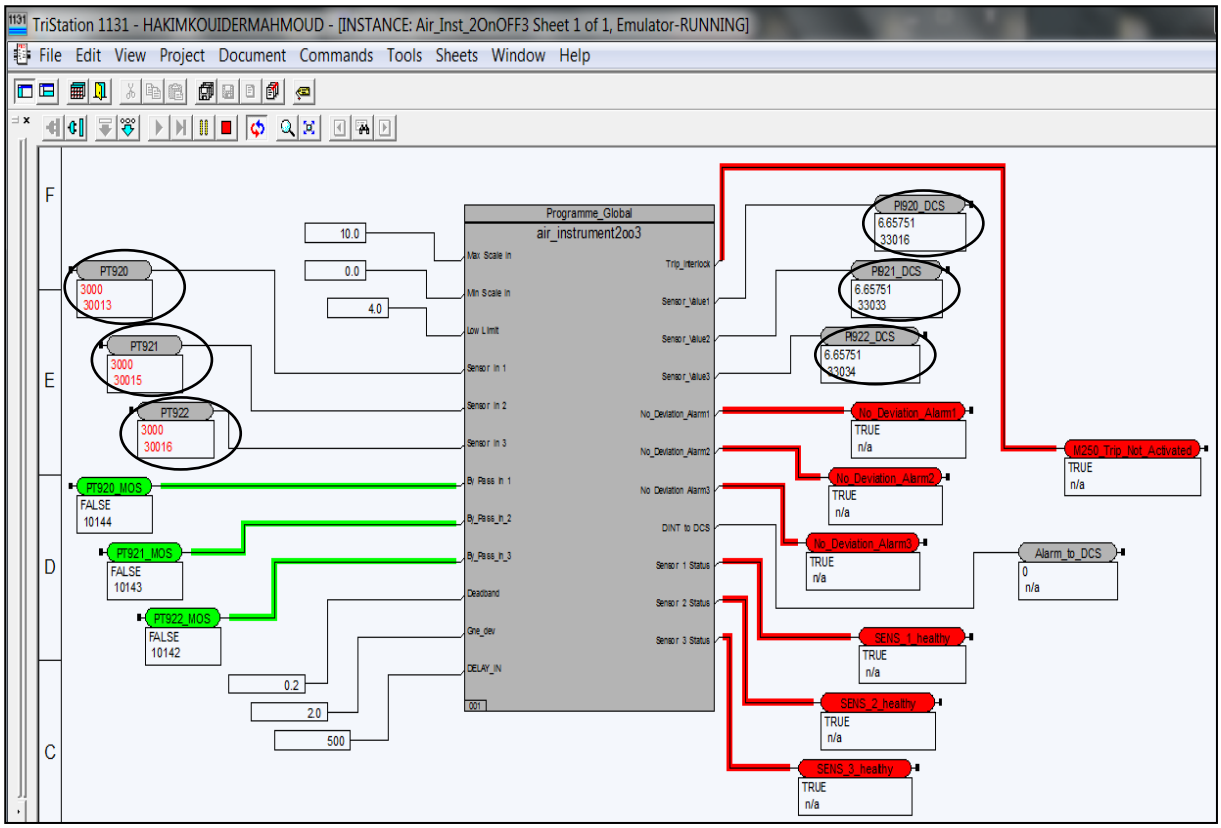


Fig.V.18 : Représentation du programme en fonctionnement normale.

2) L'état de déviation :

lorsque l'écart de la pression atteint ou dépasse 2 bar, le transmetteur présentant cette déviation sera identifié à l'activation de l'alarme de déviation correspondante. Par exemple, si le transmetteur PT921 est dévié par rapport aux autres, l'alarme deviation2 sera alors activée.

