REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de **T**echnologie

Département du **G**énie **E**lectrique

Mémoire de fin d'études de Master en

Filière : Électronique

Spécialité : Instrumentation

Thème

Étude et Réalisation d'une Boucle de Régulation au Niveau du Compresseur 520-k-001 pour assurer l'alimentation en Azote en cas de défaillance de l'unité U810 de la Raffinerie d'Alger de Sonatrach

Présentés par :

AZIZI HICHEM

METIDJI ABDELHADI

Proposés et Dirigés par :

M.	KARA REDA	Docteur	à Univ-MEDEA	Encadreur
M.	ZEBOUDJ OMAR	Ingénieur	à Sonatrach	Co-Encadreur

Promotion 2025


بسم الله الرحمن الرحيم

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

À mes chers parents, que Dieu les protège.

Vous êtes mon pilier et mon soutien tout au long de ma vie.

Je vous dédie ce travail avec toute ma gratitude et tout mon amour.

À mes frères,

Vous avez, de près ou de loin, contribué à ma formation. Je vous adresse mes meilleurs vœux de réussite dans vos études et dans votre vie.

À mon cher grand-père,

Je prie Dieu de te donner une guérison rapide, et de t'accorder la santé et une longue vie, ta présence avec nous est un bonheur irremplaçable.

À toute ma famille,

Vous m'avez soutenu(e) et aidé(e) quand j'en avais besoin.

À tous mes amis et collègues de cette promotion qui contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire,

Merci pour les bons moments partagés, je vous adresse mes plus sincères remerciements.

AZIZI HICHEM

Dédicace

Je tiens à dédier ce mémoire :

À mon cher père, dont la présence à mes côtés est un précieux soutien.
Que Dieu lui accorde santé, bonheur et longue vie.

À ma chère Maman qui m'a soutenu de toutes les manières possibles
et m'a encouragé durant ces années d'études.

À mon frère, et mes sœurs qui ont toujours cru en moi et m'ont poussé à faire
mon possible pour réussir.

À tous mes amis et mes collègues sans exception pour leur soutien infinis et
leurs encouragements.

À toute personne qui occupe une place dans mon cœur.

METIDJI ABDELHADI

Remerciements

Avant tout, Nous remercions le tout puissant ALLAH de M'avoir donné le courage, la patience et la force durant toutes ces années d'études et que grâce à lui ce travail a peut-être réalisé.

Nous tenons à remercier chaleureusement notre encadrant « M. Kara Reda » d'avoir accepté de nous guider tout au long de ce projet et de nous avoir prodigué de précieux conseils.

Nous sommes reconnaissants envers notre Co-encadrant, « M. Zebboudj Omar », L'ingénieur d'instrumentation chez SONATRACH pour nous avoir formés au notre projet. Nous le remercions également pour ses conseils et les ressources qu'il a mises à notre disposition.

Un très grand remerciement de notre part à notre cher ami « M. Yahiaoui Adlane », instrumentiste chez SONATRACH, pour son aide précieuse et ses conseils avisés tout au long de notre période de stage.

Nos sincères remerciements à l'ensemble du personnel de service instrumentation pour leur aide et leur sympathie durant la période de notre projet.

Nous exprimons nos sincères remerciements aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'évaluer notre travail et de l'enrichir par leurs commentaires.

Nos grands remerciements vont aussi, à nos chers parents pour leur soutien, leur confiance, leur compréhension et leur encouragement et pour leurs prières qui Aidez-nous à accomplir ce travail.

Enfin, nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail. Merci à toutes et à tous.

Résumé

ملخص:

الهدف من هذه الاطروحة هو دراسة وتحقيق حلقة أوتوماتيكية على مستوى **الضاغط 520-k-001** لضمان إمدادات النيتروجين في حالة فشل **الوحدة U810** في **مصفاة الجزائر RA1G** ببراقي، و من خلال نهج هندسي حددنا القضايا الحرجة المتعلقة بعزل الضاغط والتي هي أمر حيوي لمنع تسرب الهيدروجين وضمان سلامة العمليات الصناعية.

تم اقتراح حل عن طريق تركيب إطار من أسطوانات النيتروجين كمصدر إمداد احتياطي للحفاظ على إمدادات النيتروجين للضاغط ، تمت محاكاة هذا الحل باستخدام **برنامج SIMATIC STEP 7**، وأظهرت النتائج فعالية الحل المنفذ .

بفضل هذا العمل، لم نقم فقط بتعزيز موثوقية الضاغط، بل ساهمنا أيضا في تحسين عمليات الإنتاج، وهو أمر بالغ الأهمية في بيئة ديناميكية مثل بيئة مصفاة الجزائر.

الكلمات المفتاحية: مصفاة الجزائر RA1G, الضاغط 520-k-001, الوحدة U810, برنامج SIMATIC STEP 7.

Résumé :

L’objectif de ce mémoire est d’étudier et réaliser d’une boucle automatique au niveau du **compresseur 520-k-001** pour garantir l'alimentation en azote en cas de défaillance de **l'unité U810** au niveau de la **Raffinerie d'Alger RA1G** de Baraki, et à travers une approche méthodique, nous avons identifié les enjeux critiques liés à l'étanchéité du compresseur qui est vitale pour prévenir les fuites d'hydrogène et assurer la sécurité des opérations industrielle.

Une solution a été proposée en installant un cadre de bouteilles d’azote comme source d’alimentation de secours pour maintenir l’alimentation en azote du compresseur, cette solution a été simulée à l’aide du **logiciel SIMATIC STEP 7**, et les résultats montré l'efficacité de la solution mise en œuvre.

Grâce à ce travail, nous avons non seulement renforcé la fiabilité du compresseur, mais également contribué à l'amélioration des processus de production, ce qui est crucial dans un environnement aussi dynamique que celui de la raffinerie d’Alger.

Mots-clés: Raffinerie d'Alger RA1G, compresseur 520-k-001, l'unité U810, logiciel SIMATIC STEP 7.

Abstract :

The objective of this thesis is to study and implement an automatic control loop on **compressor 520-K-001** to ensure the continuous supply of nitrogen in the event of a failure of **Unit U810** at the **Algiers Refinery RA1G** in Baraki.

Through a systematic approach, we identified critical challenges related to the compressor's sealing system, which is essential to prevent hydrogen leaks and ensure the safety of industrial operations.

A backup solution was proposed by installing a rack of nitrogen cylinders as an alternative nitrogen supply source for the compressor. This solution was simulated using **SIMATIC STEP 7 software**, and the results demonstrated its effectiveness.

This work not only improved the reliability of the compressor but also contributed to the optimization of production processes, which is crucial in a dynamic environment such as the Algiers refinery.

Keywords: Algiers Refinery RA1G, Compressor 520-K-001, Unit U810, SIMATIC STEP 7 software.

Sommaire

Table des matières

Dédicace

Remerciements

Résumé

Liste des abréviations

Liste des Figures

Liste des Tableaux

Introduction Générale : 1

Chapitre I : Présentation de la raffinerie D'Alger (RA1G)

I .1 Introduction : 4

I .2 Présentation de la Raffinerie : 4

I .2.1 Les ateliers principaux de la Raffinerie d'Alger : 5

I .2.2 Les unités existantes de la Raffinerie d'Alger : 5

I .2.2.1 Unité de distillation atmosphérique U100 : 5

I .2.2.2 Une unité de séparation du gaz liquide U300 « GAS PLANT » : 5

I .2.2.3 Unités MS-Block : 5

I .2.2.4 Unité de conversion de résidu type RFCC : 6

I .2.2.5 Block d'unité Soufre : 6

I .2.2.6 Station de traitement des effluents (ETP), de type biologique : 6

I .2.2.7 Unité de mélange : 6

I .2.2.8 Rampe de chargement : 6

I .2.2.9 Salle de contrôle : 6

I .2.2.10 Le laboratoire : 7

I .2.2.11 La centrale thermoélectrique : 7

I .2.2.12 La pomperie : 7

I .2.2.13 Atelier de maintenance : 7

I .2.2.14 Parc de stockage : 7

I .2.3 Les produits finis de la Raffinerie d'Alger : 7

I .3 Situation géographique de la Raffinerie : 9

I .4 Réhabilitation de la raffinerie d'Alger : 10

I .5 L'organigramme principales de la raffinerie d'Alger : 10

I .5.1 Sous-direction Exploitation : 10
I .5.2 Sous-direction maintenance : 14
I .5.3 Sous-direction technique : 14
I .5.4 Sous-direction sécurité : 15
I .6 Conclusion : 15

Chapitre II : L'instrumentation industrielle & la régulation automatique

II .1 Introduction : 17
II .2 Le rôle d'instrumentation : 17
II .2.1 Les capteurs : 18
II .2.2 Les Transmetteurs : 18
II .2.3 Les Grandeurs Physiques : 19
II 2.3.1 Mesure de Température : 19
II 2.3.2 Mesure de Débit: 23
II 2.3.3 Mesure de niveau : 26
II 2.3.4 Mesure de pression : 29
II .2.4 Les vannes : 30
II .2.4.1 Électrovannes tout ou rien (TOR) : 30
II .2.4.2 Vanne de régulation : 31
II .3 La Régulation automatique : 32
II .4 Les Type de boucle de régulation : 32
II .5 Conclusion : 35

Chapitre III : solution proposée & Automatisme

III .1 Introduction : 37
III .2 Utilisation de l'azote dans l'industrie pétrolière : 37
III .3 But de notre étude: 38
III .4 Présentation de la solution : 38
III .5 Approche en instrumentation : 38
- Explication du schéma P&ID : 38

III .6 Choix des composants et leur Rôle : 40
III .7 Automate programmable industriel (API) : 43
III .7.1 Historique : 44
III .7.2 Définition d'un API : 44
III .7.3 Les avantages des API : 44

III .7.4 Architecture des API : 45
III .7.5 Critères de choix d'un automate : 48
III .8 Les API SIEMENS: 48
III .8.1 La Sélection de l'automate : 49
III .8.2 Le SIMATIC S7-300 : 49
III .8.3 Description du S7-300 : 49
III .9 La programmation des automates programmables (API) : 51
III .10 Communications avec l'API : 52
➢ Réseaux de communication : 52
III .11 Conclusion : 54

Chapitre IV : Implémentation & Programmation

IV .1 Introduction : 56
IV .2 Rappel de la problématique et la solution proposée : 56
IV .3 Explication détaillée de la solution : 56
IV .4 Logiciel SIMATIC STEP7 : 58
IV .4.1 Création d'un nouveau : 59
IV .4.2 Configuration matérielle : 62
IV .4.3 Table de mnémoniques : 63
IV .5 Validation du programme de conduite : 64
IV .6 Structure de notre programme : 65
A) Type de programme utilisé : 65
B) Blocs utilisés dans notre programme : 65
IV .7 Programme : 66
IV .7.1 Programme mise à l'échelle des transmetteurs : 66
IV .7.2 Programme de vote 2oo3 – Déclenchement de sécurité : 69
IV .7.3 Programme d'alarme et de trip du compresseur : 72
IV .7.4 programmes de Régulation de pression : 74
IV .8 Conclusion : 75
Conclusion Générale : 77
Références bibliographiques

LISTE DES ABRÉVIATIONS

API : Automates Programmables Industriels.

ATEX : Atmosphères Explosibles.

CPU : Central Processing Unit. (Unité centrale).

CP : Communication Processor (module de communication).

DCS : Distributed Control System.

IM : Interface Module.

MPI : Multi Point Interface.

P&ID : Piping and Instrumentation Diagram.

PCV : Pressure Control Valve (régulateur de pression).

PIC : Pressure Indicating Controller (régulateur indicateur de pression).

PG : Pressure Gauge (manomètre).

PS : Power Supply (alimentation).

PT : Pressure Tansmetter (transmetteur de pression).

PV : Control Valve (vanne de régulation).

RTD : Resistance Température Detector.

SM : Signal Modules.

TOR : Tout ou Rien.

XV : eXternal Valve (vanne on/off).

LISTE DES FIGURES

Chapitre I :	
Figure I .1 : Photo prise de la raffinerie d'Alger (RA1G)	
Figure I .2 : Produits finis de la raffinerie d'Alger	
Figure I .3 : Schéma générale de traitement du pétrole brut	
Figure I .4 : Vue aérienne par Google Earth présentant l'emplacement de la raffinerie d'Alger	
Chapitre II :	
Figure II .1 : Les grandeurs physiques à contrôler	
Figure II .2 : le rôle de capteur	
Figure II .3 : le rôle de transmetteur	
Figure II .4 : thermomètre a base du bilame	
Figure II .5 : exemple de thermomètre a dilation de liquide en verre	
Figure II .6 : schémas descriptifs de PT100	
Figure II .7 : schémas descriptifs de thermocouple	
Figure II .8 : Exemple de débitmètre à section variable	
Figure II .9 : mesure de débit par différence de pression	
Figure II .10 : les type de débitmètre a pression différentielle	
Figure II .11 : Principe de fonctionnement d'un débitmètre à ultrasons	
Figure II .12 : Principe et environnement d'un niveau a glace	
Figure II .13 : mesure sur une capacité à pression atmosphérique	
Figure II .14 : mesure de niveau par cellule de pression	
Figure II .15 : mesure de niveau par tube de torsion	
Figure II .16 : Tube de bourdon	
Figure II .17 : Vanne de régulation à simple siège	

Figure II .18 : Une régulation en boucle fermée	
Figure II .19 : Une régulation en cascade	
Figure II .20 : Une régulation de température en cascade	
Figure II .21 : La régulation de pression avec méthode split range	
Chapitre III :	
Figure III .1 : schéma P&ID de la solution	
Figure III .2 : branchement de cadre d'azote au terrain	
Figure III .3 : régulateur de pression utiliser (Détendeur)	
Figure III .4 : Automate compact (LOGO)	
Figure III .5 : Automate modulaire (Modicon)	
Figure III .6 : Structure externe d'un API	
Figure III .7 : Structure interne d'un API	
Figure III .8 : Présentation des modèles du S7-300	
Figure III .9 : Protocoles de réseaux industriels	
Chapitre IV :	
Figure IV .1 : schéma globale de la solution	
Figure IV .2 : schéma P&ID de la solution	
Figure IV .3 : Applications disponibles dans STEP7	
Figure IV .4 : les deux solutions possibles pour la programmation	
Figure IV .5 : Assistant de STEP 7 : ‘nouveau projet’	
Figure IV .6 : Choix du nom et de l'emplacement du projet	
Figure IV .7 : Fenêtre de choix de station utilisé	
Figure IV .8 : L’application HW config pour commencer la configuration matérielle	
Figure IV .9 : Configuration matérielle du projet	

Figure IV .10 : Table de mnémoniques	
Figure IV .11 : Le simulateur S7 PLCSIM	
Figure IV .12 : la structure du notre programme	
Figure IV .13 : Mise en échelle de la pression comprise entre 0 et 8 bar (transmetteurde régulation).	
Figure IV .14 : Bloc fonctionnel du AI_FB	
Figure IV .15 : programme échelle de transmetteur	
Figure IV .16 : Mise en échelle de la pression des transmetteurs de sécurite	
Figure IV .17 : Logique de vote 2oo3 - Déclenchement de sécurité	
Figure IV .18 : Bloc fonctionnel de la gestion d'alarme	
Figure IV .19: Bloc fonctionnel de la gestion de trip	
Figure IV .20 : Programme d'alarme et de trip du compresseur	
Figure IV .21 : programme de Régulation de pression	

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre II :	
Tableau II .1 : tableau qui représente Principaux thermocouple et plages d'utilisation	
Tableau IV .1 : Représente les types de blocs de programme	

Introduction Générale

Introduction Générale :

Les entreprises pétrolières doivent adopter les technologies de production les plus avancées pour que ne pas perdre leur position de leader sur le marché. L'automatisation à l'aide de systèmes et d'appareils sophistiqués est nécessaire à cause de l'énorme complexité des opérations dans ce secteur.

L'automate programmable industriel (A.P.I) est aujourd'hui le constituant le plus répondu pour réaliser des automatismes dans l'industrie car il répond à des besoins d'adaptation et de flexibilité pour un grand nombre d'opérations. Cette émergence est due en grande partie, à la puissance de son environnement de développement et aux larges possibilités d'interconnexions.

Un exemple concret de cette révolution technologique se trouve dans le secteur pétrolier, où les entreprises algériennes sont particulièrement actives dans l'acquisition de solutions d'automatisme pour leurs lignes de production. À cet égard, SIEMENS est une firme reconnue pour sa compétitivité dans l'approvisionnement de ce type de service industriel.

Pour notre projet de fin d'étude, on a effectué un stage pratique au sein de la Société Nationale pour la Recherche, la Production, le Transport, la Transformation et la Commercialisation des Hydrocarbures (SONATRACH) exactement la Raffinerie d'Alger de Baraki, Cette dernière est reconnue comme un acteur essentiel de l'industrie pétrolière à l'échelle africaine.

Notre travail consiste à automatiser une source d'alimentation de secours en azote pour un compresseur à l'aide d'un automate programmable industriel S7-300.

Problématique :

Dans la raffinerie d'Alger l'unité U810 est la seule source d'alimentation en azote pour l'unité de production de MS BLOC, qui équipée d'un compresseur centrifuge 520-k-001. L'étanchéité du compresseur est assurée par l'azote pour éviter toute fuite d'hydrogène.

En cas de défaillance de l'unité U810, l'approvisionnement en azote est coupé, entraînant l'arrêt du compresseur et par conséquent, l'arrêt de l'unité MS BLOC.

Comment peut garantir une alimentation fiable et stable en azote pour assurer la bonne étanchéité du compresseur afin de garantir le fonctionnement continu de MS-BLOC **?**

Pour résoudre ce problème, nous avons d'étudier le fonctionnement exact du compresseur 520-k-001 qui nécessite une alimentation constante en azote.

Par conséquent, nous proposons dans ce travail une solution pratique en installant un cadre de bouteilles d'azote comme source d'alimentation de secours pour maintenir l'alimentation en azote du compresseur, cette solution a été simulée à l'aide du logiciel SIMATIC STEP 7, et les résultats ont montré son efficacité.

Ce mémoire qui est organisé comme en quatre chapitres :

- **Chapitre I**, est consacré à la présentation de la raffinerie d'Alger (RA1G).
- **Chapitre II**, ou nous permettra de décrire l'instrumentation industrielle et la régulation automatique.
- **Chapitre III**, ou nous détaillerons la Solutions proposées avec son système Automatisé.
- **Chapitre IV**, sera pour l'occasion de décrire en détail les résultats de notre solution.

Enfin, la conclusion nous permettra de résumer l'ensemble des travaux réalisés.

CHAPITRE I :

Présentation de la raffinerie D'Alger (RA1G)

I .1 Introduction :

Une raffinerie est conçue pour traiter le pétrole brut. Elle peut être simple ou complexe, constituée de plusieurs unités de traitement.

L'Algérie est l'un de ces pays producteurs de pétrole. Elle fait partie de l'OPEP, elle dispose de Cinq (05) raffineries : la raffinerie d'Alger, de HASSI MESSOUD, d'ARZEW, de SKIKDA, et enfin la Raffinerie d'In Amenas (RIA). Elles sont gérées par SONATRACH Activité Aval Division Raffinage [1].

I .2 Présentation de la Raffinerie :

La raffinerie d'Alger est une raffinerie de pétrole construite en 1964, puis réhabilitée depuis 2019 pour atteindre une capacité de traitement de pétrole brut d'environ 3,645 millions tonnes/an. La réhabilitation a permis une augmentation de la capacité de traitement de 35%, la maximisation de production des essences, du kérosène et du gasoil grâce à de nouvelles unités de traitement s'appuyant sur des technologies de pointe. Ainsi et surtout la production des essences de qualité, conforme aux spécifications Euro-2009 [2].



Figure 1. I : Photo prise de la raffinerie d'Alger (RA1G) [3].

I .2.1 Les ateliers principaux de la Raffinerie d'Alger :

La Raffinerie d'Alger est constituée de plusieurs ateliers qui sont : [2]

- Centrale thermoélectrique pour la production des utilités (électricité, vapeur, air, eau traitée).
- Un parc de stockage pour les produits finis et semi-finis.
- Des ateliers d'entretien (mécanique, tuyauterie chaudronnerie, électricité contrôle et Instrumentation).
- Un laboratoire de contrôle de qualité des produits (pour la conformité)
- Une salle de contrôle.

I .2.2 Les unités existantes de la Raffinerie d'Alger :

La raffinerie d'Alger comporte les unités principales suivantes : [4]

I .2.2.1 Unité de distillation atmosphérique U100 :

C'est l'unité mère de la raffinerie qui permet de séparer et fractionner le pétrole brut en ses différentes dérivées, à savoir :

• Les hydrocarbures légers, contenant des gaz incondensables, du butane et du propane.

• L'essence légère, entrant dans la constitution de carburantes autos.

• Les solvants légers et lourds.

• Le Kérosène fournissant les produits commerciaux, pétrole lam

• Le gas-oil lourd, entrant dans la construction des fuels légers.

• Le fuel destiné à l'exportation,

I .2.2.2 Une unité de séparation du gaz liquide U300 « GAS PLANT » :

C'est l'unité de traitement des gaz (gaz-plant), elle a pour but la séparation du propane et butane venant de l'unité 100 et RFCC afin de les stocker et commercialiser.

I .2.2.3 Unités MS-Block :

Pour la production des essences aux normes européennes EURO V (2009) comprenant:

• Une unité de prétraitement de la charge Naphta de 1 123 810 Tonnes/an (30 000 bbl/jour), commune aux deux unités d'Isomérisation et de CCR (Continuous Catalytic Reforming),

• Une unité d'isomérisation de naphta léger, sous licence AXENS, de 375 000 Tonnes/an (10 643 bbl/jour),

• Un Reforming type CCR, sous licence AXENS, de 660 000 T/An

* Remarque :

Cette unité est équipée d'un compresseur centrifuge d'hydrogène (H2) de marque GE qui constitue un élément essentiel pour la compression de l'hydrogène a des pressions élevées, afin que l'unité puisse l'utiliser dans ses processus industriels.

I .2.2.4 Unité de conversion de résidu type RFCC :

Sous la licence UOP, de 1 000 000 T/an, pour augmenter la production d'essences et de Gas Oil, GPL.

I .2.2.5 Block d'unité Soufre :

• Désulfuration

• Production de soufre a état solide

I .2.2.6 Station de traitement des effluents (ETP), de type biologique :

• Traitement des effluents

• Traitement des eaux usées

I .2.2.7 Unité de mélange :

C'est une unité où se fait l'Ethylation qui est une opération d'addition du PTE (plomb tetraéthyle) au mélange constitué de plat format et de l'essence légère pour obtenir des essences normale et super.

I .2.2.8 Rampe de chargement :

Qui permet d'expédier le butane et le propane vers les dépôts (Naftal).

I .2.2.9 Salle de contrôle :

Le nombre important d'appareils de mesure équipant une unité de raffinage a conduit à la nécessité de concentrer dans une salle de contrôle toutes les informations nécessaires à la bonne marche de l'unité (température, pression, débits, contrôles des vannes…etc.).