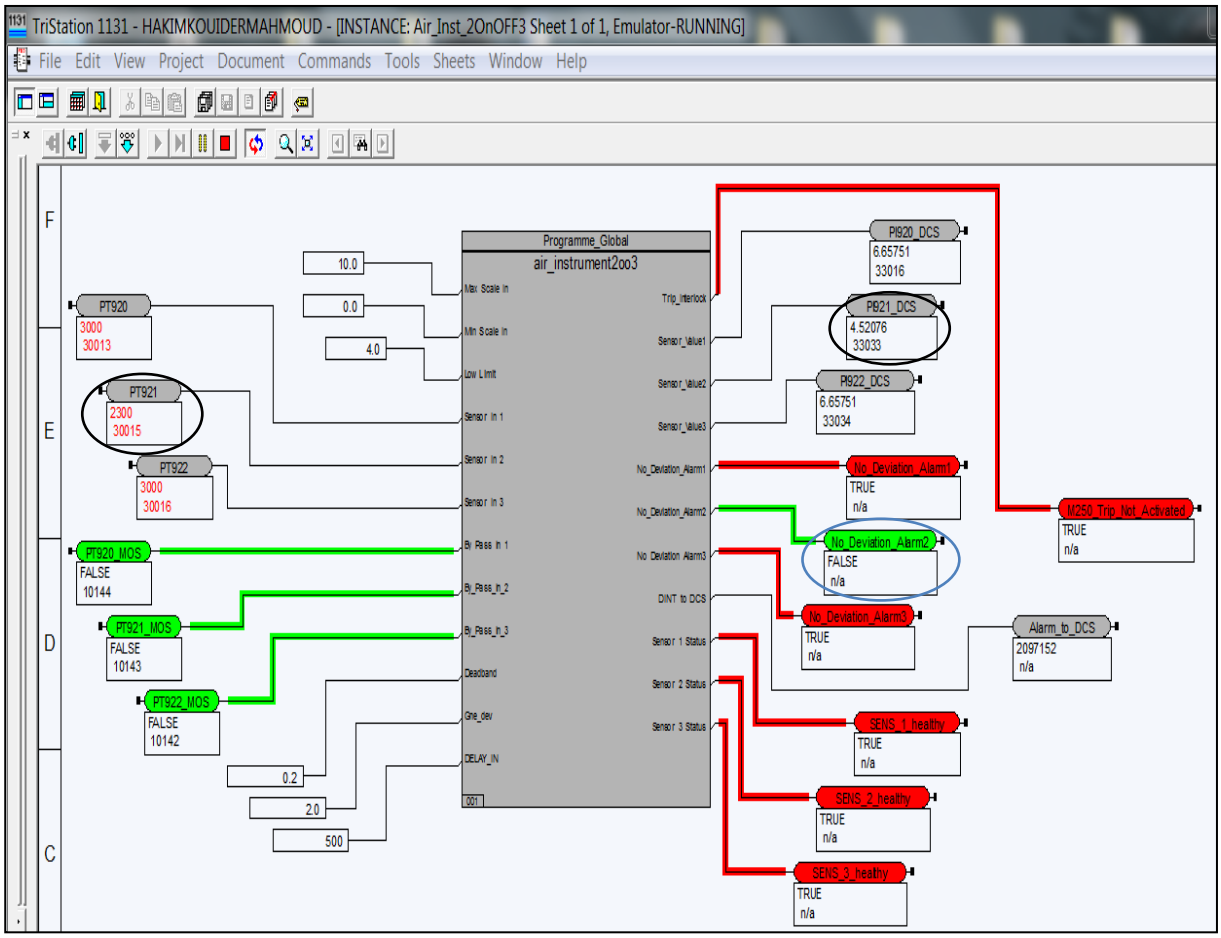


Fig.V.19 : Représentation du programme en état de déviation

3) Les états de déclenchement du facteur de chute de pression de l'air instrument :

❖ **3.1 L'état de déclenchement en cas de basse pression réelle :**

Lorsque la pression chute en dessous de 4 bar et que cette faible valeur est détectée par deux transmetteurs ou plus, le signal PSLL (M250) est généré, ce qui entraîne l'arrêt de l'unité SBC (affichée en vert dans le simulateur). Une alarme correspondante est également affichée sur le système DCS. L'arrêt de la station SBC est déclenché après un délai de 5 secondes, si la pression mesurée reste inférieure à 4 bar sur au moins deux transmetteurs.

.

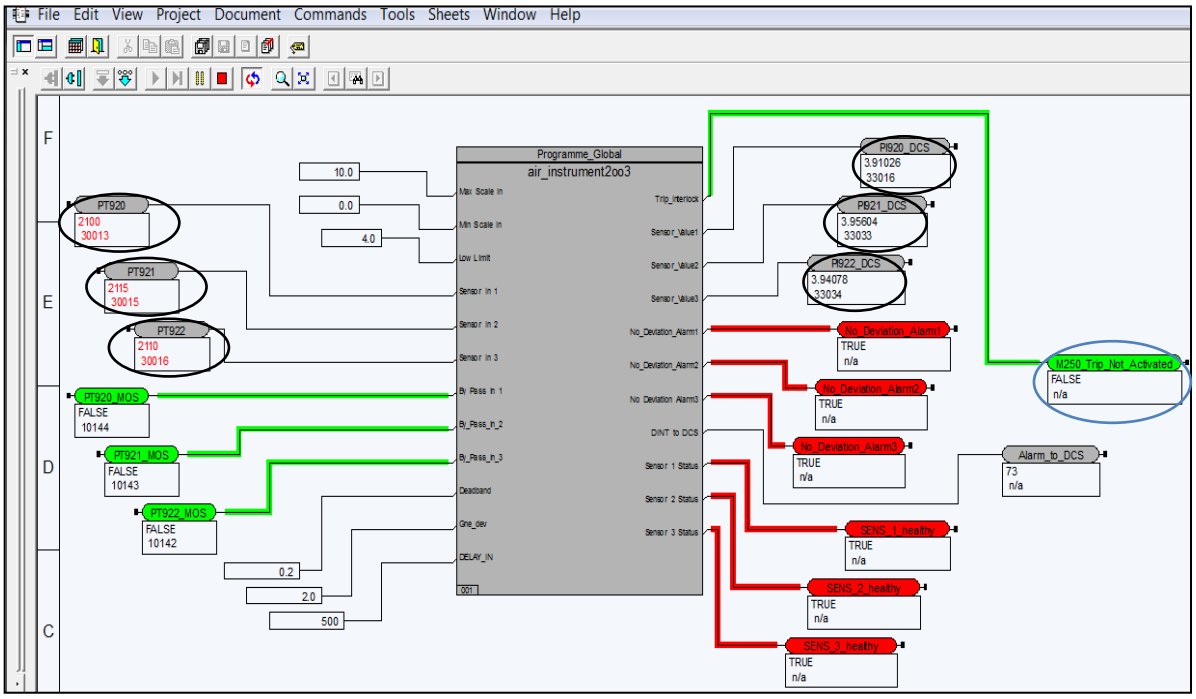


Fig.V.20 : Représentation du programme en cas de chute de pression de l'air instrument

❖ 3.2 L'état de déclenchement en cas de hors échelle des transmetteurs :

Si deux transmetteurs présentent un problème comme un court-circuit ou un fil coupé, ou un défaut interne du transmetteur, ils deviennent hors échelle (valeur en dehors de la plage de 0 à 10). Un arrêt de la station SBC est alors déclenché par le single M250 à cause de la défaillance de deux transmetteurs, et les alarmes SENS1 et SENS3 sont activées.