I .2.2.10 Le laboratoire :

La raffinerie possède un laboratoire de contrôle où sont effectuées les analyses sur les différents produits intermédiaires ou finis.

I .2.2.11 La centrale thermoélectrique :

Son rôle principal est la production de l'énergie électrique à partir de la vapeur d'eau produite par les chaudières, et ce grâce à un dispositif appelé « Turbo alternateur », qui est un générateur d'électricité, constitué d'une turbine à vapeur et d'un alternateur d'une puissance de 6MW.

I .2.2.12 La pomperie :

• Port pétrolier d'Alger.

• L'aéroport Houari Boumediene.

• Les dépôts de carburant : Caroubier, El Harrach et la Chiffa.

I .2.2.13 Atelier de maintenance :

Dans cet atelier, l'équipe de maintenance est chargée pour réparer les équipements de différentes unités tel que : pompes, échangeurs, vannes, moteurs, etc.

I .2.2.14 Parc de stockage :

La raffinerie d'Alger est dotée d'une ancienne et nouveaux parcs pour les produits de Stockage

I .2.3 Les produits finis de la Raffinerie d'Alger :

Le but de la raffinerie est de continuer à assurer la couverture des besoins de produit en première nécessité, ainsi que les divers produits pour l'industrie pétrolière. La raffinerie a une gamme variée de produits qui répondent aux normes nationales et internationales qui sont : [5]

- Essence normale et super.
- Butane et propane commerciaux.
- Naphta (30% essence SR+70% solvant total).
- Gas-oil.
- Jet (kérosène).
- Fuel-lourd.

La figure suivante montre les produits de la raffinerie d'Alger (**Figure I .3**) :

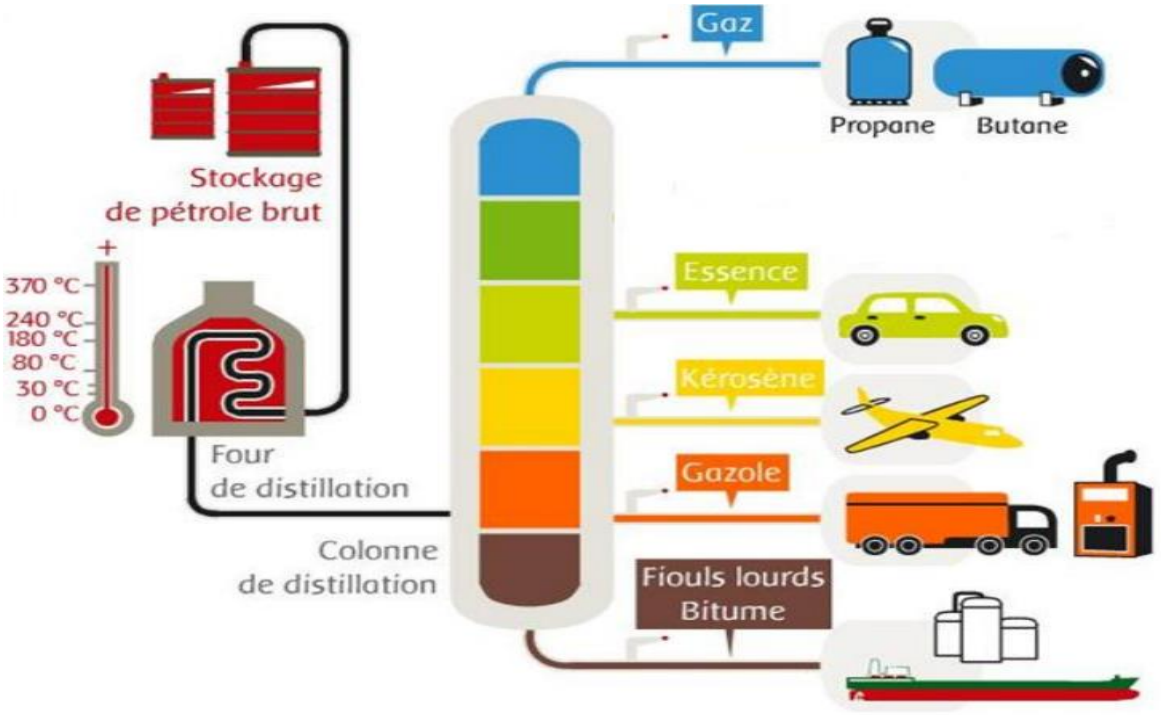


Figure I/ .4 : Produits finis de la raffinerie d'Alger [5].

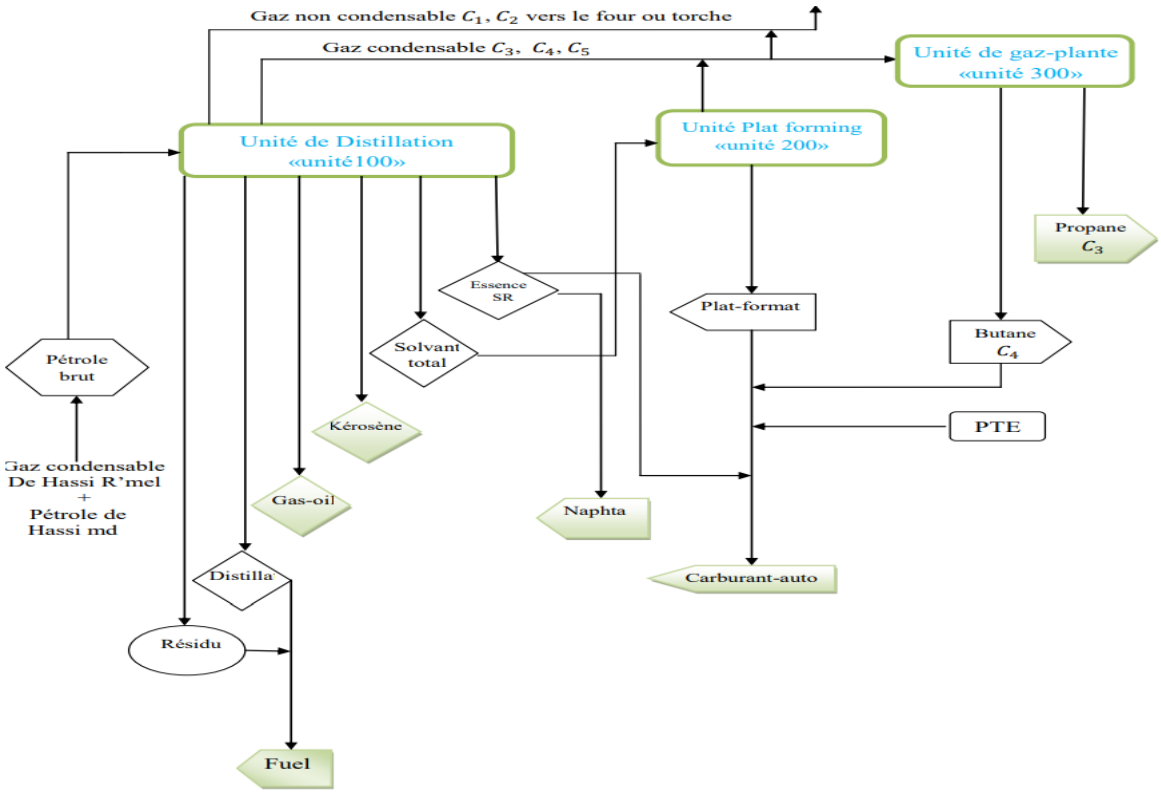


Figure I .3 : Schéma générale de traitement du pétrole brut [9].

I .3 Situation géographique de la Raffinerie :

Le choix géographique de la raffinerie a été bien étudié après une étude du sol et la découverte d'une nappe d'eau qui lui permet une alimentation en continue des systèmes de refroidissements [6].

La raffinerie d'Alger se situe au nord du pays plus précisément au centre à Sidi Arcine Baraki à 5 km au sud de la ville d'El-Harrach et à 20 Km à l'est d'Alger, à une altitude de 20 mètres, elle prend une surface de 182 Hectares. Elle a l'avantage d'être dans le plus grand centre de consommation. L'alimentation se fait directement de HASSI MESSOUD au moyen d'un piquage à BENI MANSOUR jusqu'à la RAFFINERIE D'ALGER [7].



Figure I .4 : Vue aérienne par Google Earth présentant l'emplacement de la raffinerie d'Alger [8].

I .4 Réhabilitation de la raffinerie d'Alger :

Au cœur du territoire national se trouve la raffinerie d'Alger, opérationnelle depuis 1964 avec une capacité de production de 1.6 mmtpa de pétrole brut par an en provenance de Hassi Messaoud étendue à 2.7 mmtpa depuis 1970 [5].

Conscient des défis majeurs à venir, notamment en raison de la demande croissante en produits raffinés, de l'évolution des spécifications des carburants (essence et diesel), ainsi que des exigences en matière de santé, sécurité et protection de l'environnement, le groupe SONATRACH a élaboré un programme de réhabilitation, de remise à niveau et de modernisation des équipements de ses raffineries. Ce programme vise à : Augmenter la capacité de production de 35%, passant de 2,7 à 3,645 millions de tonnes par an, aussi, parmi les résultats de cette opération, nous pouvons mentionner les points suivants :

- Augmenter la capacité de stockage de la raffinerie avec l'ajout de 54 nouveaux bacs de stockage.
- Remplacer l'unité de reforming existante par une nouvelle unité.
- Installer une nouvelle unité de prétraitement et de fractionnement de naphta (NHT et isomérisation).
- Installer une unité de traitement du fuel (RFCC).
- Mettre en place une unité d'adoucissement et de séparation des GPL
- Moderniser toutes les utilités.
- Installer un système de traitement et de récupération du soufre.
- Installer une unité de traitement des effluents liquides issus des différentes activités

I .5 L'organigramme principales de la raffinerie d'Alger :

I .5.1 Sous-direction Exploitation :

1. Département ADU Stockage et expédition (P1) :

- **Unité 100 (ADU) :** Distillation atmosphérique

Le pétrole brut est chauffé et séparé en différentes fractions selon leurs points d'ébullition à pression atmosphérique, ce qui permet d'extraire les produits suivants : GPL Kyro , naphta , gasoil, fuel, résidu.

- **Unité 200 :** platforming (reforming catalytique)

Cette unité a pour l'objectif d'augmenter l'indice d'octane du mélenge solvant léger – solvant lourd par les réaction catalytique pour obtenir a la sortie le plat-format destiné a la fabrication d'essences.

- **Unité 300 :** Traitement des gaz

L'unité 300 est une installation de traitement des gaz. Elle réceptionne les gaz et élimine ceux dont l'utilisation commerciale n'est pas rentable par séparation. Cette unité est conçue pour traiter les produits provenant de l'unité de distillation (unité 100) et produire du propane et du butane commercialisables.

- **Unité Stockage :**

Les bacs de stockage sont les réservoirs ou l'on entrepose le pétrole brut et les produit finis avant leur expédition, Ces réservoirs jouent un rôle crucial dans la gestion des stocks et la distribution des produits pétroliers.

- **Unité Expédition :**

Tous les produits résultants de toutes les Unités sont envoyés à l'expédition (Stock). Le rôle de cette unité est de surveiller le mouvement des bacs, assuré la réception de pétrole Brut et expédition des produits pétroliers vers les dépôts, incluant le port pétrolier d'Alger, le dépôt Chiffa (Blida)., le dépôt Harrach et l'aéroport d'Alger.

2. Département MS block (P2) :

- **Unité 505 :** Commun MS BLOCK
- **Unité 500 :** Hydrotraitement du Naphta total :

Supprimer les impuretés du naphta pour produire des charges propres pour les unités CCR et ISOM

- **Unité 510 :** Isomérisation des Naphta léger :

L'objectif de cette unité est d'augmenter l'indice d'octane de l'essence.

- **Unité 520 :** Reformage du Naphta lourd :

L'objectif de ce procédé est d'augmenter la production des aromatiques, il se divise en 4 sections :

- Section de réaction de reforming catalytique,
- Section absorption.
- Section de stabilisation et de récupération des GPL,
- Section de regeneration du catalyseur

3. Département RFCC (P3) :

- **Unité 535 :** C'est la partie Commun de RFCC BLOCK
- **Unité 530 :** Craquage catalytique du fluide résiduel :

L'unité de craquage catalytique de fluide résiduel (RFCC) a pour objectif de transformer la fraction de résidu atmosphérique provenant de l'unité ADU (unité 100) en hydrocarbures plus légers et à plus haute valeur ajoutée. Ce processus se déroule à des températures élevées et sous une pression modérée, en présence d'un catalyseur à base de silice/alumine finement divisée.

- **Unité 600 MEROX (Procédé mercaptan oxydation) :**

Le but de cette unité est de diminuer la teneur en soufre dans le GPL, 2 étapes principales sont utilisées dans cette unité pour atteindre cet objectif :

- Élimination de H2S : absorption par amine
- Élimination des mercaptans (l'élimination du soufre présent sous forme mercaptans) : absorption par la soude caustique.

- **Sulphure block :** ou on trouve ces unités
  - **Unité 560 : Traitement des FG aux Amines :** Réduit le H_2S dans les gaz acides par traitement aux amines.
  - **Unité 570 : Traitement d'eau acide :** Traite les eaux acides, recycle partiellement l'eau et alimente l'unité de récupération de soufre.
  - **Unité 580 : Régénération d'amine :** Régénère l'amine pour les unités de traitement du fuel gaz et MEROX.

- **Unité 590 : Récupération d'Amine :** Récupère le soufre élémentaire des flux de gaz acides pour réduire la pollution.
- **Unité 595 :** Commun SULPHUR BLOCK.

4. Département utilités (P4) :

Elles se divisent en trois services :

❖ **Utilités 1 :** Fournir de l'eau, de l'air, de l'azote, et d'autres produits chimiques nécessaires au fonctionnement des unités.

- **Unité 701 :** L'eau brute.
- **Unité 710 :** Tours de refroidissement (ancienne).
- **Unité 711 :** Tours de refroidissement (nouvelle).
- **Unité 781 :** Production de l'air comprimé (air service et air instrumentation).
- **Unité 720 :** Déminéralisation de l'eau et traitement des condensats (nouvelle).
- **Unité 780 :** Déminéralisation de l'eau et traitement des condensats (ancienne).
- **Unité 810 :** Production d'azote.
- **Unité 741 :** Eau anti incendie.
- **Unité 703 :** Eau potable.
- **Unité 840 :** Préparation des produits chimiques (Noah, Hcl)

❖ **Utilités 2 :** Le rôle principal de ce service est :

- **Unité 751 production d'énergie 1 : GTG (Gas Turbine Génération) :**

La production de l'électricité a différente tension, moyenne tension (MT), basse tension (BT) et très basse tension (TBT) tout ça a l'aide d'un groupe turboalternateur «turbine turboalternateur».

- **Unité 750 - 751 Chaudière :** La production de la vapeur d'eau
- **Unité 760 - 761 :** Approvisionnement en Gaz naturel

❖ **Unité 850 : Station de traitement des effluents :**

L'objectif de l'unité 850 au sein de la raffinerie d'Alger est le traitement de toutes les eaux usées générées par l'exploitation de la raffinerie. Les eaux usées sont collectées et traitées dans la nouvelle station de traitement des effluents (ETP). Les eaux usées passent par trois étapes principales ; traitement physique, chimique et biologique.

I .5.2 Sous-direction maintenance :

1. Département Maintenance : Ce département assure l'entretien et la maintenance des équipements, il est constitué de six services :

- **Service Mécanique**
- **Service Instrumentation**
- **Service Electricité**
- **Service Chaudronnerie**
- **Service Maintenance Industrielle (Logistique)**

2. Département Planning et méthodes :

- **Service Planning**
- **Service Préparation**
- **Service Préventive et Prédictive (Vibration)**

3. Département Approvisionnement :

- **Service Achats :** Il se compose divise en quatre sections ; Achat local, Achat étranger, Transit et Planification.
- **Service Gestion de stock :** Il se divise en trois sections ; Analyse, Inventaire et Codification.
- **Service Gestion matériels :** Il se divise en trois sections ; Pièces de rechanges, Produits chimiques et Investissement.

4. Département Travaux Neuf

- **Service Travaux Neuf**
- **Service Procurement**

I .5.3 Sous-direction technique :

1. Département Laboratoire :

- **Service Contrôle LABO**
- **Service Produits Finis**

2. Département Etudes et Engineering :

- **Service Etudes :** Études des problèmes et modifications nécessaires.
- **Service économie énergie**
- **Service SNCC :** c'est ou on gère tous les équipements à distance.

3. Département Inspection :

- **Service Inspection Equipements Statiques**
- **Service Inspection Laboratoire**
- **Service Inspection Machines Tournantes**

I .5.4 Sous-direction sécurité :

C'est la gestion des risques d'incendie et de sécurité 24h/24.

I .6 Conclusion :

Ce chapitre offre un aperçu complet de la raffinerie d'Alger, mettant en lumière sa situation géographique, ses ateliers principaux et ses différentes unités opérationnelles. Cette présentation met en avant les deux unités l'objet de notre étude. Le prochain chapitre sera quant à lui l'occasion pour nous de décrire l'instrumentation de mesure utilisée dans cette raffinerie.

CHAPITRE II :

L’instrumentation industrielle & la régulation automatique

II .1 Introduction :

L'instrumentation désigne le domaine technique qui englobe tous les instruments et équipements utilisés pour mesurer, surveiller et contrôler des paramètres physiques tels que la température, la pression, le débit, le niveau, la vitesse, la composition chimique, etc.et qui fournissent un signal proportionnel à la valeur de cette mesure. Ces appareils émettent des signaux normalisés que d'autres appareils peuvent utiliser aux fins d'information, d'alerte ou de commande automatique. De nombreux signaux normalisés sont utilisés dans les centrales (DCS), notamment les signaux électroniques variant entre 4 et 20 mA.

Dans ce chapitre, nous décrivons les appareils couramment utilisés pour la mesure de paramètres physiques et l'émission des signaux correspondants que nous avons trouvé durant notre stage au niveau de la raffinerie d'Alger. Nous nous intéressons à quatre paramètres principaux : la pression, le débit, le niveau et la température.

II .2 Le rôle d'instrumentation :

L'instrumentation est essentielle dans les installations de fabrication pour fournir des informations cruciales sur les conditions opérationnelles. Ces données incluent des grandeurs physiques telles que la pression, le débit, le niveau et la température, ainsi que des variables plus complexes comme les compositions chimiques, la densité, la viscosité et le pH. De plus, l'instrumentation assure la sécurité en alertant les opérateurs par des alarmes sonores et visuelles.

Pour collecter ces informations, l'utilisation de capteurs spécialisés est indispensable. Nous allons donc explorer comment ces données sont captées et quels types de capteurs sont utilisés pour chaque grandeur spécifique [2].

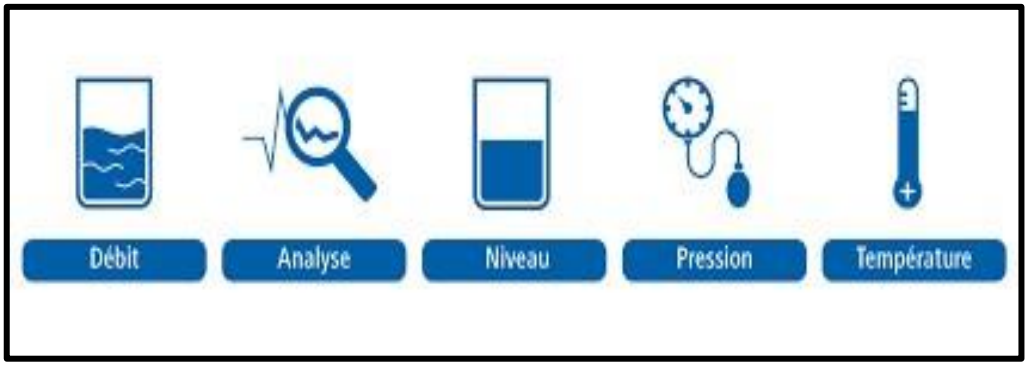


Figure II .2 : Les grandeurs physiques à contrôler

II .2.1 Les capteurs :

Un capteur est un dispositif qui convertit une grandeur physique, telle que la température en un signal exploitable, généralement sous forme électrique ou mécanique permettant la surveillance, l'analyse, ou le contrôle de systèmes [10].

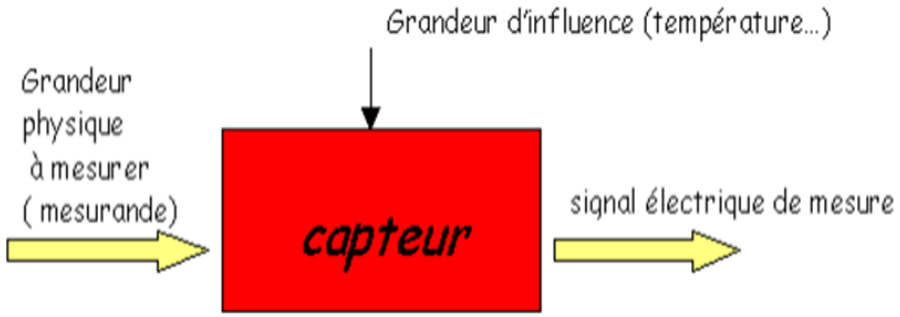


Figure II .2 : le rôle de capteur.

II .2.2 Les Transmetteurs :

Les transmetteurs sont des composants essentiels dans les systèmes industriels, chargés de convertir le signal de sortie des capteurs en un format standardisé de mesure un signal pneumatique 3-15 psi, électrique 4 – 20 MA ou numérique 1, 0 généralement. Leur rôle central est d'établir la liaison entre les capteurs qui recueillent les données et les systèmes de contrôle-commande ou d'acquisition de données [11].

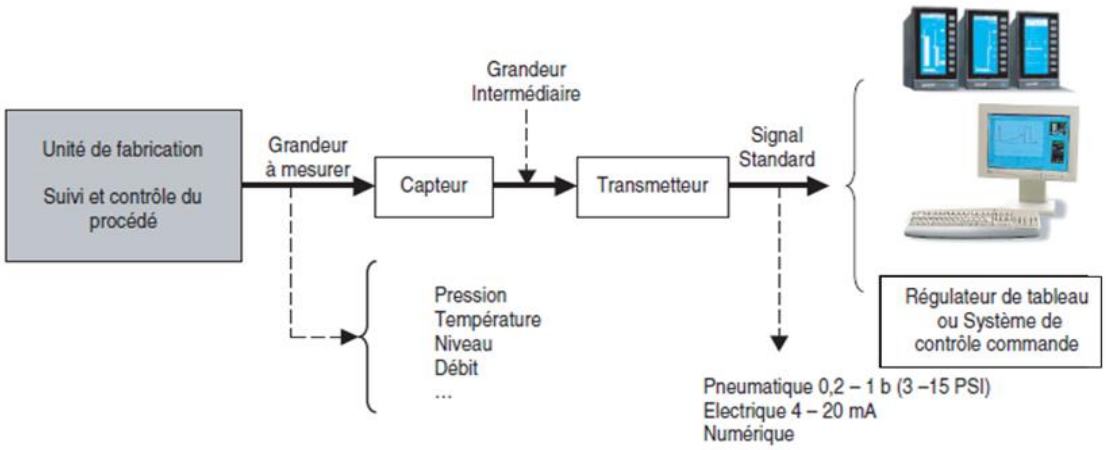


Figure II .3 : le rôle de transmetteur.