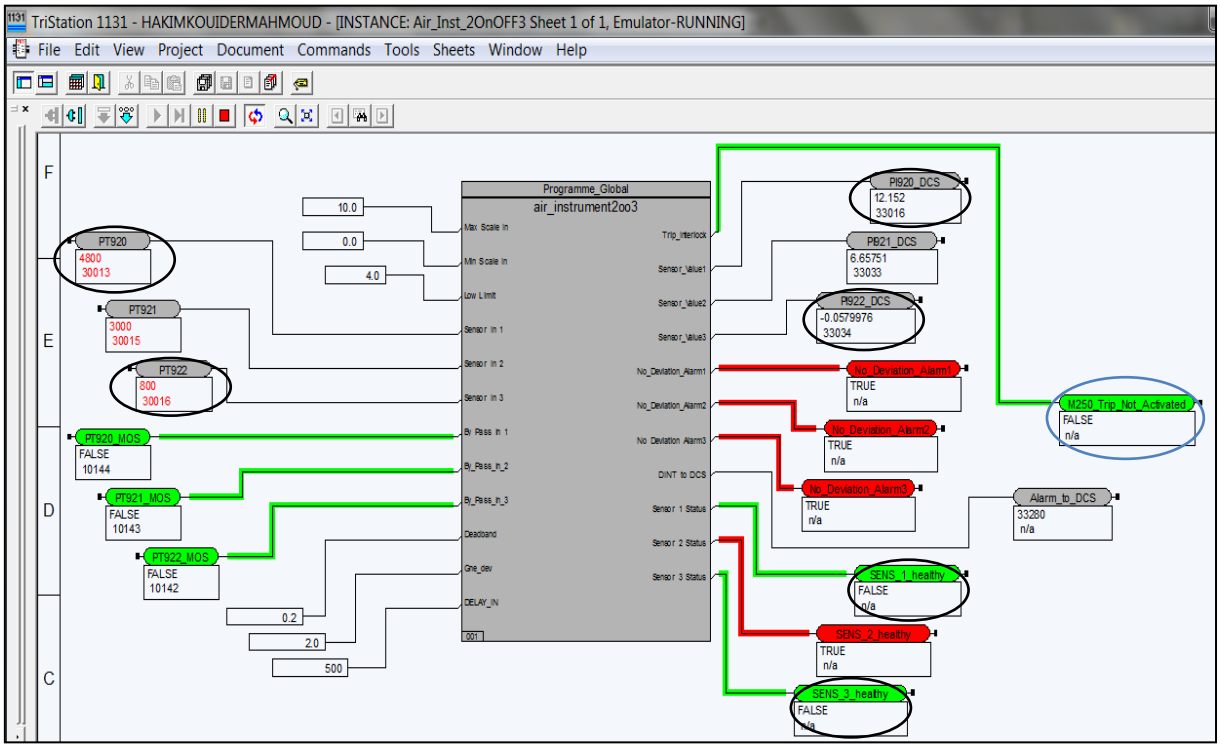


Fig.V.21 : Vue du programme en cas de dépassement de la plage des transmetteurs

4) L'état du by-pass manuel (MOS) du transmetteur en défaut :

En cas de problème avec un transmetteur, afin d'éviter l'arrêt de la station SBC, il est possible de procéder au "by-pass" du transmetteur défectueux en utilisant le commutateur MOS (Manuel Override Switch). Cette opération permet de maintenir une valeur stable dans le système en contournant temporairement le transmetteur défectueux, garantissant ainsi la continuité du fonctionnement global, notamment dans les boucles de régulation ou de sécurité.

Par exemple, si le transmetteur PT922 présente une anomalie, le "by-pass" est appliqué par le commutateur MOS pour éviter toute perturbation dans le système, prévenir le déclenchement d'alarmes ou l'activation d'un arrêt d'urgence (ESD). Après avoir effectué les réparations nécessaires, on désactive le by-pass et on rétablit le signal normal du transmetteur.

les figures (Fig.V.20/21) ci dessous comparent l'état du transmetteur PT922 en défaut avant et après la mise en by-pass (MOS)

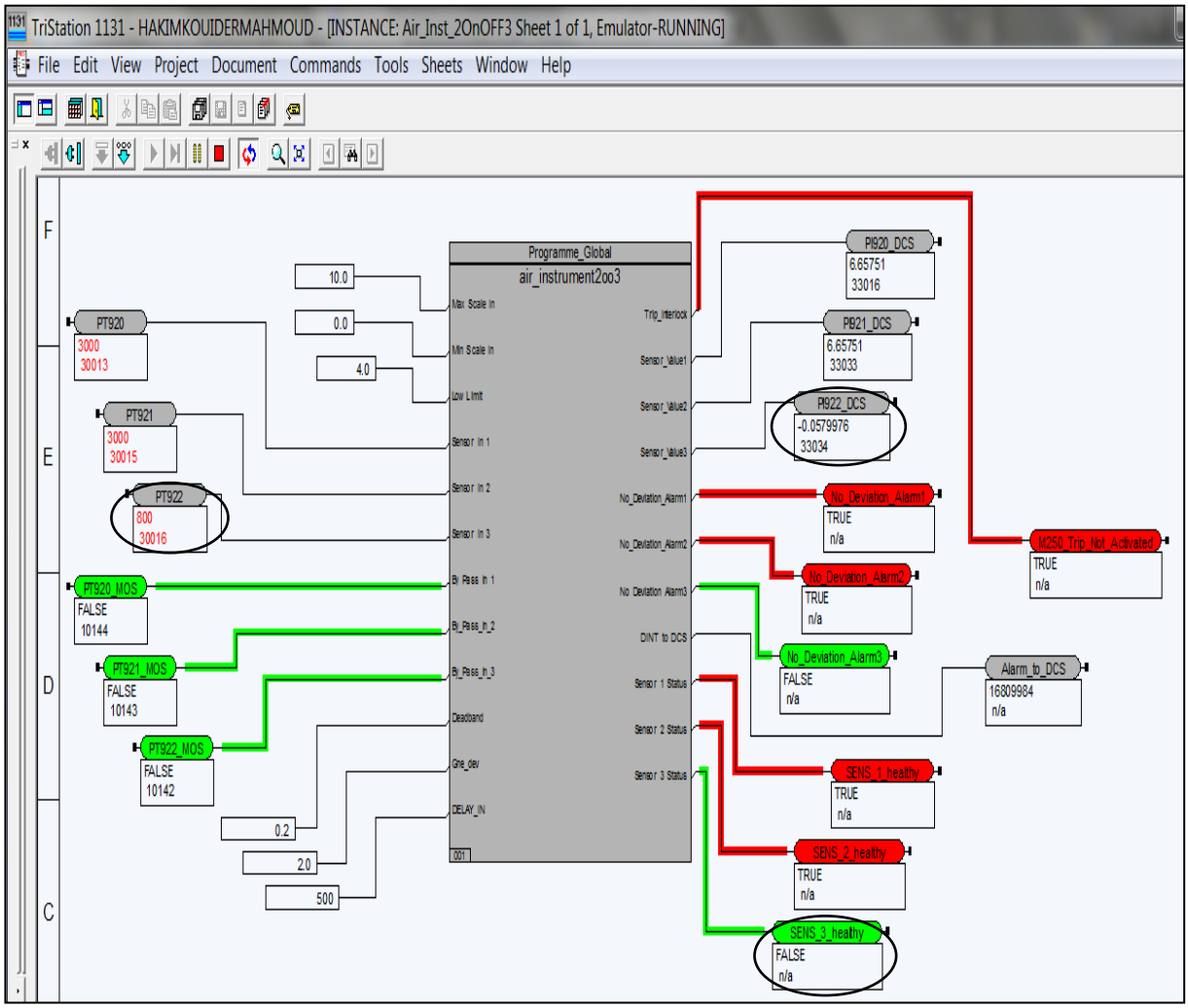


Fig.V.22 : L'état du transmetteur en défaut PT922 avant l'activation du by-pass (MOS)