II .2.3 Les Grandeurs Physiques :

Il existe plusieurs grandeurs physiques importantes à la raffinerie d'Alger, telles que la température, la pression, le débit, le niveau, les vibrations, la vitesse, le déplacement et l'accélération. Cependant, dans cette mémoire, nous nous focaliserons uniquement sur quatre d'entre elles :

II 2.3.1 Mesure de Température :

La température peut être mesurée avec ou sans contact direct. Elle représente l'Energie de mouvement des molécules. Les appareils de mesure affichent généralement la température en degrés Celsius, bien que d'autres unités de mesure soient également disponibles.

Le thermomètre doit répondre aux critères suivants pour permettre une mesure efficace :

- Sensibilité suffisante.
- Temps de réponse court par rapport au temps de variation de la température à mesurer.

Différents types de thermomètres sont disponibles et installés dans les installations industrielles. Les mesures de température reposent le plus souvent soit sur les phénomènes de dilation thermique, soit sur la variation d'une grandeur électrique tension ou d'une résistance suivant le type d'appareil.

Pour des questions de maintenance, les thermomètres ne sont généralement jamais en contact direct avec le produit, mais montés dans un puit thermométrique.

❖ **Les thermomètres à dilatation**

➢ **À dilatation de solide, et à bilame :**

L'extrémité mobile du bilame est souvent reliée à une aiguille ou à un indicateur qui déplace une échelle graduée. Cela permet de lire directement la température correspondante a la déformation du bilame.

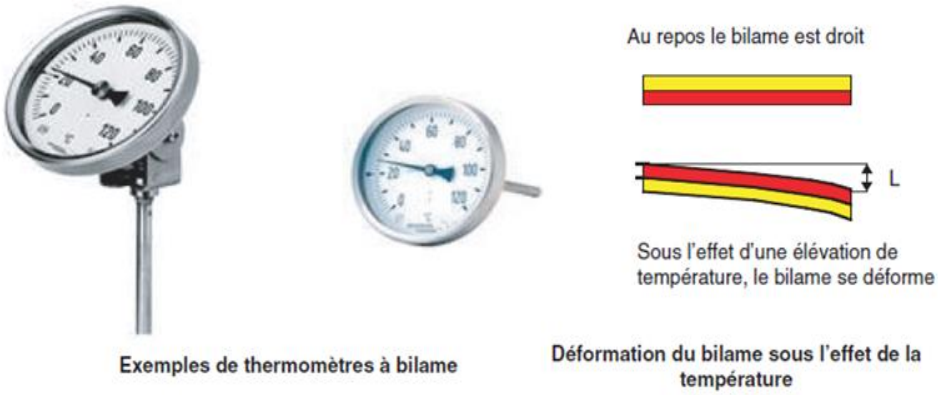


Figure II .4 : thermomètre a base du bilame [12].

- **Dilatation de liquide :**

Une variation de température entraîne la dilatation d'un liquide, qui peut alors monter ou descendre dans un tube capillaire. Le niveau du liquide dans le tube capillaire correspond à la valeur de la température mesurée.



Figure II .5 : exemple de thermomètre a dilation de liquide en verre [13].

- **Les thermomètres fournissant une grandeur de sortie électrique** :

Ces capteurs regroupent essentiellement les sondes à résistance de type Pt 100 et les thermocouples.

➢ Thermorésistante (RTD : Resistance température detector) :

La résistance d'un conducteur métallique augmente avec la température ; la variation étant faible, on insère ce composant dans un pont de Wheatstone. La sonde au platine Pt100 présentant une résistance de 100 Ω à 0 °C est très répandue car elle présente une grande gamme de mesure (-260 à 800 °C), une forte sensibilité et une linéarité excellente. Les thermo-résistances peuvent être raccordées avec 3 ou 4 fils suivant le niveau de précision de la mesure recherché [14].

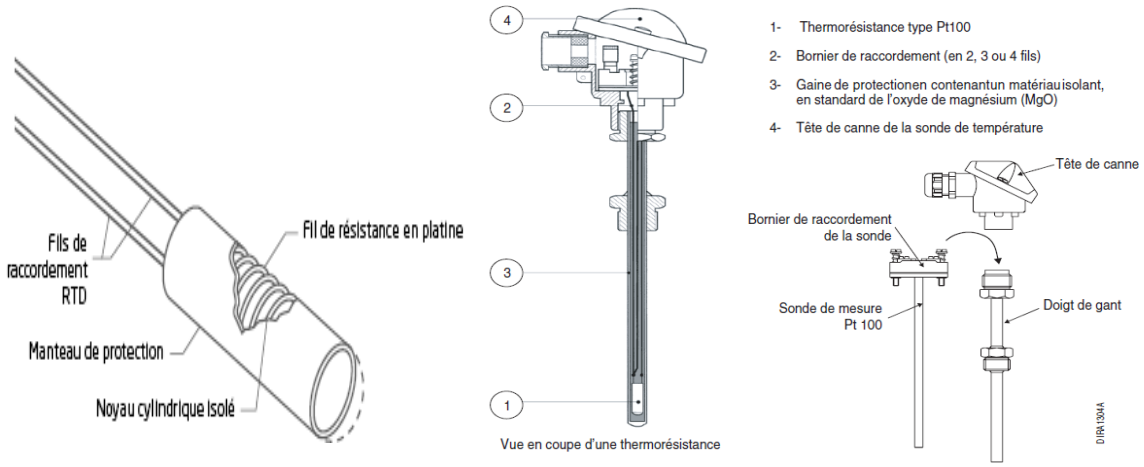


Figure II .6 : schémas descriptifs de PT100.

➢ Mesure de température par thermocouple :

Qui comportent deux bilames de natures différentes. Cette disparité de transmission de température génère une tension qui est ensuite convertie en une valeur de température. En général, les thermocouples se distinguent par plusieurs caractéristiques :

Ils sont spécialement conçus pour être utilisés dans des environnements exigeants, résistant ainsi aux vibrations, réputés pour leur capacité à fonctionner efficacement à des températures élevées.

Différents couples de métaux sont utilisés pour réaliser les thermocouples. Le choix d'un couple dépend de la plage de température à mesurer, de l'environnement dans lequel il sera utilisé et la précision recherchée [15].

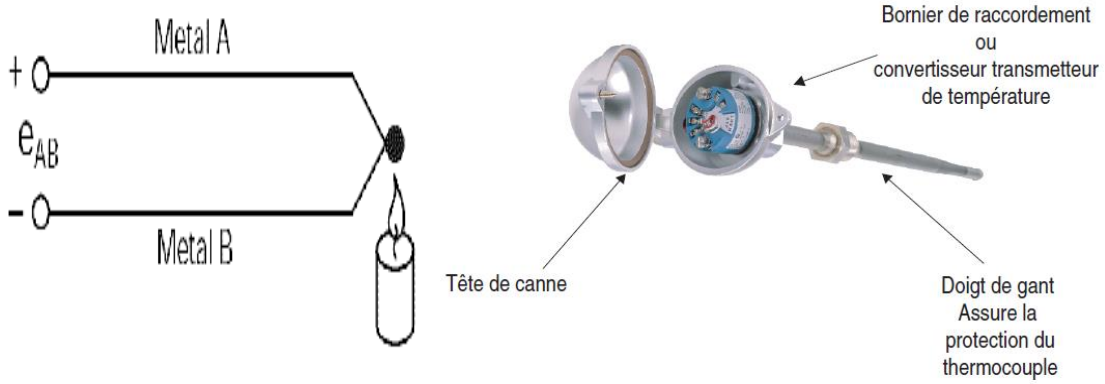


Figure II .7 : schémas descriptifs de thermocouple.

Les thermocouples sont généralement repérés par une lettre symbole, par exemple on parle de couple de type T pour désigner un thermocouple dont les constituants sont le cuivre et le constantan (Alliage de cuivre et de nickel). Le repérage du type de thermocouple est également réalisé par la couleur de la gaine de protection du câble de liaison avec l'appareil de mesure.

Tableau II .1 : tableau qui représente Principaux thermocouple et plages d'utilisation.

Symbole et constituants (+/–)	**Plage de température** (Usage en continu)	**Gaine de protection Couleur selon NF C42-323 (97)**
T : Cu/CuNi Cuivre / Constantan	– 185 … + 300°C	Marron
J : Fe/CuNi Fer / Constantan	– 0 … + 700°C	Noir
K : NiCr/NiAl Chromel / Alumel	– 0 … + 1100°C	Vert
N : NiCrSi/NiSi Nicrosil / Nisil	– 0 … + 1100°C	Rose
E : NiCr/CuNi Chromel / Constantan	– 0 … + 800°C	Violet
S : PtRh10 %/Pt Platine Rhodim 10% / Platine	0 … + 1550°C	Orange
R : PtRh13 %/Pt Platine Rhodim 13% / Platine	0 … + 1600°C	Orange
B : PtRh30 %/PtRh 6 % Platine Rhodim 30% / Platine Rhodium 6%	+ 100 … + 1600°C	Gris

II 2.3.2 Mesure de Débit:

Les débits volumiques sont le plus souvent déduits d'une mesure de la vitesse (v) du fluide au travers d'une section connue (S). La relation qui lie le débit à la vitesse et donnée par la formule suivante :

$$\boldsymbol{Q = S * V} \qquad (1)$$

Les appareils permettant d'assurer la mesure d'un débit peuvent être regroupés en différentes catégories

– les appareils déprimogènes (plaque à orifice, venturi, …

– les appareils à flotteur (rotamètre)

– les appareils électromagnétiques

– les appareils à ultrasons

- **Débitmètre à section variable ou rotamètre :**

Le rotamètre fonctionne en faisant passer un fluide à travers un tube conique verticale dans lequel un flotteur se déplace librement. En réponse à l'augmentation du débit du fluide, le flotteur monte dans le tube conique, ou la section du tube devient plus large vers le haut, ce qui permet au flotteur de s'élever à des débits plus élevés en atteignant une nouvelle position d'équilibre ou les force de poids du flotteur et la force exercée par le débit de fluide sont équilibré.

La hauteur atteinte par le flotteur, visible sur une échelle graduée, correspond alors

au débit du fluide permettant une lecture directe et précise du débit.

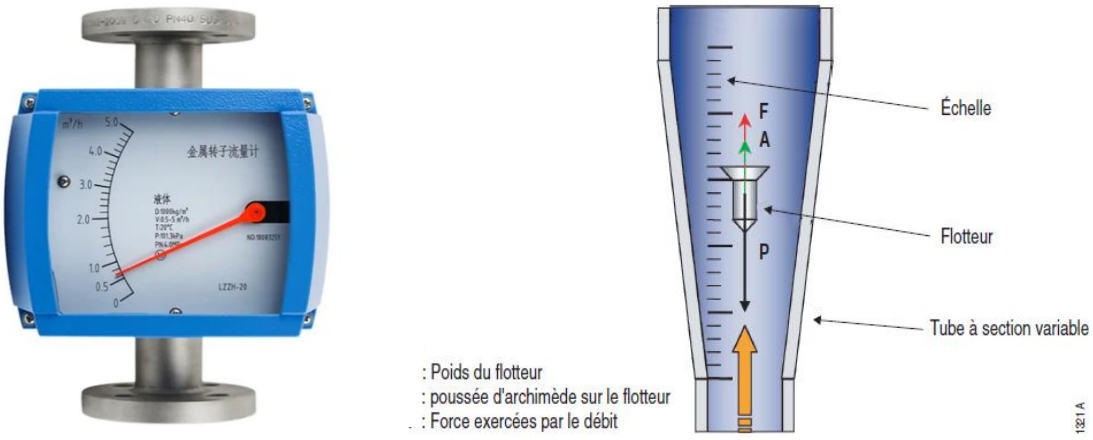


Figure II .8 : Exemple de débitmètre à section variable

- **Mesure de débit par les appareils déprimogènes (ou à différence de pression) :**

Ce sont les débitmètres les plus répandus. Il consiste à mettre une plaque orifice (elle des caractéristiques spéciale) à l'écoulement du fluide il traverse cet obstacle engendre une pression différentielle qui est on fonction du débit passant dans la tuyauterie selon cette expression : [16]

$$\boldsymbol{Q} = \boldsymbol{k} * \sqrt{\Delta \boldsymbol{P}} \qquad (2)$$

Q : débit de produit dans la ligne

K : coefficient de débit qui est fonction de différents facteurs tel que la nature du produit, la géométrie de la ligne, de l'orifice, …

ΔP : Pression différentielle au passage de la plaque orifice

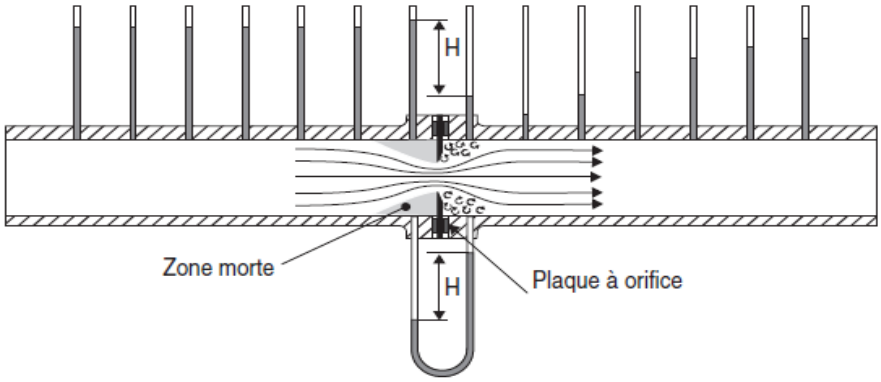


Figure II .9 : mesure de débit par différence de pression.

Les débitmètres à pression différentielle les plus courants sont les plaques à orifice et les tubes venturi. Les plaques à orifice ou diaphragme se présentent sous la forme d'un disque métallique percé d'un trou usiné à un diamètre bien défini qui dépend du débit à mesurer.



Figure II .10 : les type de débitmètre a pression différentielle.

- **Débitmètres à ultrasons :**

Deux transducteurs sont installés à une certaine distance sur la conduite. Les ondes ultrasonores (acoustique) sont envoyées alternativement dans la direction du flux et en sens inverse.

Le temps que mettent les ondes pour traverser la conduite est mesure. Si le fluide est en mouvement, les ondes mettent plus de temps à traverser dans une direction par rapport à l'autre. Cette différence de temps de transit entre les deux directions est proportionnelle à la vitesse de fluide et donc en déterminant cette dernière il est possible de calculer le débit.

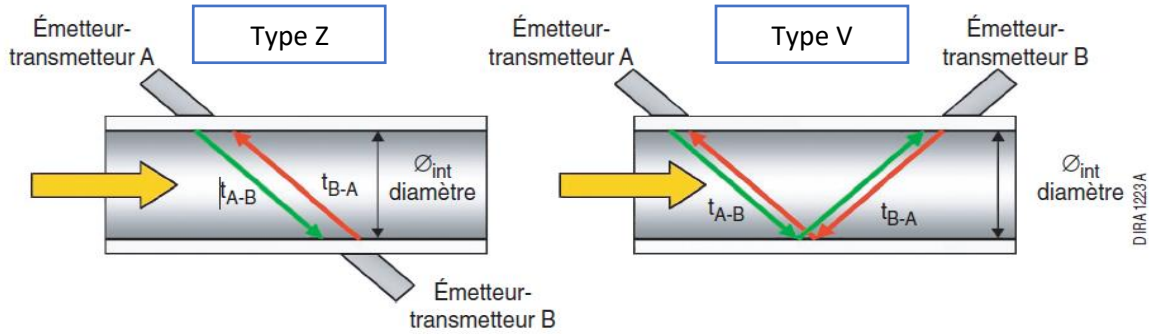


Figure II .11 : Principe de fonctionnement d'un débitmètre à ultrasons [17].

II 2.3.3 Mesure de niveau :

- **Mesure de niveaux directs (*niveau à glace*)** :

Ce principe de mesures est essentiellement utilisé pour des mesures ou du contrôles visuels sur site. L'appareil est constitué d'un tube en verre graduée ou Le niveau dans la capacité(tube) est identique à celui présent dans le niveau à local.

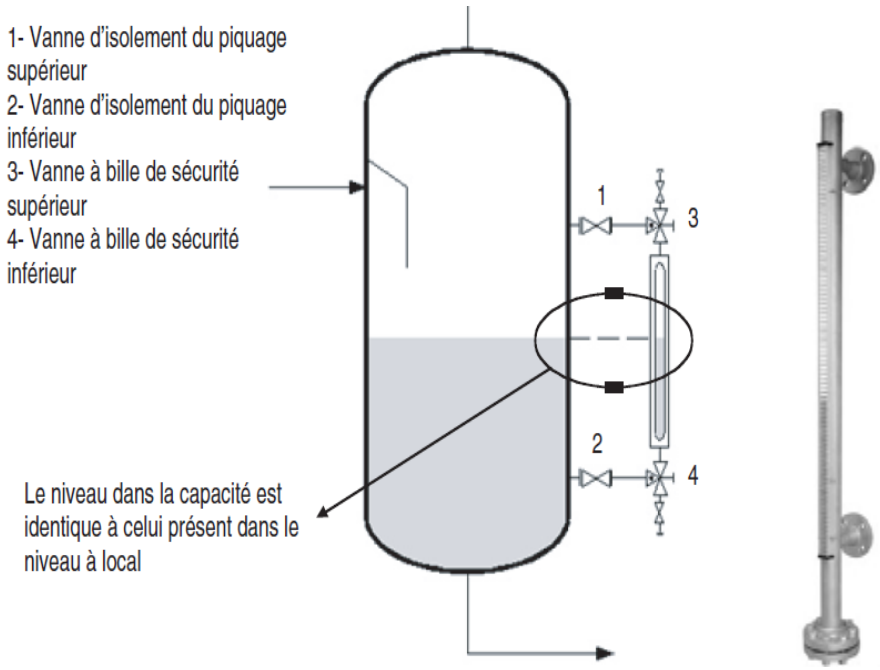


Figure II .12 : Principe et environnement d'un niveau a glace.

➢ Mesure de niveaux par pression :

La mesure d'une pression peut permettre de mesurer un niveau en utilisant la loi de l'hydrostatique. Cette loi lie la pression à une hauteur de produit par la relation :

$$P = \frac{H * d_4^t}{10.2} \qquad (3)$$

P : Pression (bar)

H : hauteur du produit

d_4^t: densité du produit à sa température d'utilisation t

Différentes configurations et variantes de montage peuvent être envisagées suivant les conditions de services et la nature du produit sur lequel doit être effectué la mesure.

Les variantes les plus courantes concernent essentiellement les dispositions suivantes :

A-mesure sur une capacité à pression atmosphérique :

La mise en place d'un capteur de pression différentielle l'un des cotes de la capaciter est relier au produit et l'autre cote relier à l'atmosphère.

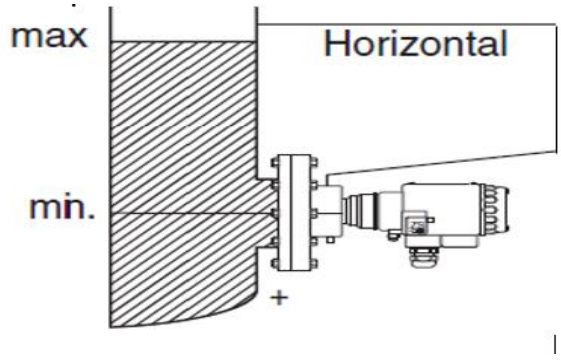


Figure II .13 : mesure sur une capacité à pression atmosphérique [18].

B-mesure sur une capacité sous pression :

Ici c'est la même chose que le premier cas Juste ici le ballonne est fermer en haut est donc il Ya une pression en plus. Alors une des cellules de mesure est en contact avec le produit, l'autre cellule est reliée à l'atmosphère de la capacité, ce qui permet de prendre en considération le fait que la pression interne de la capacité est différente de la pression atmosphérique.



Figure II .14 : mesure de niveau par cellule de pression.

➢ Mesure par masse de déplacement (tube de torsion):

- **Description :** Le tube de torsion est une composante qui détecte la force exercée par le plongeur en rotation sous l'effet de la variation du niveau de liquide.
- **Principe :** Le tube de torsion est attaché à l'extrémité supérieure du plongeur. Lorsque le niveau de liquide change, le plongeur monte ou descend, ce qui modifie la force appliquée sur le tube de torsion.
- **Torsion :** La variation de force (et donc de poids apparent) entraîne une torsion du tube. Cette torsion est proportionnelle à la force appliquée

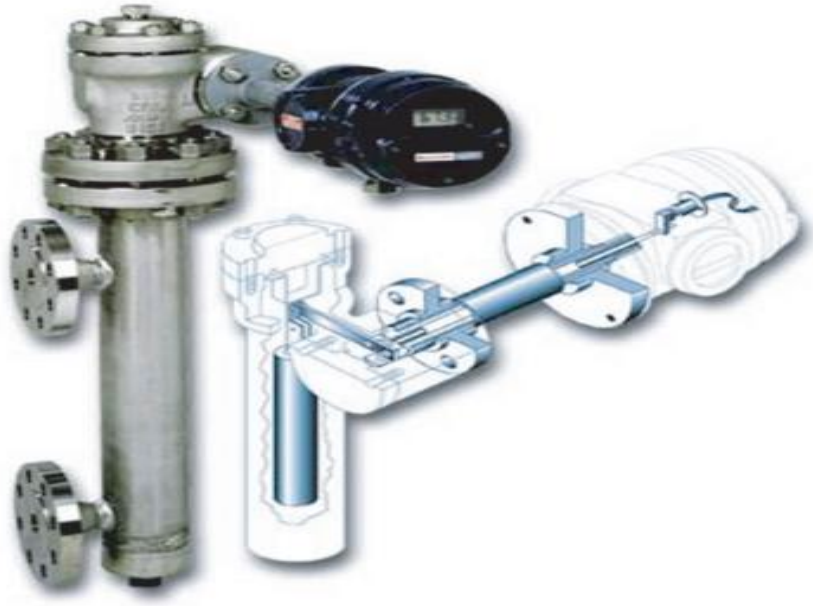


Figure II .15 : mesure de niveau par tube de torsion.

➢ **Mesure de niveaux par émission d'un rayonnement :**

Sondes à ultrason Le principe est basé sur l'envoie d'une impulsion ultrasonique à travers l'atmosphère gazeux de la capacité en direction de la surface du produit. Cette impulsion va se réfléchir à la surface du liquide. On capte l'écho partiellement retourné et le temps de parcours de l'impulsion est directement proportionnel à la hauteur de creux dans la capacité. La distance entre la sonde et la surface du liquide est donnée par la relation suivante :

$$\boldsymbol{D = C * \frac{T}{2}} \qquad (4)$$

D : distance surface sur produit sonde

C : vitesse du son dans la phase gazeuse de la capacité

T : durée de parcours de l'impulsion ultrasonique

II 2.3.4 Mesure de pression :

Suivant le cas la mesure de pression peut être :

- **Pression absolue :** entre 0 bar et la pression mesurée
- **Pression relative :** entre pression atmosphère et pression mesurée
- **Pression différentielle :** entre une pression donnée et pression référence

Il existe différentes techniques qui permettent la mesure d'une pression, les plus répandues sont :

- Les manomètres ou l'information est disponible localement.