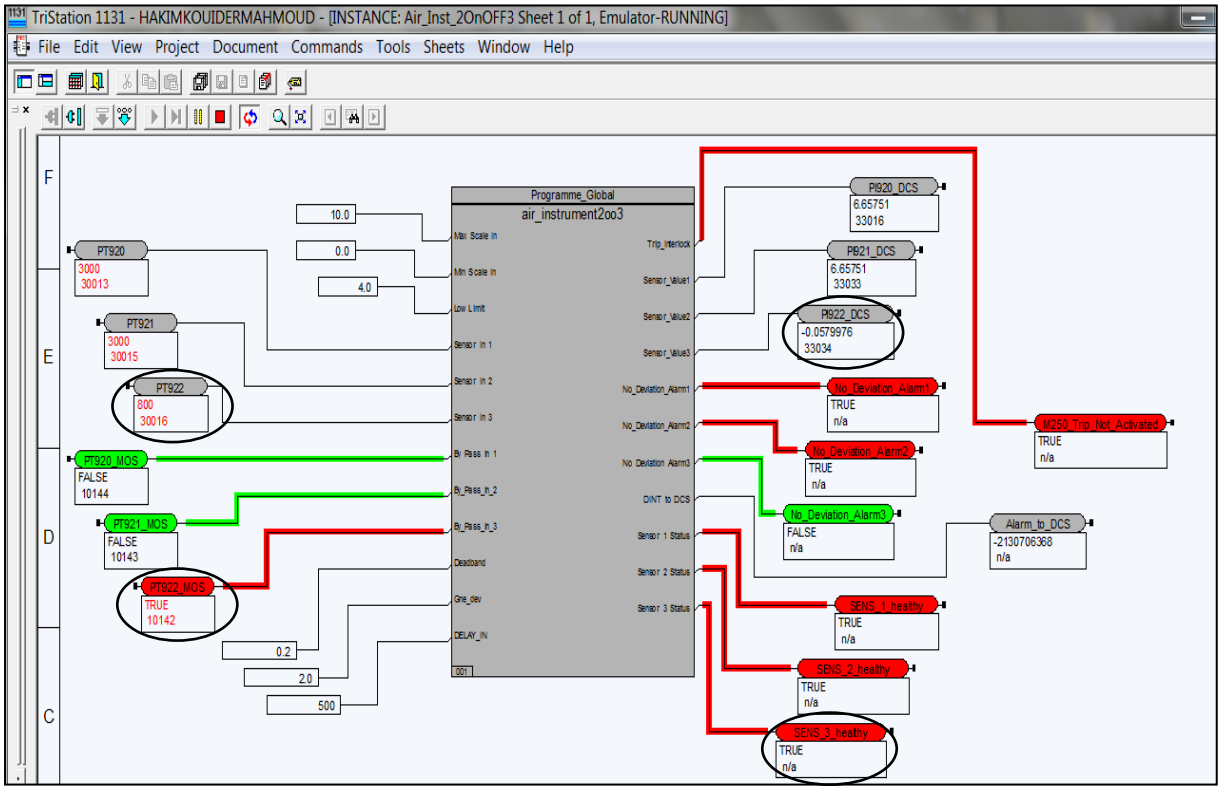


Fig.V.23 : L'état du transmetteur en défaut PT922 après l'activation du by-pass (MOS)

V.7. Chargement du programme dans le PLC Tricon :

Après la vérification du programme réalisé par l'émulateur on peut le charger dans l'automate Triconex.

- Dans l'onglet **Controller,** on va sélectionner **Controller Panel.**

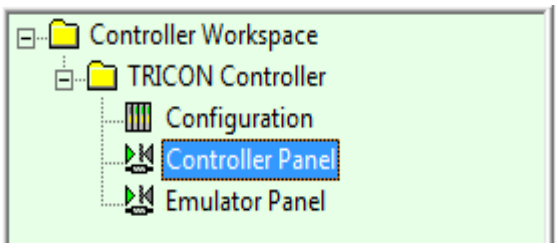


Fig.V.24 : Chargement du programme dans le PLC

- Assurer la connexion directe entre le PC TriStation (Carte adaptateur réseau avec un connecteur BNC) et le connecteur BNC (NET2) situé la carte de communication ACM de PLC Tricon par un câble coaxiale de 10Base2.
- Ouvrir la communication entre la TriStation et le PLC.
- La visualisation dynamique et le changement d'état des différents points dans le PLC est identique à celle dans l'émulateur.

V.8. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons pu réaliser notre programme de vote 2oo3 correspondant à la nouvelle architecture de contrôle proposée pour la détection de chute de pression de l'air instrumenté, en utilisant le logiciel de programmation TriStation 1131.

Les différentes étapes de programmation ont été présentées et appliquées pour créer notre programme, que nous avons ensuite simulé à l'aide de l'émulateur intégré dans TriStation 1131. Le fonctionnement normal du programme observé lors de la visualisation dynamique dans l'émulateur nous a permis de le valider et de le charger dans l'automate Tricon en suivant la procédure décrite à la fin de ce chapitre.

Conclusion générale

Conclusion générale

À travers ce mémoire, nous avons pu étudier et analyser le système d'arrêt d'urgence (ESD) de la station SBC, relevant du champ gazier de Hassi R'mel, en mettant l'accent sur un point faible majeur : la dépendance du système à un unique transmetteur de pression (PT-920) pour la surveillance de la pression de l'air instrument. Cette dépendance constitue un risque important pouvant entraîner un arrêt brutal et non planifié de l'unité de production à cause d'une lecture erronée, engendrant ainsi des pertes économiques considérables.

Au cours de notre période de travail sur le site, nous avons acquis une expérience pratique et approfondie dans la gestion et le fonctionnement des systèmes industriels avancés, notamment les systèmes de contrôle et de supervision tels que Triconex, MARK V, MARK VI, et DCS Foxboro. Nous avons également eu l'opportunité de collaborer avec les équipes de maintenance et d'exploitation, ce qui nous a permis de mieux comprendre les exigences réelles en matière de sécurité et de fiabilité.

Sur la base de ces observations, nous avons conçu et proposé une nouvelle architecture de surveillance de la pression de l'air instrument, basée sur trois transmetteurs intégrés dans une logique de vote 2oo3, afin de réduire le risque de défaillance et d'augmenter le niveau de sécurité. Cette solution a été simulée et testée à l'aide du logiciel TriStation 1131, et les résultats ont démontré une amélioration notable de la fiabilité du système tout en assurant un bon compromis entre sécurité et disponibilité.

Ce projet a été présenté aux responsables de la société SONATRACH, qui l'ont accepté initialement comme une proposition technique viable pour une future mise en œuvre, en raison de son apport positif à la fiabilité de l'exploitation et à la qualité de la production.