- capteurs électroniques ou l'information est retransmise en salle de contrôle

➢ **Manomètres métalliques - Indication locale :**

Ils sont équipés d'un organe élastique (tube de bourdon) qui, sous l'effet de la pression, effectue un déplacement défini et reproductible. Ce déplacement actionne une aiguille par l'intermédiaire d'un rouage. La pression peut alors être lue sur l'échelle du cadran dans l'unité désirée.

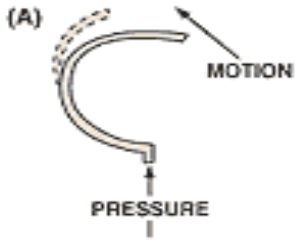


Figure II .16 : Tube de bourdon.

II .2.4 Les vannes :

Les vannes sont des dispositifs mécaniques capables de contrôler, diriger ou réguler le débit des fluides, liquides ou gaz en ouvrant, fermant ou obstruant partiellement les passages dans un système. Ces dispositifs sont essentiels dans d'innombrables industries, telles que le pétrole et le gaz [19].

II .2.4.1 Électrovannes tout ou rien (TOR) :

Les vannes automatiques tout ou rien (ou TOR) sont des équipements automatisés dont le rôle est d'interrompre ou de permettre le passage d'un fluide (gaz ou liquide) dans une tuyauterie ou d'aiguiller le passage d'un solide. En ce sens, le rôle procédé qui leur est dévolu peut obéir à trois sortes d'objectifs [20] :

- **Isolement d'installation (ou de partie d'installation) :** Lors des phases de mise à l'arrêt de celle-ci ; il s'agit alors de vannes automatiques dont la fermeture est commandée à distance par le personnel de conduite à travers une action volontaire opérée sur l'interface de conduite.
- **Sécurité procédée :** Les vannes tout ou rien ne sont alors généralement commandées par des automates. Ces automatismes concernent tous les paramètres dont l'apparition ou l'excursion pourrait :
  - Soit nuire à l'intégrité physique du personnel
  - Soit conduire à la dégradation de machines ou de matériels à long temps de remplacement
  - Soit présenter un risque pour la population environnante (du fait de la toxicité des produits mis en cause)

En position de sécurité, ces vannes sont :

- Soit totalement ouvertes
- Soit totalement fermées en fonction de l'action de sécurité imposée par le procédé.

- **Séquences d'opération :** On entend par séquence d'opération toute séquence de

conduite de procédé relative à une machine ou tout autre matériel (tel que sécheur d'air, réacteur, chaudière, …), et qui fait intervenir une suite d'opérations, appelées phases, se déroulant les unes après les autres, dans un ordre déterminé, au cours du temps. Si cette séquence d'opération se déroule de façon répétitive et sur action automatique, il s'agit alors d'un automatisme séquentiel. Les séquences d'opération font appel le plus souvent :

- A l'ouverture/fermeture de vannes automatiques tout ou rien ainsi que de vannes de régulation.
- Au démarrage/arrêt de machines d'entraînement, moteurs électriques en particulier
- A la commande de paramètres analogiques.

II .2.4.2 Vanne de régulation :

Dans une boucle de régulation, l'organe final de réglage est, le plus souvent, une vanne qui par action sur le débit d'un fluide (gaz ou liquide) permet de réguler la grandeur mesurée (pression, débit, niveau, température, etc.).

Les vannes automatiques, utilisées dans l'industrie chimique et pétrolière, sont le plus souvent à commande pneumatique [2].

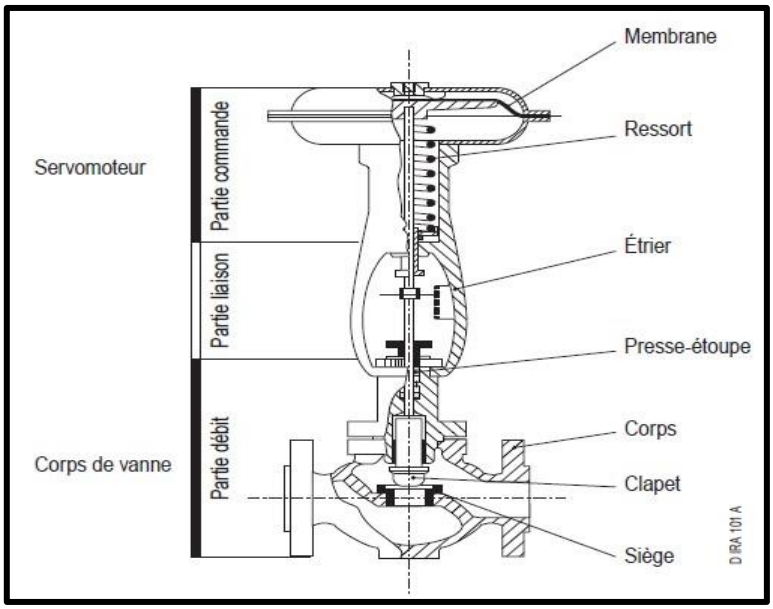


Figure II .17 : Vanne de régulation à simple siège

II .3 La Régulation automatique :

C'est l'ensemble des techniques qui permettent de contrôler une grandeur physique (température, vitesse, pression), sans intervention humaine, pour la maintenir à une valeur donnée, appelée consigne (SP).

II .4 Les Type de boucle de régulation :

Le signal provenant des transmetteurs est traité par le régulateur pour ajuster et réguler l'une des grandeurs physiques jusqu'à atteindre la valeur cible, également appelée consigne. Dans ce cadre, plusieurs types de boucles de régulation sont utilisés :

- **La boucle fermée :** La régulation en boucle fermée est simple, le régulateur compare la mesure de la grandeur réglée et la consigne et agit en conséquence pour s'en rapprocher. fait intervenir trois signaux, deux entrées et une sortie :

  - la mesure notée "**m**".

  - la consigne notée "**C**"

  - le signal de commande noté "**Sc**"

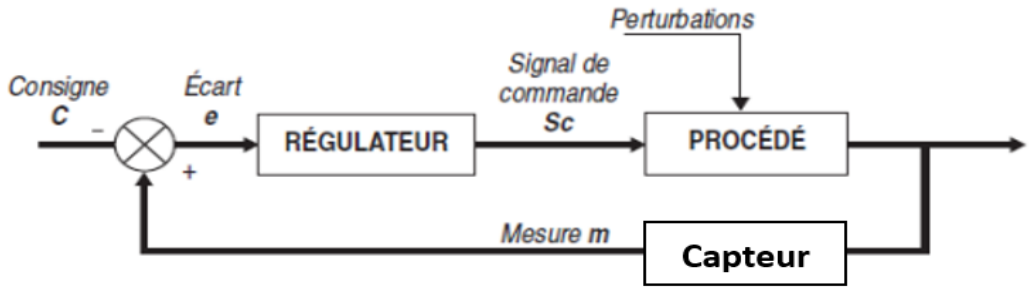


Figure II .18 : Une régulation en boucle fermée.

Consigne : c'est la valeur désirée.

Régulateur : il traite l'erreur et décide de l'action corrective à prendre pour réduire cette erreur.

Procédé : c'est le système ou l'environnement que l'on veut contrôler.

Capteur : il mesure la variable de sortie actuelle de système.

- ## Régulation avec cascade :

Une structure en cascade est constituée de deux boucles de régulation :

- la **boucle primaire** avec régulateur maître

- la **boucle secondaire** avec régulateur esclave

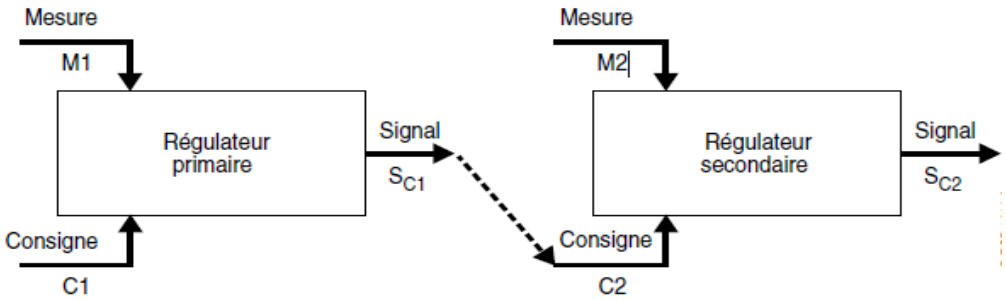


Figure II .19 : Une régulation en cascade.

On prend par exemple le four pour réguler la température on joue sur la pression de gaz. Alors quand on ouvre la vanne de régulation la pression de gaz augmente et donc la température augmente

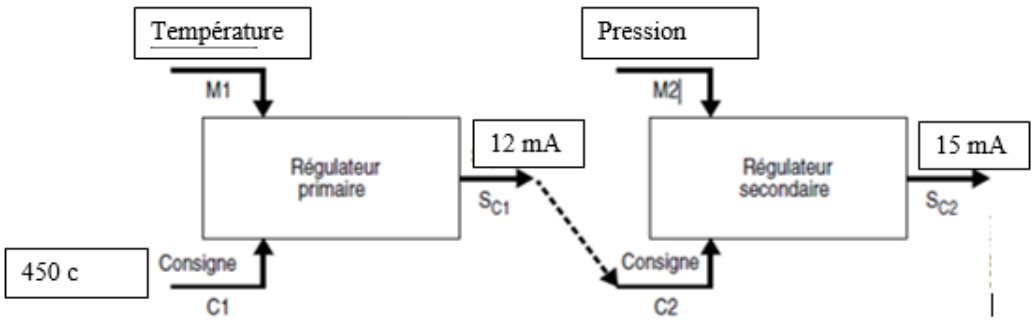


Figure II .20 : Une régulation de température en cascade.

- **La régulation par partage d'échelle "split range" :**

Le "Split Range" ou partage d'échelle est un schéma de régulation qui permet de commander la Position de plusieurs vannes ou organes de réglage à partir d'un seul régulateur. Comme l'indique une traduction possible : "Échelle partagée", le passage de la position "ouverte" à la position "fermée" des organes de réglage ne correspond qu'à une partie seulement de l'échelle 0-100 % du Sc du régulateur ; celle-ci est partagée entre les différents organes de réglage.

* On a de 0 à 50% la vanne 1 ferme et la vanne 2 ouvert avec un pourcentage qui varie de 0-100% (à l'instant S0 la vanne 2 s'ouvre a 60%).

* De 50 à 100% la vanne 2 ferme et la vanne1 ouvert avec un pourcentage qui varie de 0-100%.

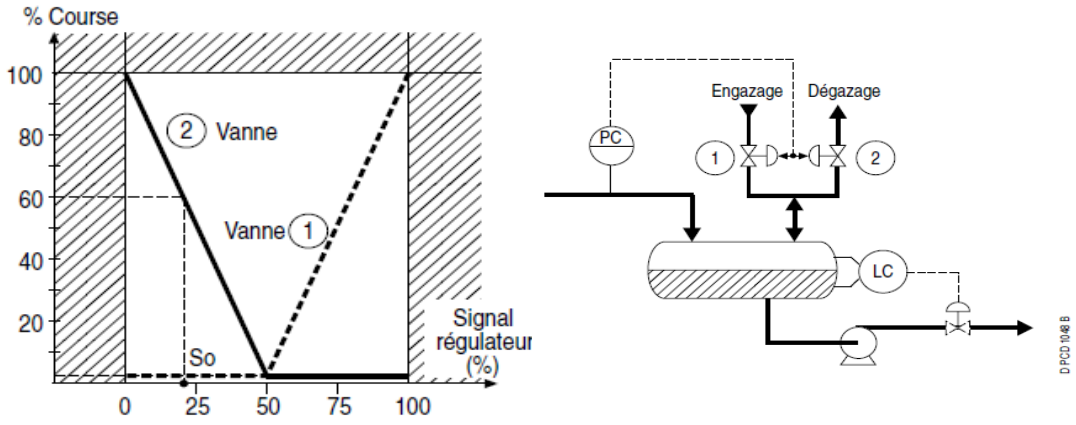


Figure II .21 : La régulation de pression avec méthode split range.

II .5 Conclusion :

Pour conclure, l'instrumentation est un élément essentiel pour la supervision des unités de productions de la raffinerie d'Alger, y compris le MS-Block. Leur sélection, installation, maintenance et exploitation sont indispensables pour assurer la performance, la sûreté et la fiabilité de ses unités vitales. Ce sont les maillons les plus importants pour contrôler et superviser le fonctionnement de l'unité de production. Par ailleurs, nous utiliserons un certain nombre d'instruments pour mettre en œuvre notre projet.

CHAPITRE III :

Solutions proposées & Automatisme

III .1 Introduction :

Au niveau de ce chapitre, nous allons proposer une solution pour résoudre la problématique mentionnée dans le premier chapitre. Puis, nous présenterons des généralités sur les automates programmables industriels afin d'indiquer l'API utilisé dans notre projet, soit le SIMATIC S7-300.

III .2 Utilisation de l'azote dans l'industrie pétrolière :

L'azote est un élément essentiel de l'industrie pétrolière, qui offre des solutions sûres et efficaces pour plusieurs applications. Sa capacité à améliorer la sécurité, à optimiser la production et à protéger les équipements en fait un gaz industriel de premier plan dans ce secteur dynamique et exigeant.

Sa polyvalence et ses propriétés chimiques font de lui un gaz industriel vital pour ce secteur, il est utilisé pour remplacer l'oxygène et les gaz inflammables dans les réservoirs de stockage et les conduites afin de prévenir les risques d'explosion et d'incendie. En créant une atmosphère inerte, l'azote empêche les réactions chimiques dangereuses.

Ce gaz est injecté dans les systèmes de pipelines et d'équipements pour éliminer les contaminants tels que l'oxygène, l'humidité et les hydrocarbures qui est cruciale avant les opérations de maintenance ou le démarrage des systèmes. L'azote est aussi connu pour la pressurisation des pipelines et les équipements afin de vérifier leur intégrité et de détecter les fuites, l'utilisation d'azote dans ce cas est plus sure et plus propre que l'utilisation d'un autre gaz ou liquide.

En purgeant les systèmes avec de l'azote, les opérateurs réduisent l'exposition à l'oxygène et à l'humidité, ce qui minimise le risque de corrosion et prolonge la durée de vie des équipements.

Par ailleurs, l'azote est également utilisé dans les systèmes d'étanchéité des compresseurs (étanchéité dynamique), où il permet de créer une barrière protectrice empêchant les fuites de gaz et assurant un fonctionnement fiable et sécurisé des compresseurs sous haute pression.

III .3 But de notre étude:

Le but consiste à maintenir la pression d'azote suffisante pour assurer l'étanchéité du compresseur 520-K-001 en cas d'arrêt (trip) de l'unité d'alimentation principale U810.

III .4 Présentation de la solution :

Pour remédier à ce problème (cas de trip de l'U810 et donc le trip du compresseur) nous avons installé un cadre de bouteilles d'azote comme source d'alimentation de secours. Cette configuration permet de maintenir l'alimentation en azote du compresseur même lorsque l'unité principale U810 est hors service, assurant ainsi la continuité des opérations.

III .5 Approche en instrumentation :

➢ Explication du schéma P&ID :

Lorsque l'unité U810 se déclenche, au minimum deux parmi trois des transmetteurs de pression de sécurité ("520 -PZT-1002/A","520 -PZT-1002/B","520 -PZT-1002/C") détectent une chute de pression en dessous de 7,5 bars à l'aide d'un système de vote pour déclencher et permettre au compresseur d'être alimenté par le cadre d'azote. Cette opération est assurée par l'ouverture de la vanne TOR "520 -XV-1210" du cadre. Ce dernier fournit une pression de 147 bars, qui est ensuite réduite à 20 bars par un détendeur (régulateur de pression) "520-PCV-0302". Ce détendeur est équipé aussi d'une soupape de sécurité qui libère tout excès de pression et garantir ainsi que la pression ne dépasse pas 20 bars. Cette pression est réduite à 9 bars grâce à une vanne de régulation "520 -PIIC-1000". Cette pression est ensuite abaissée de 9 bars à 3,9 bars par le détendeur du compresseur "520 -PCV-1047", lequel abaisse la pression de 9 bars à 3,9 bars (la valeur optimale pour l'étanchéité du compresseur). De plus, un transmetteur de pression "520 -PT-1001" est installé pour surveiller l'état des bouteilles d'azote, si le ratio diminue en dessous de 10 %, soit 14,7 bars, une alarme se déclenche pour indiquer à l'opérateur qu'il faut changer les bouteilles.

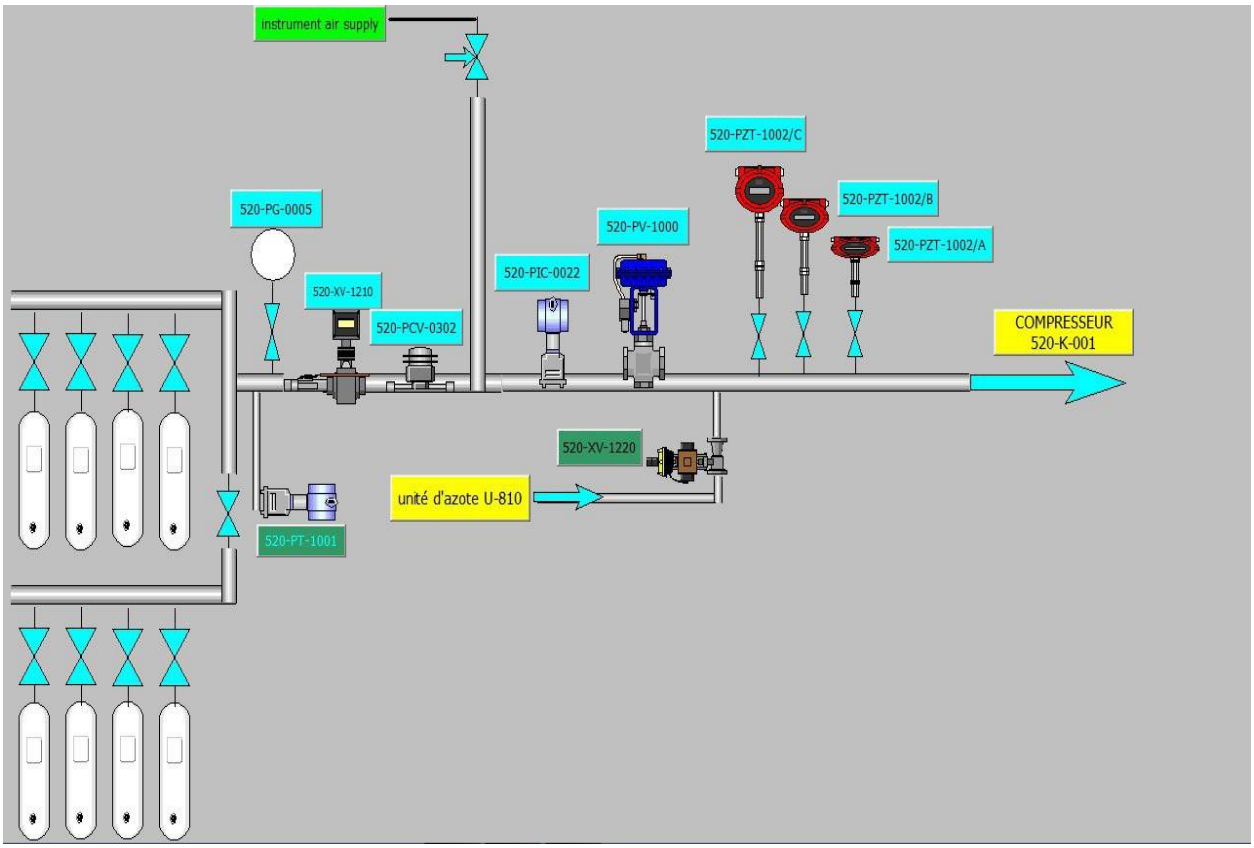


Figure III .1 : schéma P&ID de la solution.

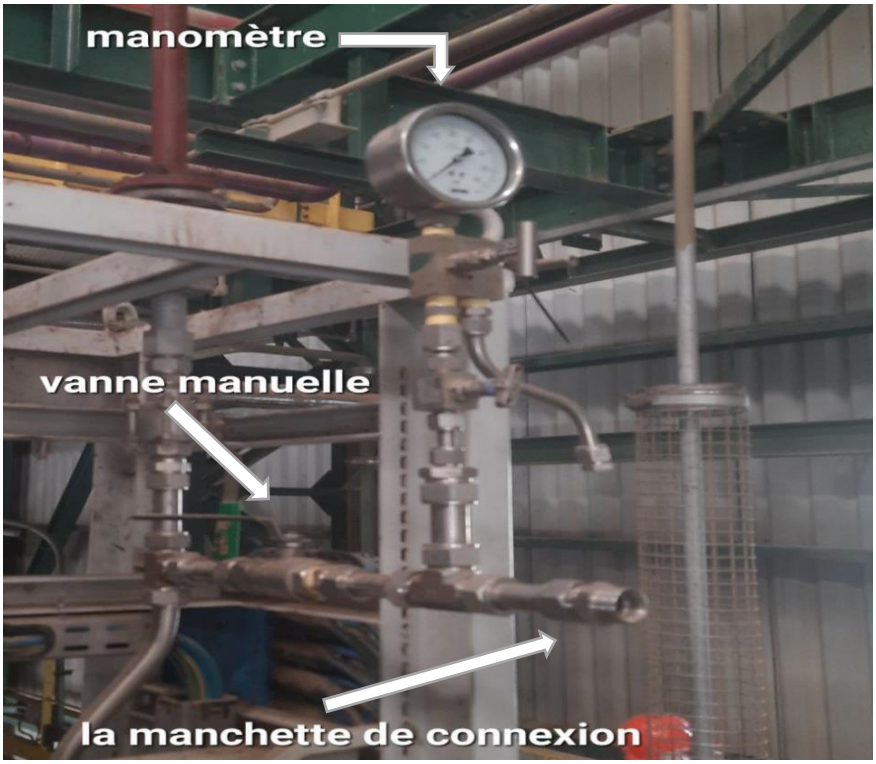


Figure III .2 : branchement de cadre d'azote au terrain.

III .6 Choix des composants et leur Rôle :

III .5.1 Transmetteur de pression :

Leur rôle est de mesurer la pression et d'envoyer des signaux lorsque on atteint des seuils précis

a) Sécurité :

On utilise trois transmetteurs pour la sécurité :

❖ **520 -PZT-1002/A & 520 -PZT-1002/B & 520 -PZT-1002/C :**

*** Rôle :** ils envoient des signaux électrique 4-20 mA au CPU lorsque la mesure est dessous de 7.5 bar (12 mA) pour que le CPU ouvre la vanne TOR (chute de pression).

*** Caractéristique technique :**

- Echelle : 0 – 15 bar
- Signal : 4 – 20 mA
- Marque : ABB
- Type : absolue résistive
- Protocole de communication : HART
- Version : ATEX
- Température : -40 ;65°C
- Alimentation : 24 VDC

b) Indication :

❖ **520 -PT-1001 :**

*** Rôle :** visualiser le niveau des bouteilles du cadre d'azote afin d'informer l'opérateur pour changer ou restocker les bouteilles.

*** Caractéristique technique :**

- Echelle : 0 – 200 bar
- Signal : 4 – 20mA
- Marque : ABB
- Type : absolue résistive

- Protocole de communication : HART
- Version : ATEX
- Température : -40 ;72°C
- Alimentation : 24 VDC

c) Régulation :

Il est utilisé pour la mesure de pression et il envoie des signaux électriques au CPU pour commander la vanne pour obtenir la meilleure pression d'étanchéité du compresseur.

❖ **520 -PIC-0022 :**

*** Rôle :** il envoie un signal électrique 4-20 mA au CPU pour commander la vanne pour obtenir une pression du 9 bar.

*** Caractéristique technique :**

- Echelle : 0 – 20 bar
- Signal : 4 – 20mA
- Marque : ABB
- Type : absolue résistive
- Protocole de communication : HART
- Version : ATEX
- Température : -40 ;72°C
- Alimentation : 24 VDC

III .5.2 Vanne :

a) tout ou rien TOR :

On utilise deux vannes de type TOR

❖ **520 -XV-1210 :**

*** Rôle :** c'est elle qui va laisser le passage de pression de cadre vers le compresseur.

❖ **520 -XV-1220 :**

*** Rôle :** c'est elle qui va bloquer le passage de pression de réseau principale vers le compresseur.

b) Manuelle :

*** Rôle :** Utilisé pour isoler le cadre dans le cas où on veut intervenir sur le cadre.

c) Régulation :

On utilise une vanne de régulation.

❖ **520 -PV-1000 :**

*** Rôle :** utilisé pour diminue et ajuster la pression de service pour obtenir la bonne pression dont le compresseur a besoin pour l'étanchéité et son bon fonctionnement.

III .5.3 Régulateur de pression (Détendeur)

❖ **520 -PCV-0302:**

*** Rôle :** Utilisé pour diminuer la pression de 147 bar vers la pression voulue, dans notre cas, c'est 20 bar.

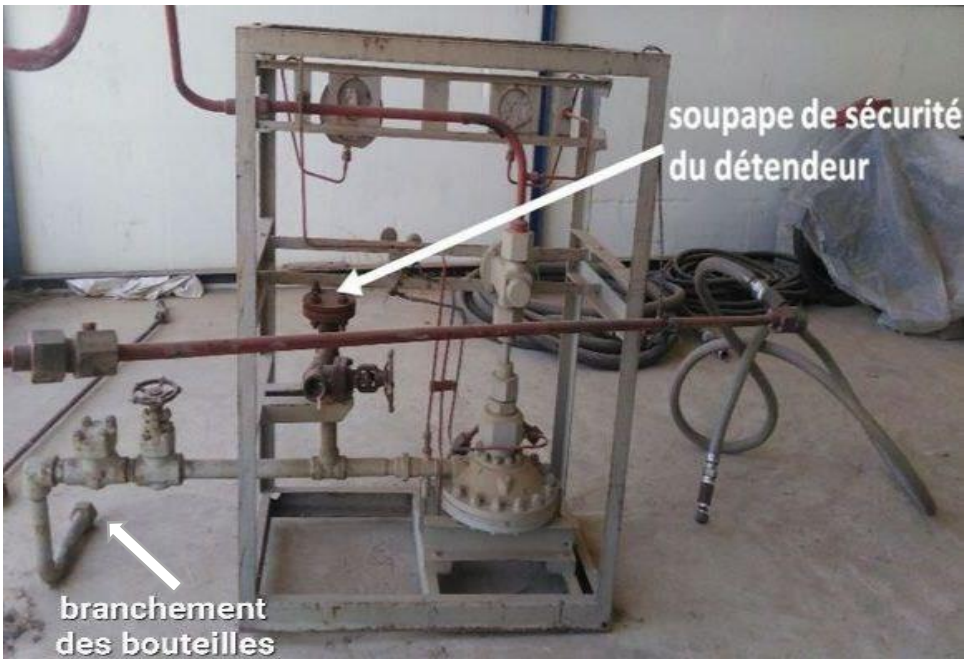


Figure III .3 : régulateur de pression utiliser (Détendeur).

III .5.4 Manomètre :

- **520- PG-0005 :**

*** Rôle :** utiliséé pour visualiser la pression et pour confirmer que la pression afficher par le transmetteur est correct.

III .5.5 Clapet anti-retour :

Pour éviter que l'azote fourni par le cadre ne retourne vers l'U810.

III .5.6 Cadre d'azote : chaque cadre peut supporter jusqu'à 20 bouteilles. Chaque bouteille a une durée de vie de 33 min selon cette loi :

$$\mathbf{T = \frac{k \times P_T}{D}} \qquad (5)$$

$$\mathbf{k = \frac{V}{P} = \frac{46.6}{256} = 0.18\ L/bar}$$

Tel que:

- **V (**volume de la bouteille**) = 46.6 L**
- **P (**pression de désigne**) = 256 bar**
- **Pt (**pression de travaille**) = 147 bar**
- **D (**débit de produit**) = 0.8 L/min**

$$\boldsymbol{T = \frac{k \times P_T}{D} = \frac{0.18 \times 147}{0.8} = 33\ min}$$

Donc : $\boldsymbol{Tt = T \times 20 = 660\ min = 11\ heures}$

III .7 Automate programmable industriel (API) :

L'Automate Programmable Industriel (API) est un appareil électronique programmable, adapté à l'environnement industriel, qui réalise des fonctions d'automatisme pour assurer la commande de préactionneurs et d'actionneurs à partir d'informations logiques, analogiques ou numériques [21].

III .7.1 Historique :

Les automates programmables industriels ou API comme on les appelle le plus souvent ou encore Programmable Logic Controller (PLC en anglais), sont apparu aux EtatsUnis vers 1969 où ils répondaient aux désirs des industries de l'automobile de développer des chaînes de fabrication automatisées qui pourraient suivre l'évolution des technologies et des modèles fabriqués. L'API s'est ainsi substitué aux armoires à relais en raison de sa souplesse, mais aussi parce que dans les automatismes de commande complexe, les coûts de câblage et de mise au point devenaient trop élevés. Les premiers constructeurs américains étaient les entreprises Modicon et Allen-Bradley [21].

III .7.2 Définition d'un API :

Un Automate Programmable Industriel (API) est une machine électronique programmable par un personnel non informaticien et destiné à piloter en ambiance industrielle et en temps réel des procédés industriels. Il est adaptable à un maximum d'application, d'un point de vue traitement, composants, langage. C'est pour cela qu'il est de construction modulaire.

Il est en général manipulé par un personnel électromécanicien. Le développement de l'industrie a entraîné une augmentation constante des fonctions électroniques présentes dans un automatisme c'est pour ça que l'API s'est substituée aux armoires à relais en raison de sa souplesse dans la mise en œuvre, mais aussi parce que dans les coûts de câblage et de maintenance devenaient trop élevés [22].

III .7.3 Les avantages des API :

Les API offrent de nombreux avantages par rapport aux dispositifs de commande câblés, comme [15] :

- La fiabilité.
- La simplicité de mise en œuvre (pas de langage de programmation complexe).
- La souplesse d'adaptation (système évolutif et modulaire).
- La maintenance et le dépannage possibles par des techniciens de formation électromécanique.
- Ne provoque pas de bruit (silencieux), et consomme beaucoup moins d'énergie.
- L'Intégration dans un système de production (implantation aisée).

III .7.4 Architecture des API :

Les API présentent deux architectures : extérieure et intérieure.

a) Aspect extérieur :

Les automates peuvent être de type compact ou modulaire.

- Les automates de type compact ou micro automates intègrent le processeur, l'alimentation et les interfaces d'entrées / sorties.

  Selon les modèles et les fabricants, ils peuvent réaliser certaines fonctions supplémentaires (comptage rapide, E/S analogiques ...) et recevoir des extensions en nombre limité.

  Exemples : LOGO de Siemens, ZELIO de Schneider, S7-200 de Siemens... Ces automates sont de fonctionnement simple et sont généralement destinés à la commande de petits automatismes.



Figure III .4 : Automate compact (LOGO)

- Pour les automates de type modulaire, le processeur, l'alimentation et les interfaces d'entrées / sorties résident dans des unités séparées (modules) et sont fixées sur un ou plusieurs racks contenant le "fond de panier" (bus plus connecteurs).

  Ces automates sont intégrés dans les automatismes complexes où puissance, capacité de traitement et flexibilité sont nécessaires [21].



Figure III .5 : Automate modulaire (Modicon)

b) Structure externe :

Un API modulaire est constitué de modules séparés pour : I 'alimentation, le processeur, les entrées/sortie, les interfaces de communication. Les modules sont branchés les uns à la suite des autres dans un rack. Il suffit d'insérer un module sur le rack et de le configurer dans le logiciel pour l'ajouter. Le rack de fond fournit le bus de communication et l'alimentation du module [23].

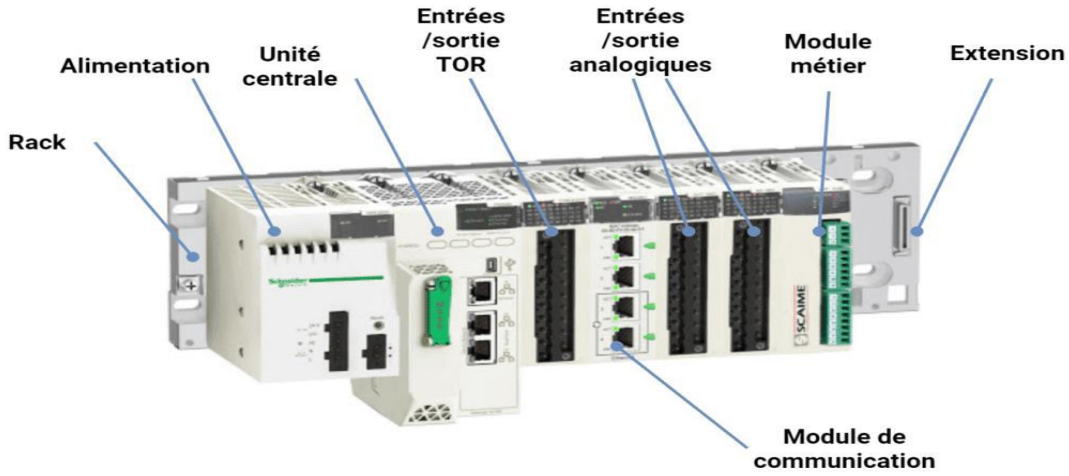


Figure III .6 : Structure externe d'un API

c) Structure interne d'une manière générale :

L'automate programmable industriel est composé de plusieurs éléments de base décrite ci-dessous.

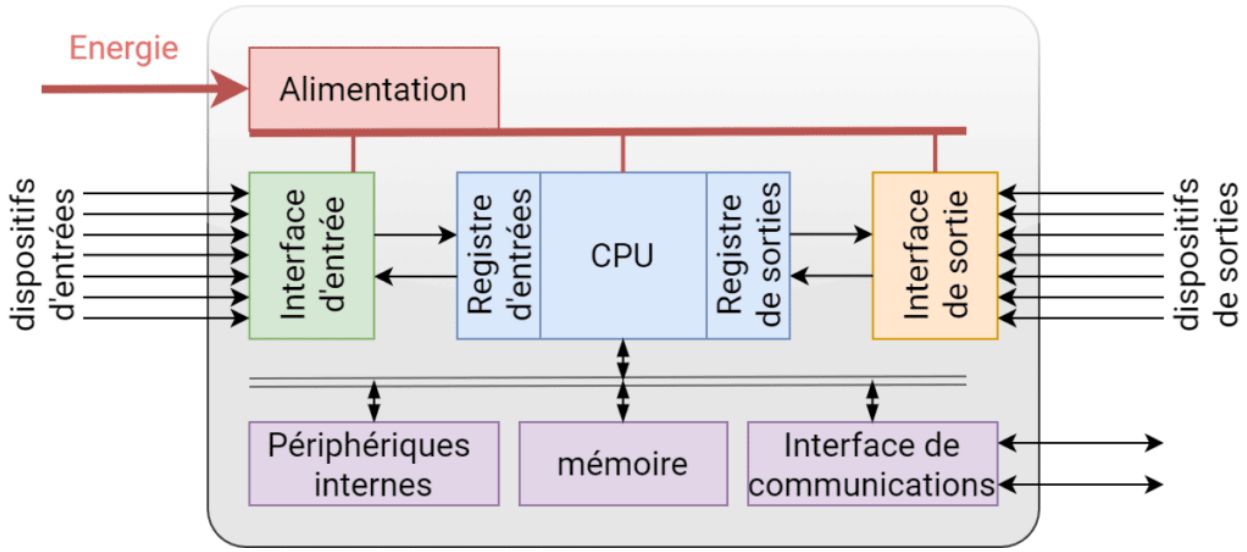


Figure III .7 : Structure interne d'un API.

- **Un processeur** (ou Central Processing Unit, CPU) : Son rôle consiste à traiter les instructions qui constituent le programme de fonctionnement de l'application, à gérer les entrées et sorties, à surveiller et diagnostiquer l'automate, à mettre en place un dialogue avec le terminal de programmation.

- **Une mémoire :** Elle permet le stockage des instructions constituant le programme de fonctionnement ainsi que diverses informations. Il peut s'agir de mémoire vive RAM (modifiable à volonté, mais perdue en cas de coupure de tension) ou de mémoire morte EEPROM (où seule la lecture est possible).

- **Des interfaces entrées/sorties :** Elles permettent au processeur de recevoir et d'envoyer des informations. Ces dispositifs d'entrée et sortie peuvent produire des signaux discrets, numériques (ce sont des sorties de type « tout ou rien ») ou analogiques.

- **L'alimentation :** est indispensable puisqu'elle convertit une tension alternative en une basse tension continue (24V) nécessaire au processeur et aux modules d'entrées-sorties. L'alimentation ne fait pas toujours partie de l'automate qui sera donc directement alimenté par une basse tension.

- **Interface de communication :** est utilisée pour recevoir et transmettre des données sur des réseaux de communication qui relient l'API à d'autres API distants ou à des équipements en fonction des protocoles choisir.

- Périphérique de programmation : est utilisé pour introduire le programme dans la mémoire du processeur. Ce programme est développé sur le périphérique, puis transféré dans la mémoire de l'API .

III .7.5 Critères de choix d'un automate :

Après avoir étudié notre système, le choix de l'API revient à considérer certains nombre de critères important tels que :

- Le nombre d'entrées / sorties : le nombre de cartes peut avoir une incidence sur le nombre de racks dès que le nombre d'entrées / sorties nécessaires devient élevé.
- La nature des entrées/sorties (numériques, analogiques et booléennes).
- Le type de processeur: la taille mémoire, la vitesse de traitement et les fonctions spéciales offertes par le processeur permettront le choix dans la gamme souvent très étendue.
- Les fonctions ou modules spéciaux : certaines cartes (commande d'axe, pesage ...) permettront de soulager le processeur et devront offrir les caractéristiques souhaitées (résolution, ...).
- Les fonctions de communication : l'automate doit pouvoir communiquer avec les autres systèmes de commande (API, supervision ...) et offrir des possibilités de communication avec des standards normalisés (Profibus ...)).
- La fiabilité et la robustesse et le dialogue (la console détermine le langage de programmation).
- La qualité de service après-vente.
- Et enfin, la durée de garantie.

III .8 Les API SIEMENS:

Siemens est une entreprise de renommée mondiale dans le domaine de la fabrication d'automates programmables industriels. Elle propose différents types d'API, les plus célèbres étant la famille SIMATIC S5 et SIMATIC S7.

Les API SIMATIC S5 comprennent les modèles tels que S5-90U, S5-95U, et d'autres encore.

Quant aux API SIMATIC S7, Siemens a développé plusieurs nouvelles générations, notamment les S7-200, S7-300, S7-400, S7-1200 et S7-1500.

III .8.1 La Sélection de l'automate :

Nous avons choisi l'automate S7-300 de SIEMENS en nous basant sur plusieurs critères, parmi lesquels :

- Sa disponibilité sur le marché algérien et l'accessibilité des services de maintenance.
- Le nombre d'entrées et de sorties qu'il offre.
- Sa taille compacte, parfaitement adaptée aux besoins de notre programmation.

III .8.2 Le SIMATIC S7-300 :

Dans notre projet, on va également considérer le **SIMATIC S7-300**, qui est un autre automate programmable industriel (API) développé par Siemens. Il s'agit d'un système modulaire couramment utilisé dans des applications d'automatisation de taille moyenne, alliant flexibilité, compacité et performance. Le S7-300 est particulièrement adapté aux systèmes de commande et de régulation dans divers secteurs industriels.

III .8.3 Description du S7-300 :

Le SIMATIC **S7-300** est un système d'automatisation modulaire conçu par Siemens. Il est principalement utilisé pour les applications d'automatisation de complexité moyenne élevée. Ce système offre une large gamme de modules adaptables selon les exigences de l'application, ce qui le rend très flexible et économique pour les installations industrielles de taille moyenne.

Le temps de lecture d'un programme est pratiquement inférieur à 10 µs. Ce temps est très inférieur au temps d'évolution d'une séquence.

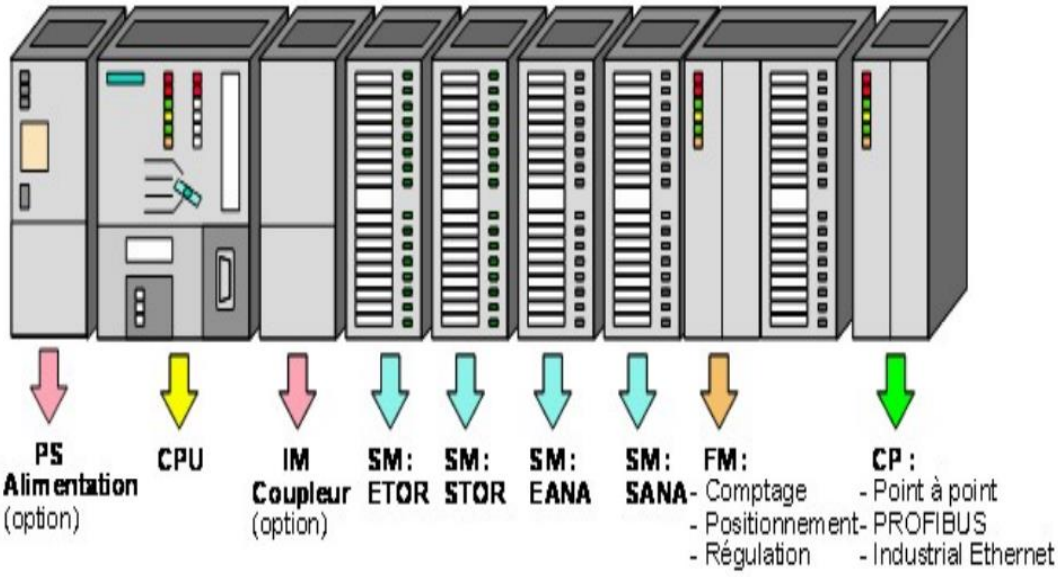


Figure III .8 : Présentation des modèles du S7-300

Les composants principaux de cet automate sont :

a) Module D'alimentation (PS) :

Le module d'alimentation **PS 307** est destiné à fournir une alimentation continue stabilisée pour les composants du S7-300. Il est disponible en différentes versions, fournissant généralement des tensions de **24 VDC** avec des intensités pouvant atteindre **10A**. Ce module assure la sécurité et la stabilité du système grâce à des protections contre les surtensions et les surintensités.

b) Unité centrale de traitement (CPU) :

Les unités centrales du S7-300, comme la **CPU 315-2 DP,** intègrent un processeur de traitement, une mémoire de programme et des interfaces de communication. Elles sont capables de traiter des instructions logiques, arithmétiques et de contrôle en temps réel. La CPU 315-2 DP prend en charge la communication **Profibus DP**, facilitant l'intégration dans des architectures distribuées.

c) Processeur de communication (CP) :

Le module **CP 342-5** permet la communication entre le S7-300 et d'autres systèmes via des réseaux industriels tels que Ethernet/Profinet. Il offre des fonctionnalités de gestion de réseau, de

diagnostic et de transfert de données, ce qui permet au S7-300 de s'intégrer dans des réseaux automatisés complexes tout en assurant une grande fiabilité.

d) Modules d'entrées/sorties (SM) :

Les **modules SM (Signal Modules)** assurent la liaison entre l'automate et les capteurs/actionneurs.

- **Modules TOR (tout ou rien)** : Ils traitent des signaux binaires (0 ou 1), typiques des boutons poussoirs, relais, ou capteurs de fin de course.
- **Modules analogiques** : Ils traitent des signaux continus, comme ceux provenant de capteurs de température, de pression, de niveau ou de débit. Ces modules permettent une régulation fine du processus industriel.

e) Module de communication décentralisée (IM) :

Le **IM 360** , utilisé aussi avec le S7-300 dans des systèmes distribués, permet de relier des modules d'E/S décentralisés via **Profibus DP** ou **Profinet**. Il facilite l'extension du système sans câblage complexe et permet un traitement distribué des données tout en assurant une communication rapide et fiable avec la CPU.

f) Module de fonction (FM) :

Les modules de fonctions offrent des fonctions spéciales :

- Comptage.

- Positionnement.

III .9 La programmation des automates programmables (API) :

La programmation d'un API consiste à traduire dans le langage spécifique de l'automate, les équations de fonctionnement du système à automatiser. Parmi les langages normalisés, on cite :

- IL : Instruction List ou liste d'instructions

Ce langage textuel de bas niveau est un langage à une instruction par ligne. Il ressemble, Dans certains aspects, au langage assembleur employé pour la programmation des microprocesseurs.

- ST : Structured Text ou texte structuré

Ce langage textuel de haut niveau est un langage évolué. Il permet la programmation de tout type d'algorithme plus ou moins complexe.

- LD : Ladder Diagram ou schéma à contacts

Ce langage graphique est essentiellement dédié à la programmation d'équations booléennes (true ou false).

- SFC : Sequential Function Chart

Issu du langage GRAFCET, ce langage de haut niveau permet la programmation aisée de tous les procédés séquentiels.

- FBD : Function Block Diagram ou diagrammes de schémas fonctionnels.

C'est un langage graphique qui permet la construction d'équations complexes

Il existe deux méthodes possibles pour la programmation des API :

- avec une console de programmation (PG) reliée par un câble spécifique.
- avec un PC et un logiciel approprié.