Nous espérons que ce projet contribuera à l'amélioration de la fiabilité des systèmes industriels, au soutien des efforts de modernisation technologique dans le secteur énergétique national, et qu'il constituera une avancée concrète vers une culture renforcée de la sécurité industrielle et de l'innovation technique au sein des installations de SONATRACH.

Références bibliographiques

[1] BP. (2024). Statistical Review of World Energy 2024.https://www.bp.com/en/global.

[2] BOUHERAOUA, Ryma. Étude de l'unité de régénération de glycol PK_420 et automatisation du démarrage par un automate programmable industriel "TRICONEX". Mémoire de fin d'études, Université de Tizi Ouzou, Faculté de Génie Électrique et de l'Informatique, Département d'Électronique, 2009-2010.

[3] AMROUNI, Sofiane. (2011). Étude de la régulation de vitesse de l'arbre BP d'une turbine à gaz de type MS5002C avec le système de commande Speedtronic Mark VI [Mémoire de fin d'études, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Département d'Automatique]. SONATRACH, Hassi R'mel, Algérie.

[4] SONATRACH – Département Instrumentation & Automatisation. (2006). Manuel opératoire SBC [Document interne, PDF]. Hassi R'mel, Algérie.

[5] GASMI, Djaafar & GUENDOUZ, Yasser. (2019). Étude de fiabilité d'une turbine à gaz MS5002C [Mémoire de Master, Université Yahia Farès de Médéa, Faculté de Technologie, Filière Électromécanique, Spécialité Mécatronique]. Algérie.

[6] MEHENNI, W. & HAMAIMI, L. (2016*)*. Étude technologique et énergétique d'un compresseur centrifuge BCL606 [Mémoire de fin d'études de Master, Université Kasdi Merbah – Ouargla, Faculté des Hydrocarbures, des Énergies Renouvelables et des Sciences de la Terre et de l'Univers, Département de Forage et de Mécanique des Chantiers Pétroliers, Spécialité Hydrocarbure, Option Mécanique des Chantiers Pétroliers]. Algérie.

[7] SONATRACH – Département Instrumentation & Automatisation. (2006). Documentation technique interne sur les systèmes de contrôle et de sécurité industrielle utilisés à la station SBC (DCS, Triconex, SCADA, ESD, Mark V/VI) [Document interne, PDF]. Hassi R'mel, Algérie.

[8] Wikipédia. (n.d.). Automate programmable industriel. Disponible sur : https://fr.wikipedia.org/wiki/Automate_programmable_industriel.

[9] U.S. Nuclear Regulatory Commission. (2009). Programmable Logic Controllers (PLCs) in Nuclear Power Plants (Rapport NUREG/CR-7006). Consulté à l'adresse : https://www.nrc.gov/docs/ml0932/ml093290420.pdf

[10] HADJAZ, Fatma. (2016). Systèmes automatiques de sécurité dans les procédés industriels. Mise en œuvre sur un four industriel par API Triconex [Mémoire de fin d'études, Université M'Hamed Bougara-Boumerdès, Faculté des Hydrocarbures et de la Chimie, Filière : Automatisation des procédés industriels, Option : Commande automatique]. Algérie.

[11] Invensys Systems, Inc. (2006). Technical Product Guide: Tricon Systems (Réf. 9791007-013). U.S. Nuclear Regulatory Commission. Disponible sur : https://www.nrc.gov/docs/ml0932/ml093290424.pdf

[12] SONATRACH – Département Instrumentation et Automatisation. (2006). Guide d'installation du système Triconex à la station SBC. Document technique, Hassi R'mel, Algérie.

[13] Invensys Systems, Inc. (2006). TriStation 1131 v4.1 – Logiciel de programmation pour systèmes Triconex. U.S. Nuclear Regulatory Commission. Disponible sur : https://www.nrc.gov/docs/ml0932/ml093290419.pdf

[14] MAMAR, Abderrahmane. (2011). Automatisation du fonctionnement d'un four industriel par un automate programmable industriel "TRICONEX" [Mémoire de fin d'études, Université Mouloud MAMMERI, Tizi-Ouzou, Faculté de Génie Électrique et d'Informatique, Département d'Automatique]. Préparé au complexe de traitement du gaz naturel de Hassi R'mel, Algérie.

[15] Sonatrach. (2023). Rapport Annuel 2022. Consulté sur https://sonatrach.com/wp-content/uploads/2023/08/RAPPORT-ANNUEL-2022-FR.pdf.