III .10 Communications avec l'API :

L'API peut faire plus que juste lire des capteurs et commander des actionneurs (entrées/sorties). Il peut aussi parler et communiquer avec d'autres appareils et systèmes. On peut établir d'autres connexions pour échanger des informations.

- Communication avec un opérateur par un pupitre ou un terminal industriel.
- Affichage local de valeurs numériques ou de messages.
- Échanges d'informations avec d'autres API ou systèmes de commande.
- Échanges d'informations avec une supervision.
- Échanges d'informations avec un processeur maître, ou, au contraire, avec des esclaves, dans le cadre d'un réseau.

Réseaux de communication :

Différents réseaux sont disponibles pour répondre aux exigences de la communication industrielle**,** soient :

- MPI
- PROFIBUS
- Ethernet industriel

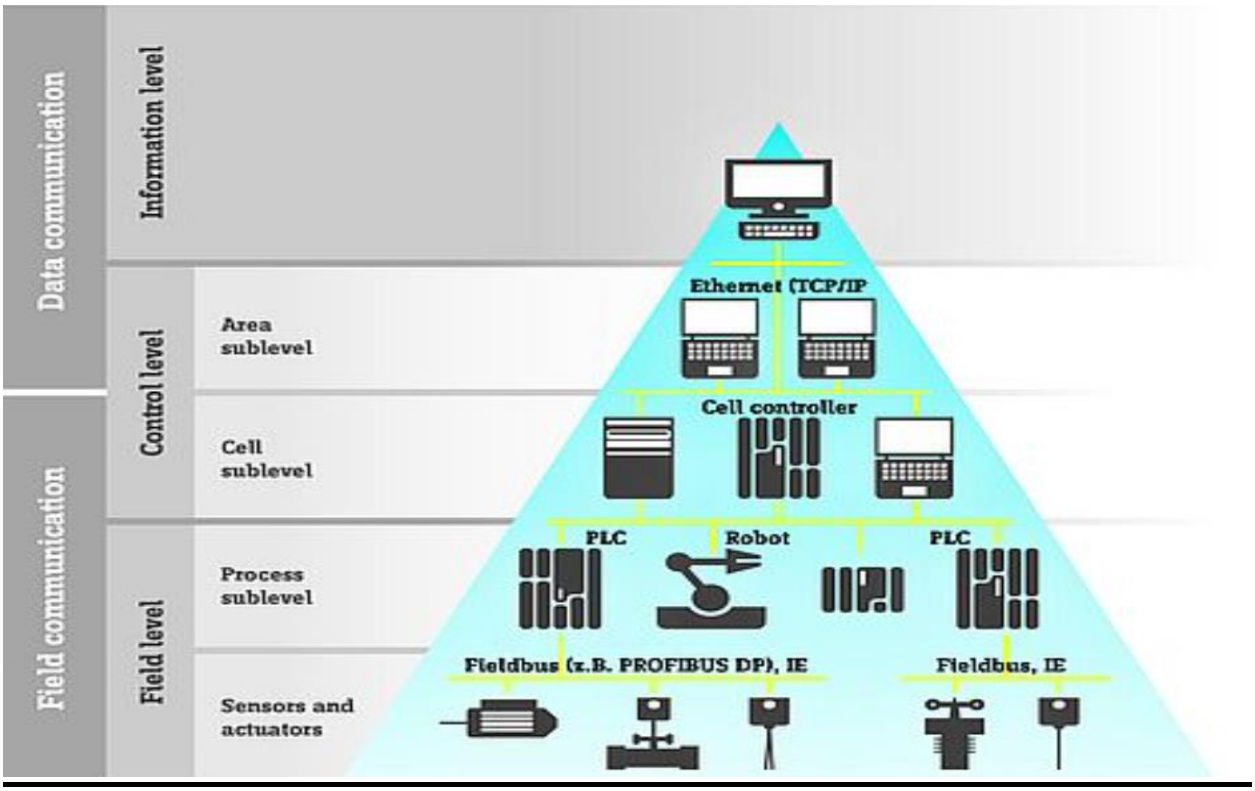


Figure III .9 : Protocoles de réseaux industriels [24]

a) MPI

MPI (Multi-Point Interface) est un protocole de communication utilisé dans les systèmes d'automatisation industrielle, notamment dans les automates programmables Siemens S7-300 et S7-400.

Il permet d'établir une connexion entre plusieurs CPUs (processeurs) au sein d'un système automatisé. La vitesse maximale de communication supportée par MPI est de 187,5 kBaud .

b) PROFIBUS

PROFIBUS (PROcess FIeld BUS) est un protocole de communication largement utilisé dans l'automatisation industrielle.

Il est utilisé pour connecter et échanger des données entre les capteurs, les actionneurs, les automates programmables et d'autres dispositifs dans un environnement industriel. Il est utilisé dans une variété d'applications, telles que la commande de processus, la surveillance et le contrôle de l'usine, les systèmes de supervision et de gestion, etc.

PROFIBUS offre des avantages tels qu'une grande vitesse de transmission, une configuration flexible du réseau, une compatibilité avec une large gamme de dispositifs et une fiabilité élevée.

c) Ethernet industriel

L'Ethernet industriel est un réseau de communication utilisé au niveau des cellules et de la supervision dans le domaine de l'automatisation industrielle. Il permet l'échange de grandes quantités de données sur de longues distances entre de nombreuses stations.

Il s'agit du réseau le plus puissant pour la communication industrielle, nécessitant peu de manipulations de configuration et offrant une extensibilité facile.

III .11 Conclusion :

Au cours de ce chapitre, nous avons présenté l'automate programmable industriel S7-300 que nous allons utiliser dans notre projet. Il sera au cœur de notre solutions pour garantir le bon fonctionnement du compresseur en cas de trip de l'unité principale de production d'azote.

Dans le chapitre suivant, nous allons présenter le logiciel SIMATIC STEP7 ainsi que le détail des différentes étapes nécessaires au développement et à la programmation de notre projet.

CHAPITRE IV :

Implémentation & Programmation

IV .1 Introduction :

Dans ce chapitre, nous présenterons le logiciel de programmation SIMATIC STEP7 que nous avons utilisé pour réaliser notre projet, ainsi que la table mnémonique et la configuration matérielle nécessaire pour garantir le fonctionnement continu du compresseur d'hydrogène.

Par ailleurs, nous présenterons le travail réalisé avec ce logiciel ainsi que les résultats issus de la simulation.

IV .2 Rappel de la problématique et la solution proposée :

L'unité principale U810 est la seule source d'alimentation en azote pour le MS BLOC, qui comprend le compresseur 520-k-001. L'étanchéité du compresseur est assurée par l'azote pour éviter toute fuite d'hydrogène.

En cas de défaillance de l'unité principale U810, l'approvisionnement en azote est coupé, entraînant l'arrêt du compresseur et, par conséquent, l'arrêt de l'unité MS BLOC.

Alor notre but principale est de maintenir la pression d'azote suffisante pour assurer l'étanchéité de compresseur 520-K-001 en cas de trip (défaillance) de U810.

Par conséquent, pour résoudre ce problème (l'arrêt de l'unité MS BLOC), nous avons proposé une solution en installant un cadre de bouteilles d'azote comme source d'alimentation de secours. Cette configuration permet de maintenir l'alimentation en azote du compresseur même lorsque l'unité U810 est hors service, assurant ainsi la continuité des opérations.

IV .3 Explication détaillée de la solution :

Lorsque l'unité principale U810 à un problème de chute de pression de l'azote, au minimum deux des trois des transmetteurs de pression de sécurité ("520 -PZT-1002/A","520 -PZT-1002/B","520 -PZT-1002/C") détectent cette chute de pression. En dessous de 7,5 bars et avec un système de vote, l'unité de secours démarre pour permettre au compresseur d'être alimenté en azote. Cette commutation est réalisée par l'ouverture de la vanne TOR "520 -XV-1210" du cadre et la fermeture de la vanne TOR "520 -XV-1220" de l'alimentation principale U810.

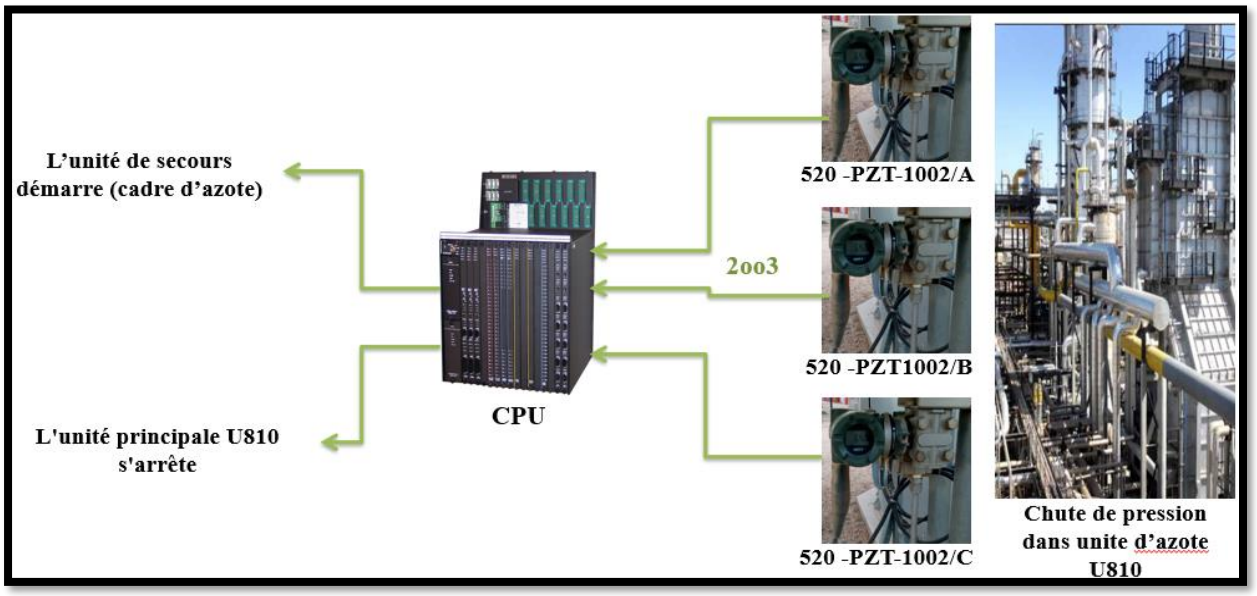


Figure IV .1 : schéma globale de la solution

Initialement, le cadre d'azote fournit une pression de 147 bars, qui est réduite à 20 bars par un détendeur "520-PCV-0302", Cette pression entre dans une vanne de régulation "520 -PIIC-1000" qui la réduit à 9 bars, Ensuite elle passe par un détendeur du compresseur "520 -PCV-1047", lequel abaisse la pression de 9 bars à 3,9 bars qui est la meilleure valeur d'étanchéité du compresseur. De plus, un transmetteur de pression "520 -PT-1001" est installé pour surveiller l'état des bouteilles d'azote. Si le ratio diminue en dessous de 10 %, soit 14,7 bars, une alarme se déclenche pour indiquer à l'opérateur qu'il faut changer les bouteilles.

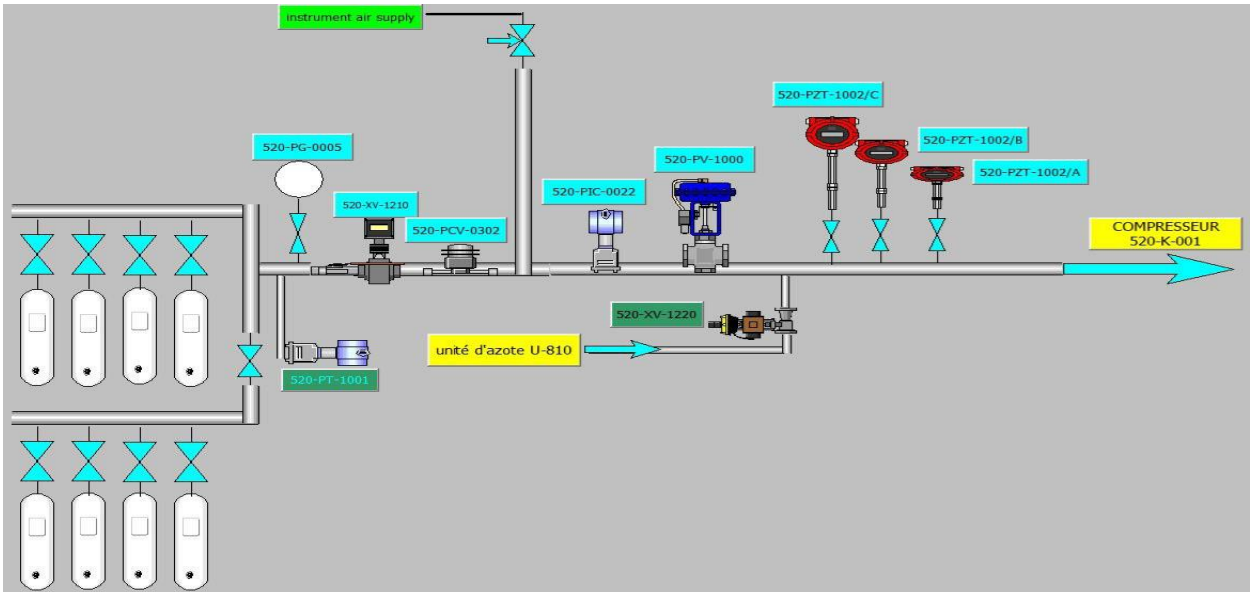


Figure IV .2 : schéma P&ID de la solution.

Si aucun opérateur n'intervient pour changer le cadre des bouteilles ou bien de le restocker pendant une durée prédéfinie, le compresseur va se mettre à l'arrêt pour des raisons de sécurité.

IV .4 Logiciel SIMATIC STEP7 :

Nous allons programmer notre automate programmable avec le STEP7 qui est le progiciel de base pour la configuration et la conception des programmes pour les systèmes d'automatisation SIMATIC.

Il s'exécute sous un environnement Windows, à partir d'une console de programmation ou d'un PC, il possède aussi trois langages de programmation (CONT/LIS/LOG), assurant la conversion d'un mode à l'autre.

Le logiciel STEP7 offre les possibilités suivantes :

- Configuration et paramétrage du matériel et de communication.
- Création et gestion des projets.
- La création des programmes.
- Gestion des mnémoniques.
- Test de l'installation d'automatisation.
- Le diagnostic lors des perturbations dans l'installation.
- Document et archivage.

Notre objectif principal est la programmation et la simulation sur STEP7 .

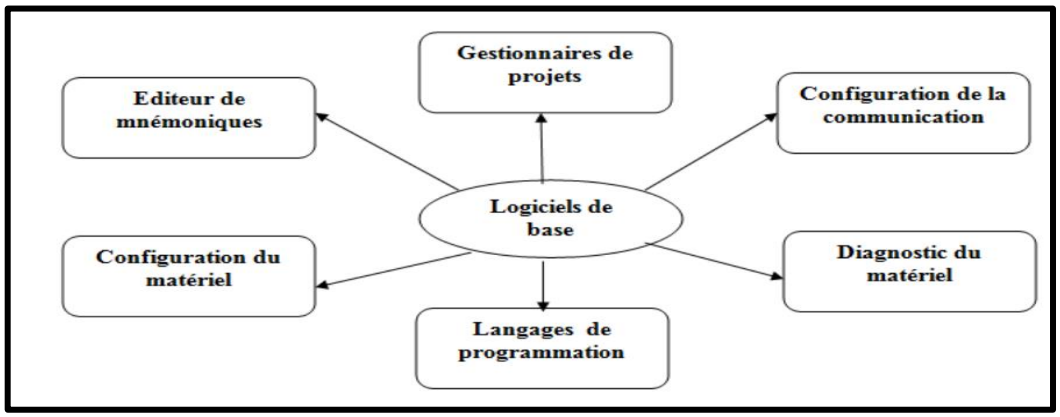


Figure IV .3 : Applications disponibles dans STEP7.

IV .4.1 Création d'un nouveau :

Pour créer un projet STEP7 on dispose d'une certaine liberté d'action, en effet nous avons deux solutions possibles :

- Solution 1 : commencer par la configuration matérielle.
- Solution 2 : commencer par la création de programme.

Le schéma suivant illustre les deux solutions possibles lors de la conception d'une solution d'automatisation :

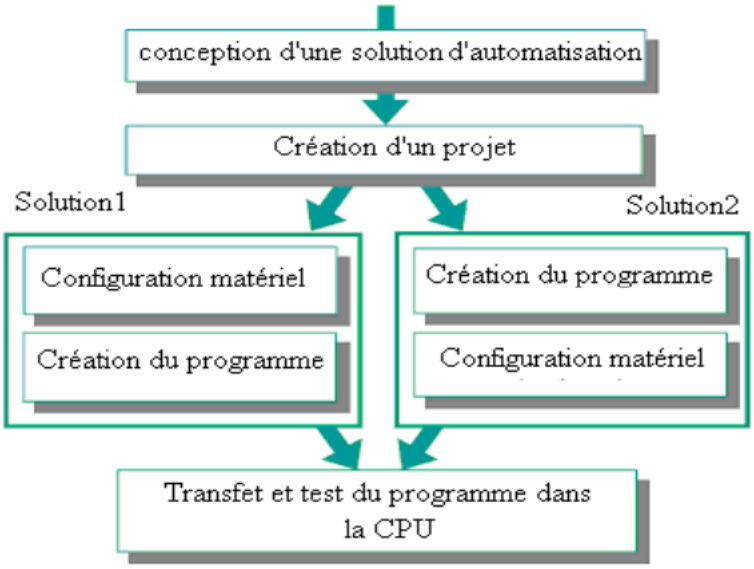


Figure IV .4 : les deux solutions possibles pour la programmation.

Dans notre projet on a recommandé de commencer par la configuration matérielle.

Les procédures qui vont nous permettre la création de projet sous logiciel STEP7 sont comme suit :

1- Double clique sur l'icône **SIMATIC Manager** ; ceci lance l'assistant de STEP7 comme la (**Figure IV .4**) illustre.

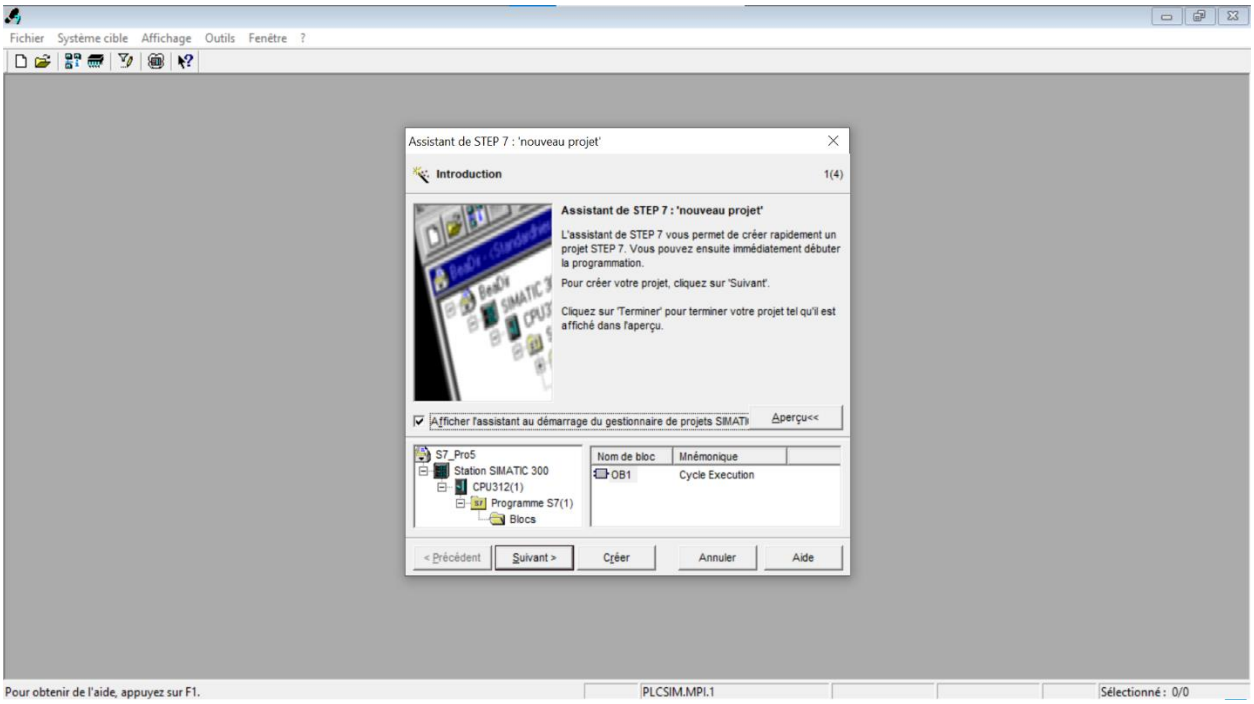


Figure IV .5 : Assistant de STEP 7 : 'nouveau projet'.

2- En cliquant sur l'icône **annuler**, puis en haut en cliquant sur **Fichier**, après en choisie **nouveau**, une fenêtre d'un nouveau projet apparaît en choisir le nom et l'emplacement du projet sur le PC Comme le montre la (**Figure IV .5**).

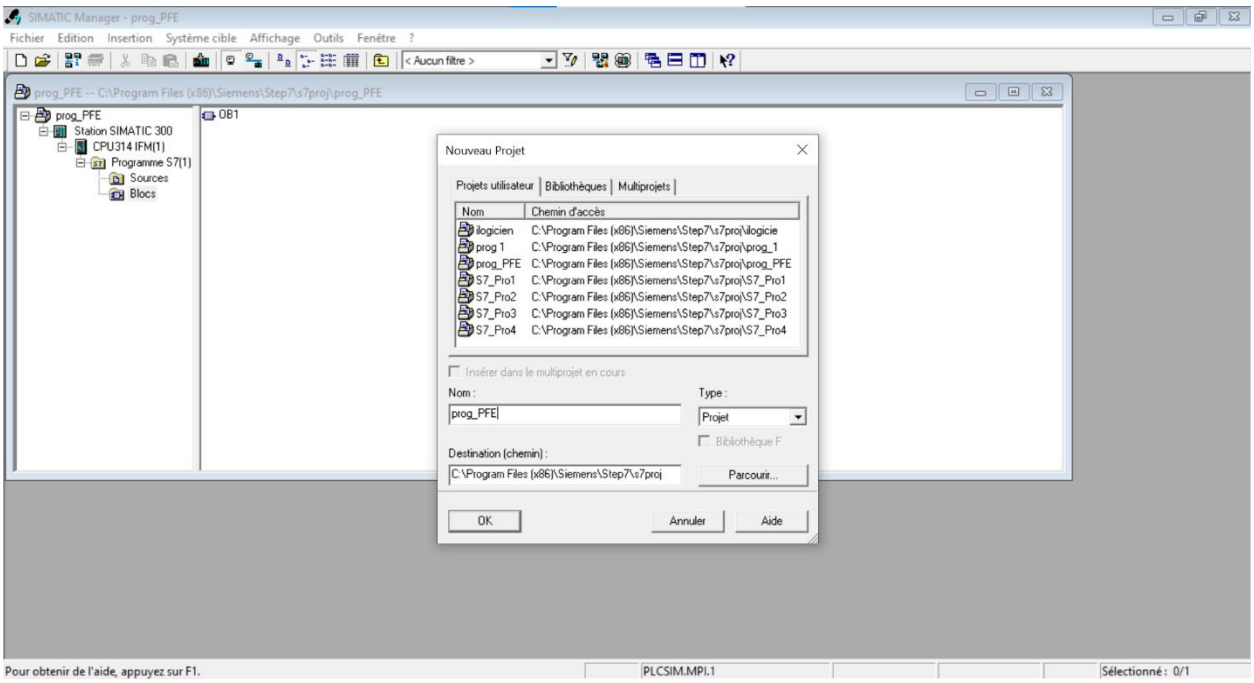


Figure IV .6 : Choix du nom et de l'emplacement du projet.

3- En cliquant en haut sur **insertion**, puis **station**, après en choisie **station SEMATIC 300** Conformément à ce que la (**Figure IV .6**) illustre

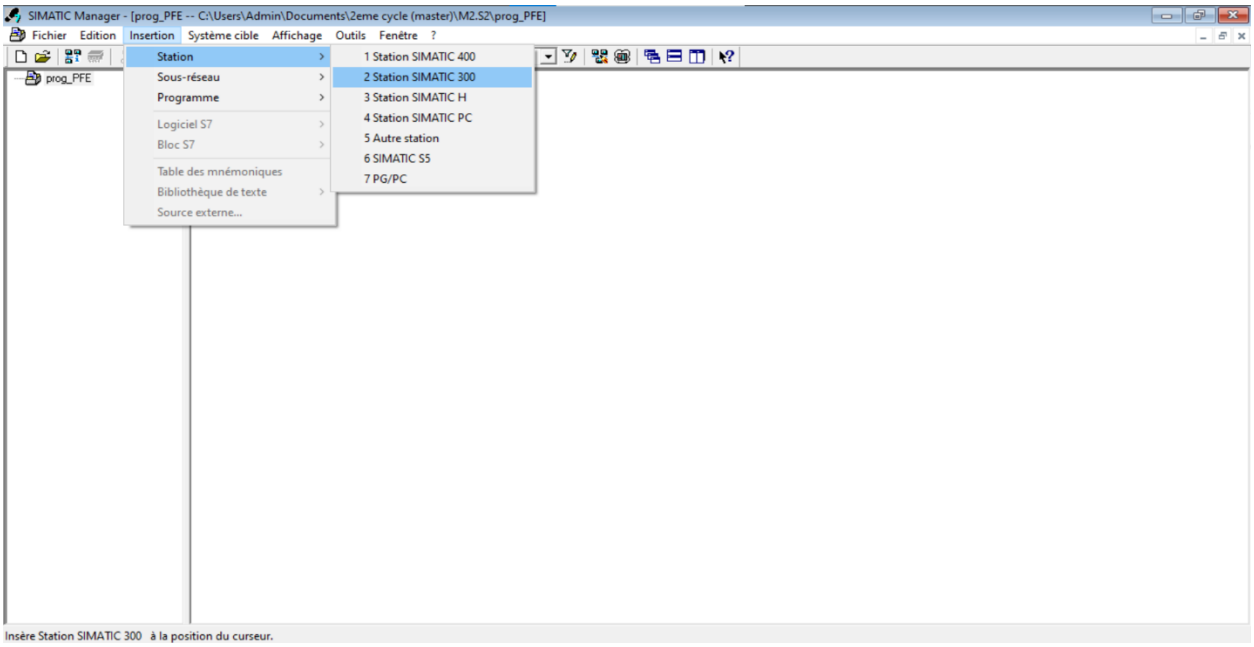


Figure IV .7 : Fenêtre de choix de station utilisé.

4- En cliquant sur **SIMATIC 300(1)**, puis **matériel**, une fenêtre HW config apparaît selon la (**Figure IV .7**) montre.

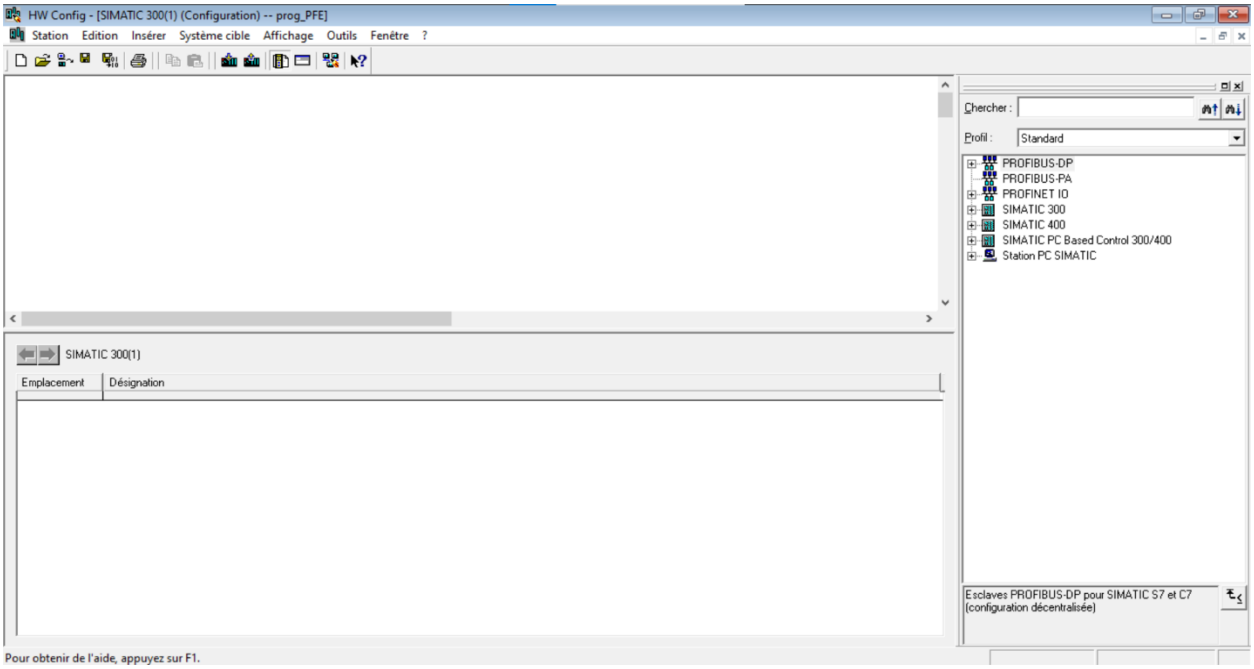


Figure IV .8 : L'application HW config pour commencer la configuration matérielle.

IV .4.2 Configuration matérielle :

La configuration matérielle consiste en la disposition des châssis (racks) [06], de modules et d'appareils de la périphérie centralisée. Les châssis sont représentés par une table de configuration dans laquelle on peut enficher un nombre définit de module, comme dans les châssis réels. Pour notre projet nous avons choisi la configuration matérielle suivante :

- ✓ Le module d'alimentation PS 307 2A ;
- ✓ La CPU 315-2 DP ;
- ✓ Un (01) module d'entrée logique de 16bits ;
- ✓ Un (01) modules de sorties logique de 16bits ;
- ✓ Deux (02) modules d'entrées analogiques de 2*12 bits et 2*12 bits ;
- ✓ Un module de sorties analogique de 2*12 bits ;

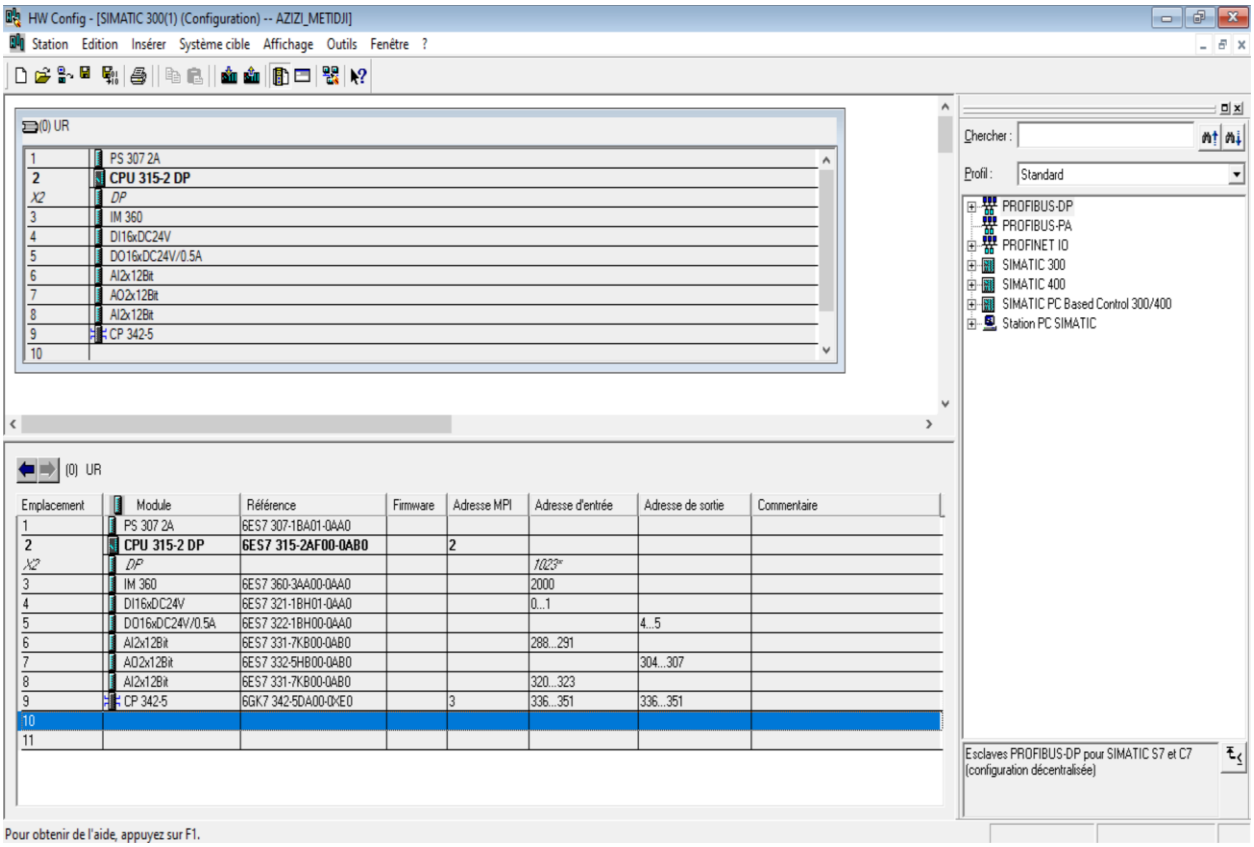
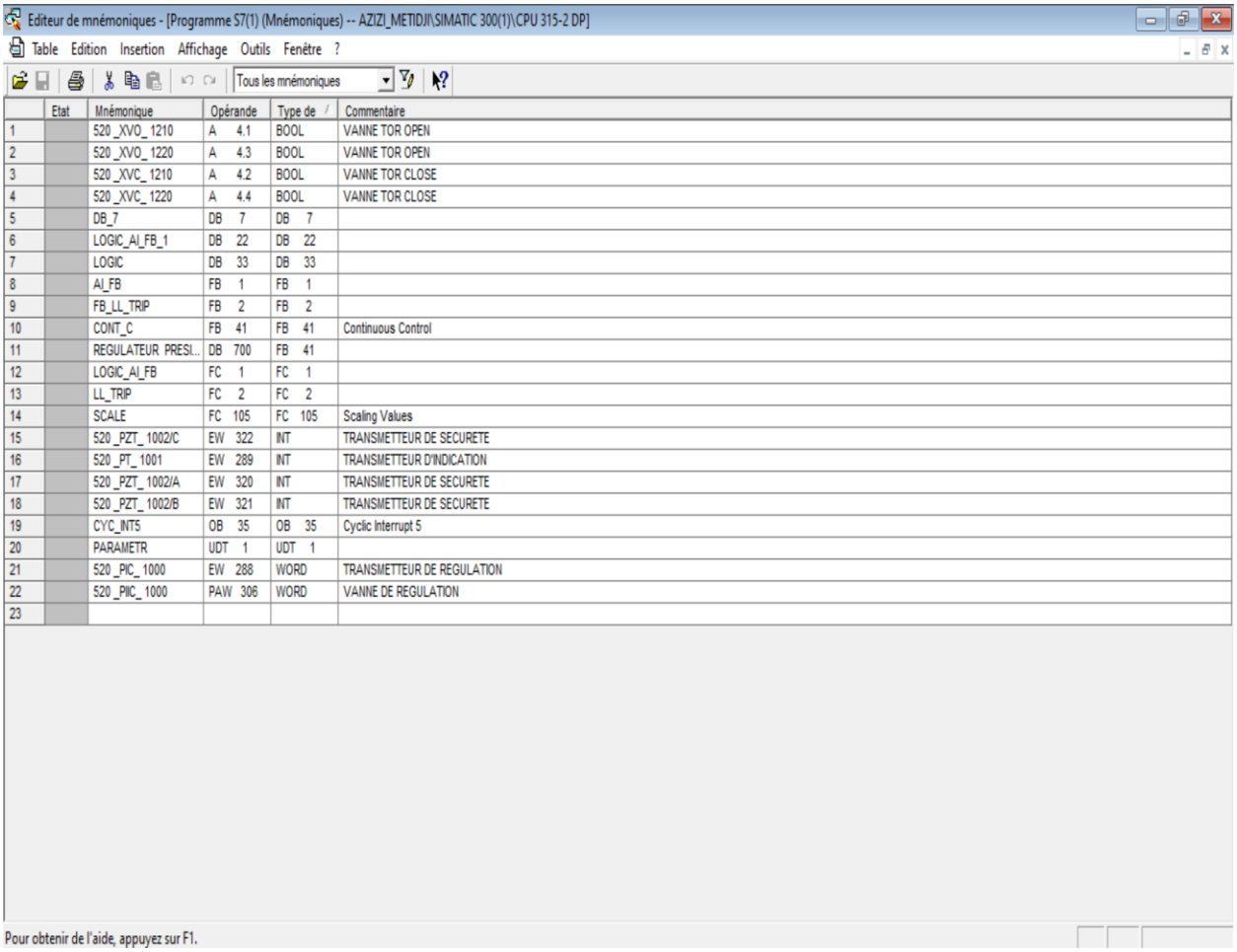


Figure IV .9 : Configuration matérielle du projet.

Après avoir configuré le matériel, il ne reste qu'à compiler et la charger dans la mémoire de l'automate.

IV .4.3 Table de mnémoniques :

Un mnémonique est un nom que l'utilisateur définit en respectant les règles de syntaxe imposées. Il est destiné à rendre le programme utilisateur très lisible et aide à gérer facilement les grands nombres de variables couramment rencontrés dans ce genre de programme. Ce nom peut être utilisé pour la programmation et le contrôle commande, une fois son affectation déterminée (par exemple : variable, type de donnée, bloc). La figure. Illustre la table des mnémoniques.



	Etat	Mnémonique	Opérande	Type de	Commentaire
1		520 _XVO_ 1210	A 4.1	BOOL	VANNE TOR OPEN
2		520 _XVO_ 1220	A 4.3	BOOL	VANNE TOR OPEN
3		520 _XVC_ 1210	A 4.2	BOOL	VANNE TOR CLOSE
4		520 _XVC_ 1220	A 4.4	BOOL	VANNE TOR CLOSE
5		DB_7	DB 7	DB 7	
6		LOGIC_AI_FB_1	DB 22	DB 22	
7		LOGIC	DB 33	DB 33	
8		AI_FB	FB 1	FB 1	
9		FB_LL_TRIP	FB 2	FB 2	
10		CONT_C	FB 41	FB 41	Continuous Control
11		REGULATEUR_PRESI...	DB 700	FB 41	
12		LOGIC_AI_FB	FC 1	FC 1	
13		LL_TRIP	FC 2	FC 2	
14		SCALE	FC 105	FC 105	Scaling Values
15		520 _PZT_ 1002/C	EW 322	INT	TRANSMETTEUR DE SECURETE
16		520 _PT_ 1001	EW 289	INT	TRANSMETTEUR D'INDICATION
17		520 _PZT_ 1002/A	EW 320	INT	TRANSMETTEUR DE SECURETE
18		520 _PZT_ 1002/B	EW 321	INT	TRANSMETTEUR DE SECURETE
19		CYC_INT5	OB 35	OB 35	Cyclic Interrupt 5
20		PARAMETR	UDT 1	UDT 1	
21		520 _PIC_ 1000	EW 288	WORD	TRANSMETTEUR DE REGULATION
22		520 _PIIC_ 1000	PAW 306	WORD	VANNE DE REGULATION
23					

Figure IV .10 : Table de mnémoniques.

IV .5 Validation du programme de conduite :

Nous avons utilisé le logiciel de simulation d'automate S7-PLSIM Pour la validation de nos programmes, intégré dans l'atelier logiciel STEP7 professionnel, ce dernier permet de tester dynamiquement les programmes de toute configuration d'automate SIMATIC S7 sans nécessiter de matériel cible, de plus il rend la mise en service plus rapide en permettant d'optimiser et de peaufiner les programmes bien avant.

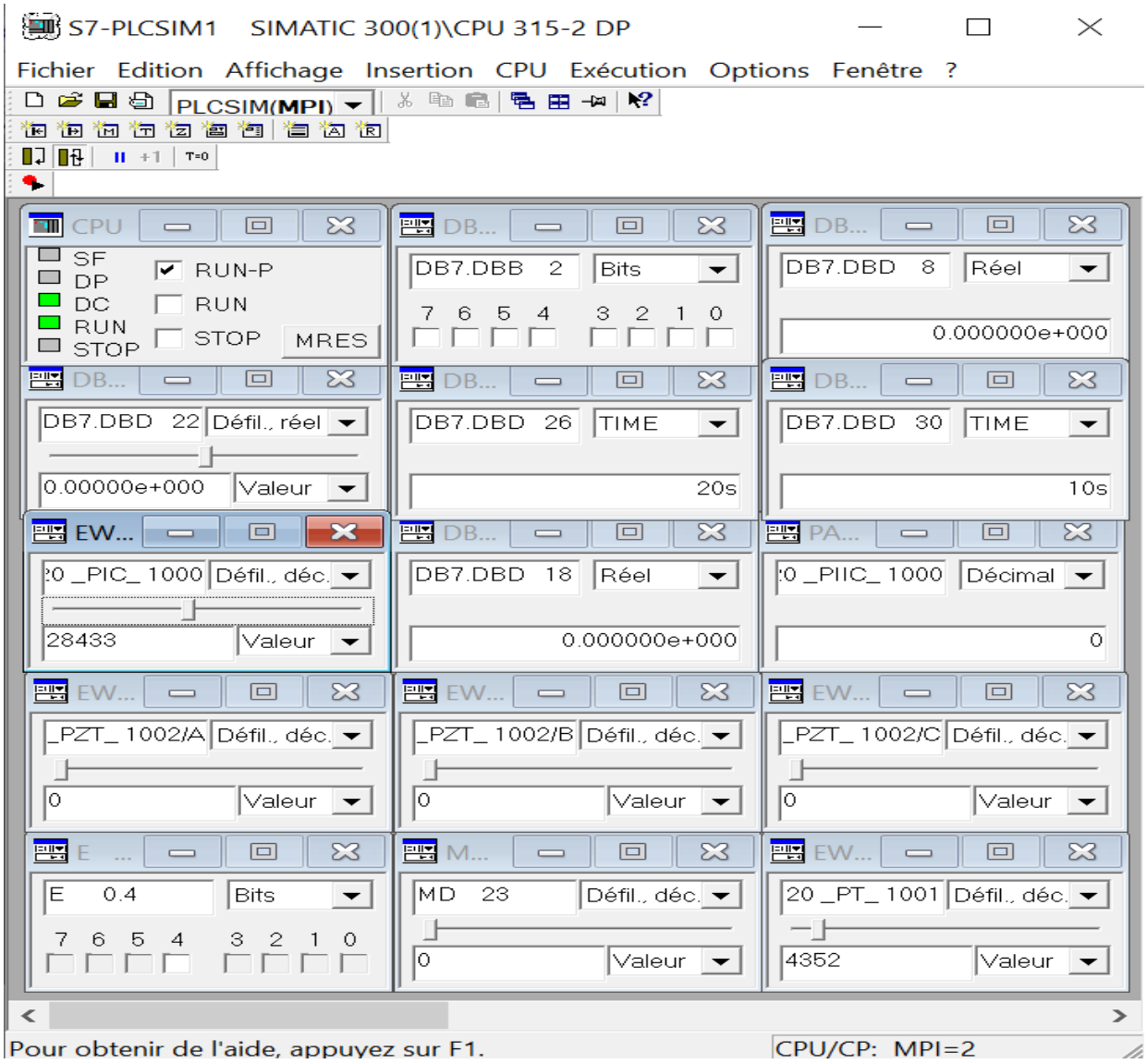


Figure IV .11 : Le simulateur S7 PLCSIM.

IV .6 Structure de notre programme :

A) Type de programme utilisé :

L'approche de programmation adoptée pour notre système est du type structuré complexe qui consiste en la subdivision du programme en petites parties, correspondant aux fonction (FC) et bloc de fonction (FB) du processus d'automatisation qui peuvent être utilisés fois en leurs faisant appel dans le bloc organisationnel OB, et ceci dans le but de simplifier et d'éclaircir notre programme ce qui n'aurait pas pu être possible avec la programmation linéaire.

B) Blocs utilisés dans notre programme :

On distingue plusieurs types de blocs de programme, chaque type avec ses propres caractéristiques :

Tableau IV .1 : Représente les types de blocs de programme

Bloc	Désignation	Rôle
OB	Bloc d'organisation	Constitue l'interface entre le système d'exploitation de la CPU S7 et le programme utilisateur. C'est ici, ou on définit l'ordre d'exécution des blocs du programme utilisateur.
FC	Bloc fonctionnel	Est un bloc de code à données statiques. Il dispose d'une mémoire, il est possible d'accéder à ses paramètres depuis n'importe quelle position du programme utilisateur
FB	Bloc de la fonction	Ce sont des blocs de code sans mémoire. De ce fait, il faut que les valeurs calculées soient traitées aussitôt après l'appel de la fonction
DB	Bloc des données	Est une zone servant à mémoriser les données utilisateur. On distingue les DB globaux, auxquels tous les blocs de code ont accès et les DB d'instance, qui sont associés à un appel de fb déterminé

La Figure IV .11 représente la structure du notre programme.

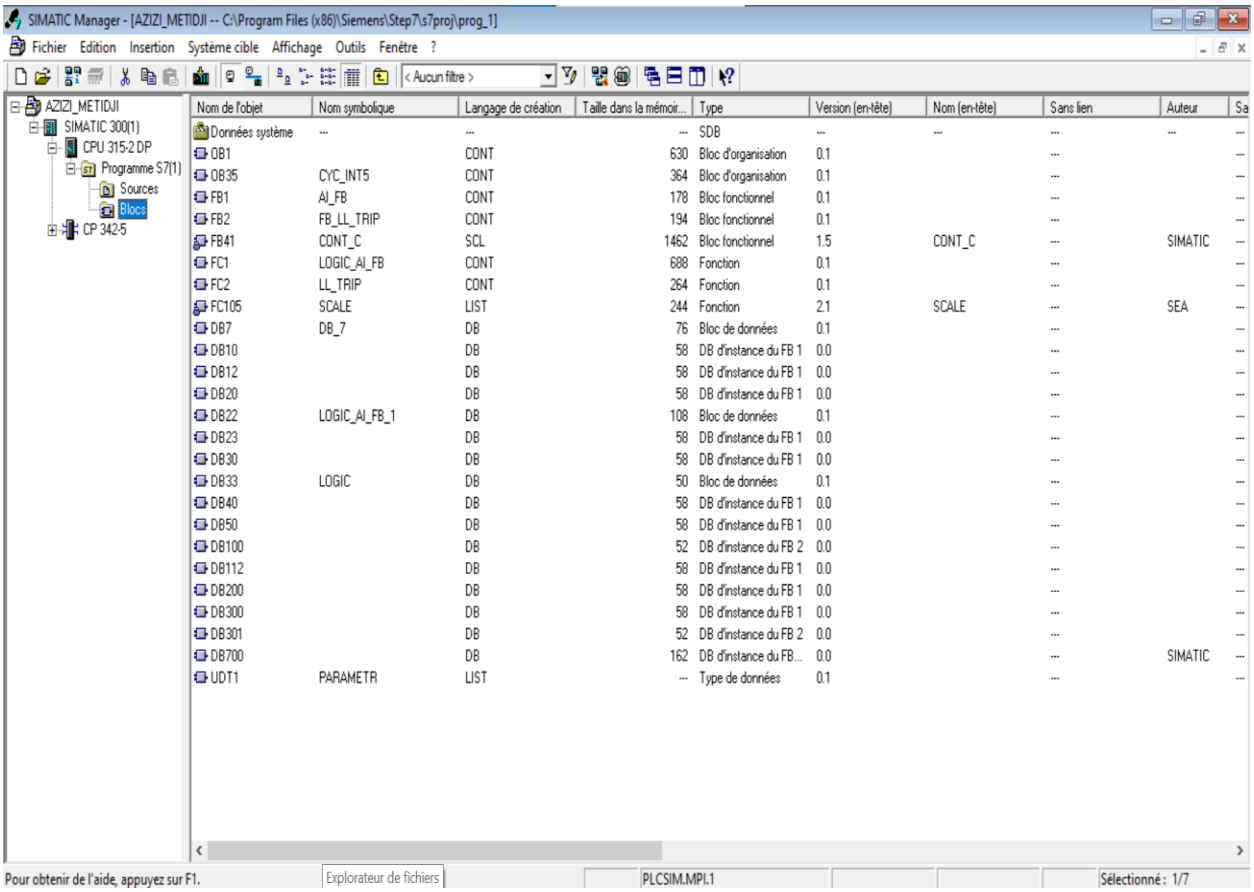


Figure IV .12 : la structure du notre programme.

IV .7 Programme :

IV .7.1 Programme mise à l'échelle des transmetteurs :

(Bloc AI_FB)

Ce programme permet de mettre les différents transmetteurs qui on a utiliséé on leur propres échelles de fonctionnements, avec une alarme lorsqu'une sortie dépasse la plage de fonctionnement spécifiée (hors échelle).

- **Logique de fonctionnement :**

On utilise la fonction Mise à l'échelle FC105 (SCALE) qui prend une valeur entière (IN) et la convertit en une valeur réelle exprimée en unités physiques, comprises entre une limite inférieure (LO_LIM) et une limite supérieure (HI_LIM).

Paramètre du module :

- EN : alimentation du module
- IN : valeur d'entrée a convertir
- HI-LIM : limite supérieure
- LO-LIM : limite inferieur
- BIPOLAIRE : L'état du signal '1'signifie que la valeur d'entrée est bipolaire (-27648 _ +27648) et l'état du signal'0'qu'elle est unipolaire (0 _ 27648).
- OUT : Résultat de la conversion d'échelle

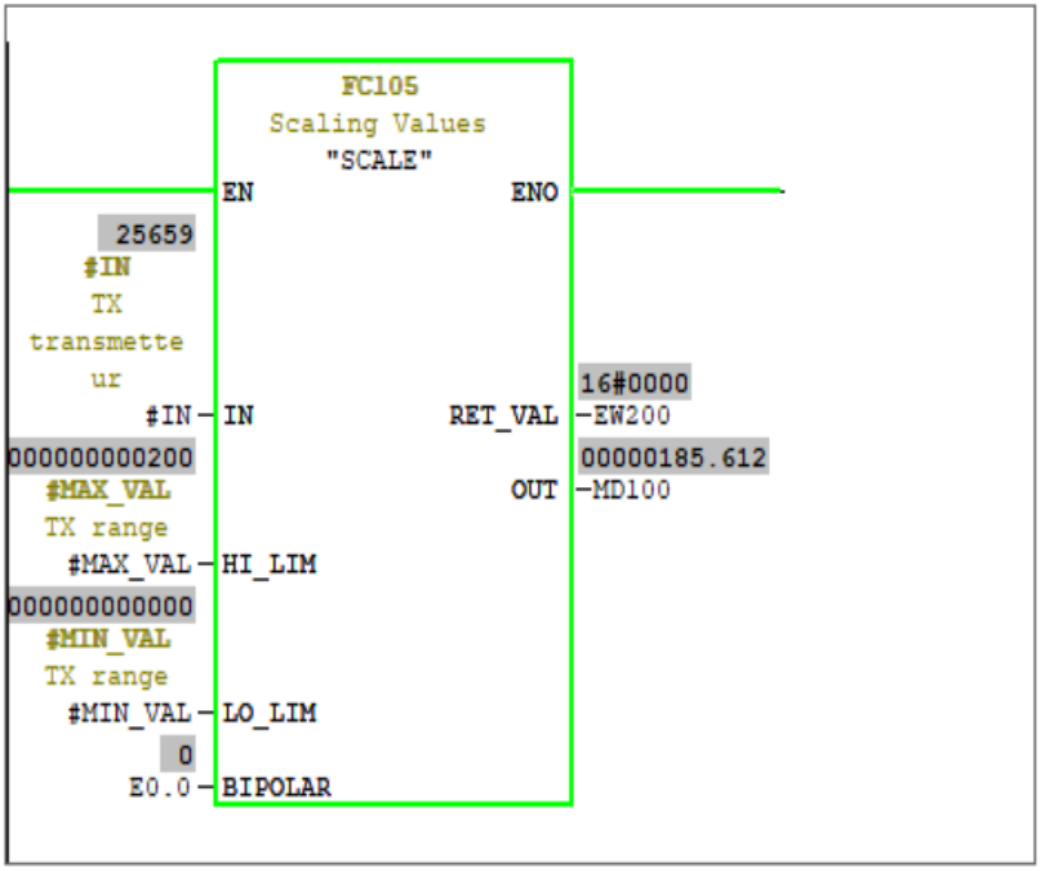


Figure IV .13 : Mise à l'échelle de la pression comprise entre 0 et 200 bar (transmetteur d'indication).

L'entrée du transmetteur (IN) est comparée à deux seuils : (L_limite) limite basse et (H_limite) limite haute.

Si la valeur de IN dépasse (H_limite) ou descend en dessous de (L_limite), le transmetteur génère un signal (Erreur_1), Cela signifie que la mesure est hors échelle comme le montre les Figures ci-après.

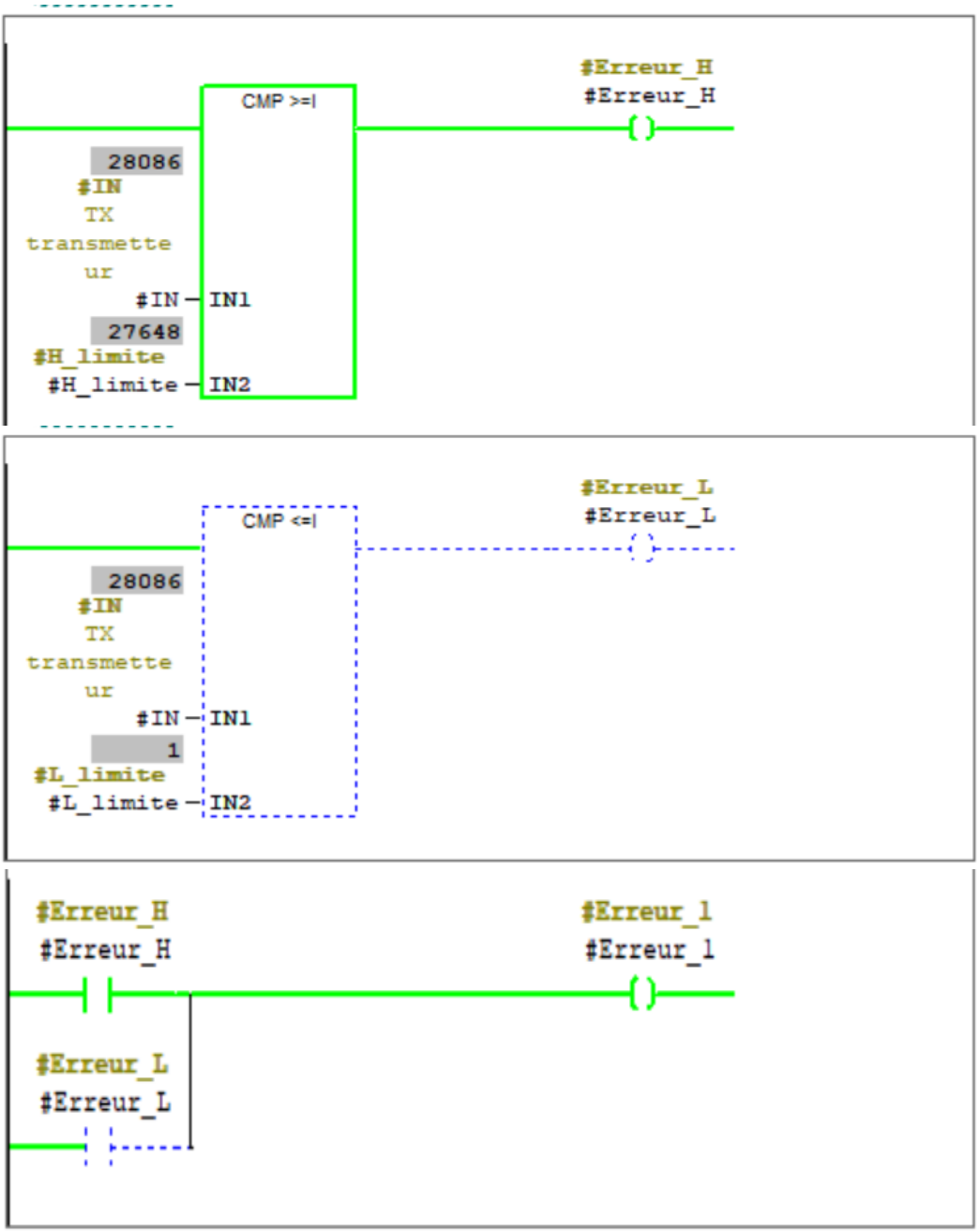


Figure IV .14 : Bloc fonctionnel du AI_FB.

Programme échelle de transmetteur créée dans le bloc d'organisation (OB1) est le suivant :

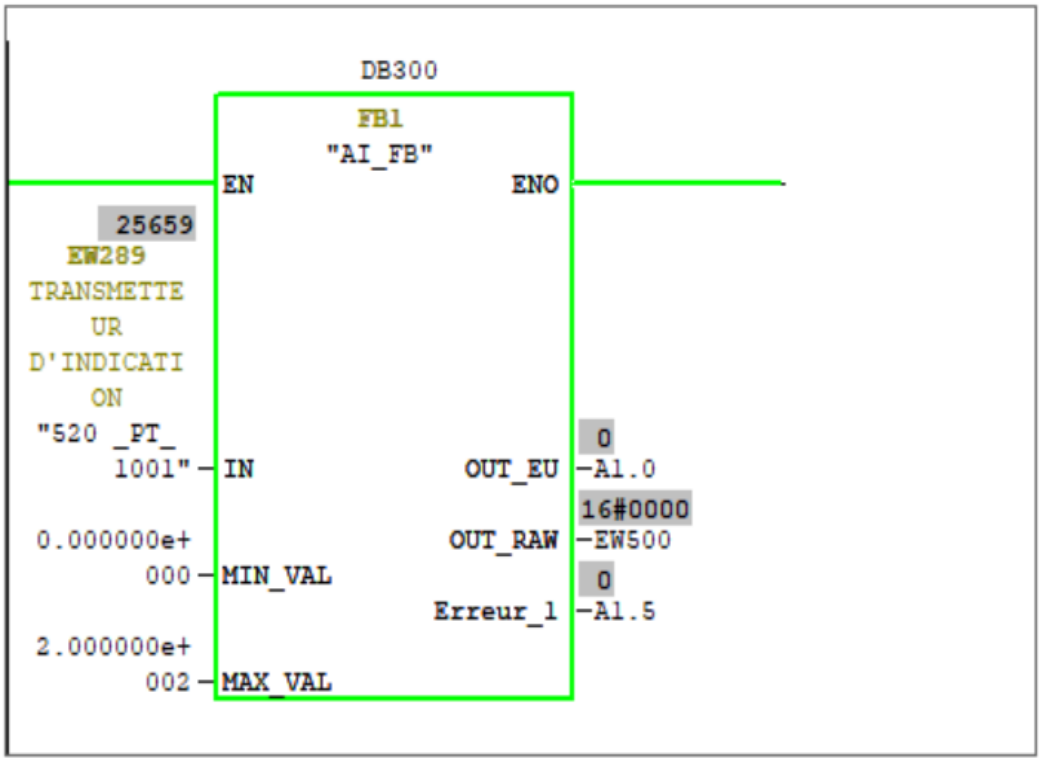


Figure IV .15 : Programme échelle de transmetteur.

IV .7.2 Programme de vote 2oo3 – Déclenchement de sécurité :

Ce système applique une logique de vote Deux sur Trois (2oo3), Cela signifie qu'au moins deux transmetteurs doivent détecter la chute de pression pour que la condition soit considérée comme validé pour mettre en marche l'alimentation du cadre d'azote qui cela permet de compenser l'alimentation principale pour garantir une bonne étanchéité de compresseur.

- **Logique de fonctionnement :**

Nous allons utiliser la même fonction que celle employée dans le bloc AI_FB, c'est la fonction Mise à l'échelle FC105 (SCALE) qui permet de mettre nos transmetteurs de sécurité en leur échelle de fonctionnements.

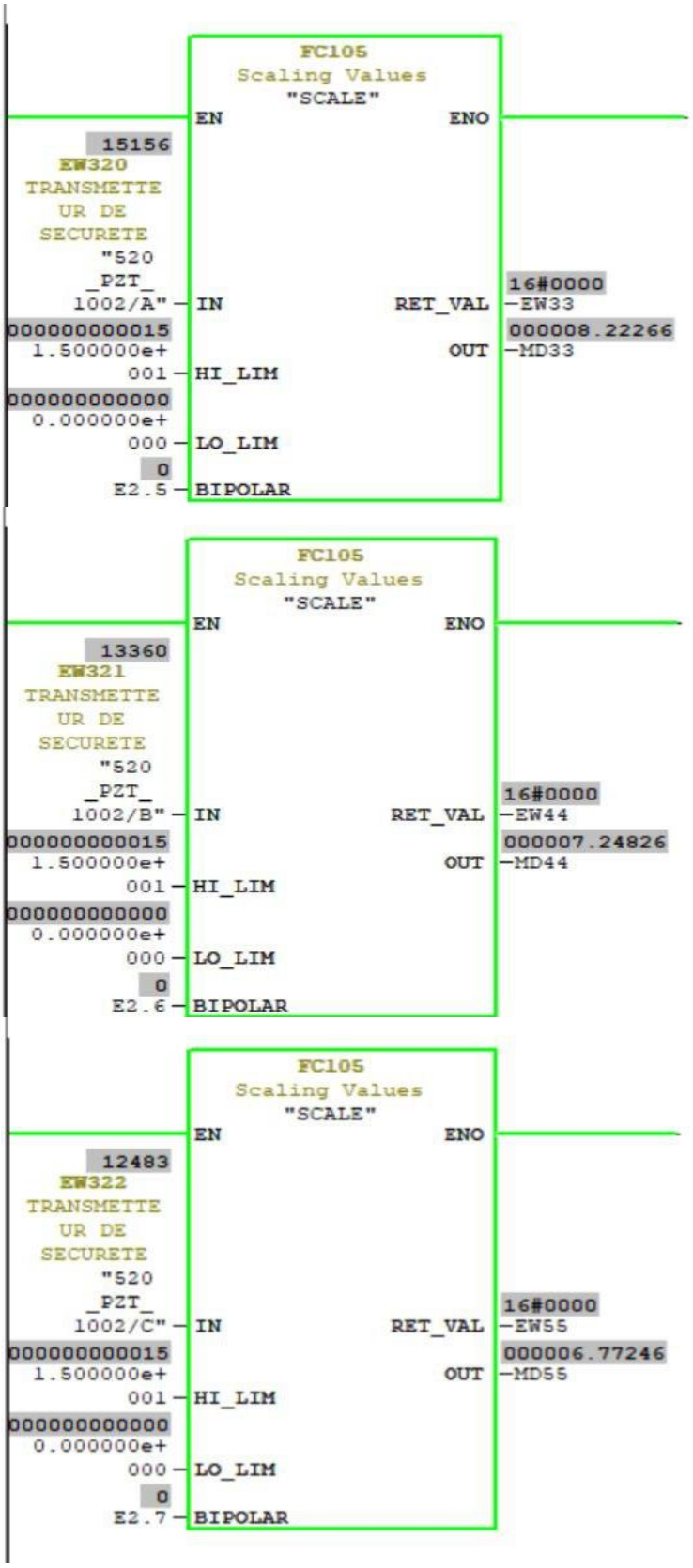


Figure IV .16 : Mise en échelle de la pression des transmetteurs de sécurité (PZT).

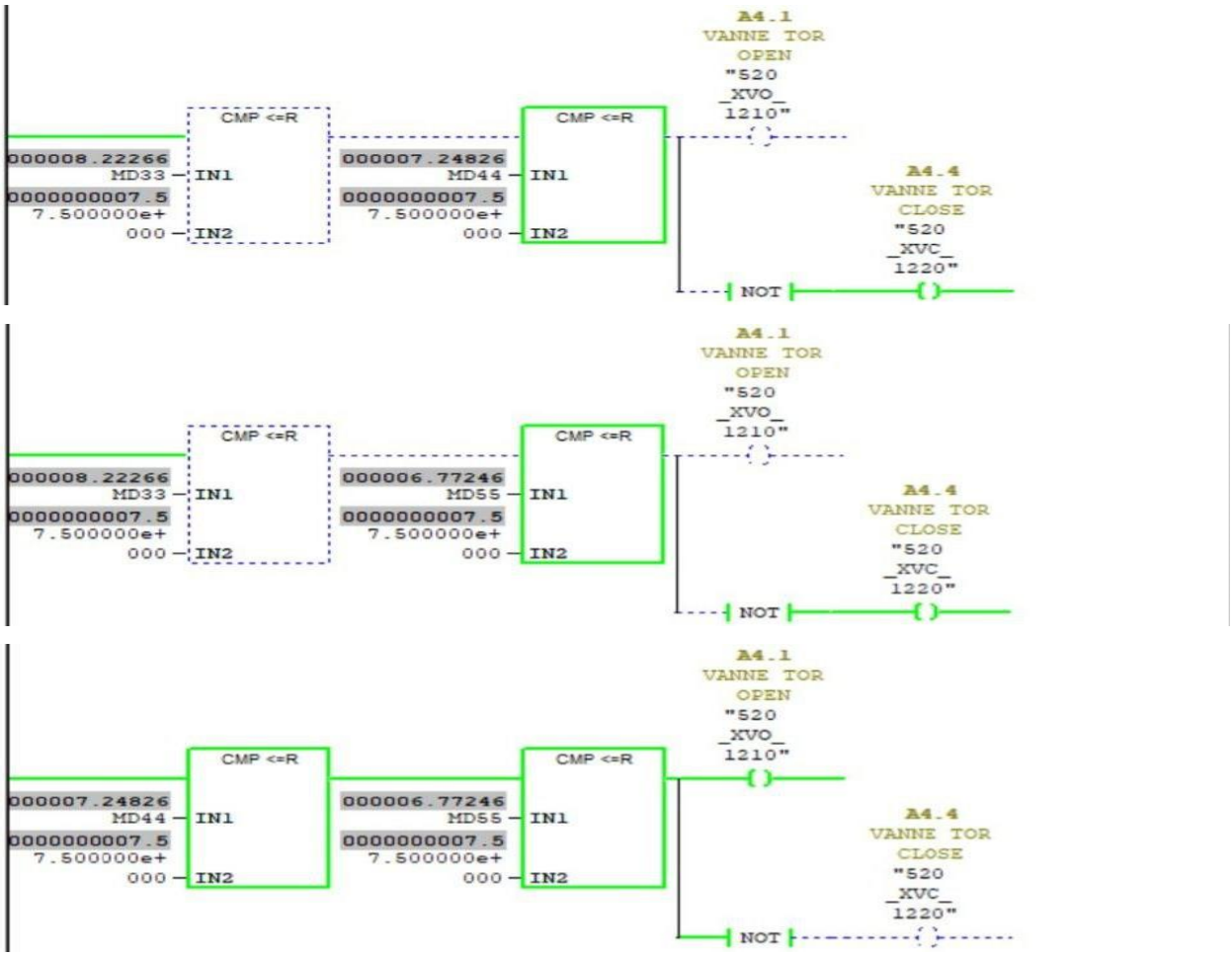


Figure IV .17 : Logique de vote 2oo3 - Déclenchement de sécurité.

Réseau 1 : Si la valeur MD33 (la sortie OUT du 1er transmetteur 520 -PZT-1002/A) **et** si celle du MD44 (la sortie OUT du 2ème transmetteur 520 -PZT-1002/B) sont inférieure ou égale au seuil critique de 7.5 bar, alors la condition est vraie, ce qui implique que la vanne du cadre d'azote s'ouvre et celle du réseau principal se ferme (l'inverse est également vrai).

Réseau 2 : Si la valeur MD33 (la sortie OUT du 1er transmetteur 520 -PZT-1002/A) **et** si celle du MD55 (la sortie OUT du 3ème transmetteur 520 -PZT-1002/C) sont inférieure ou égale au seuil critique de 7.5 bar, alors la condition est vraie donc la vanne du cadre d'azote s'ouvre et celle du réseau principal se ferme (l'inverse est également vrai).

Réseau3 : Si la valeur MD44 (la sortie OUT du 2ème transmetteur 520 -PZT-1002/B) **et** si celle du MD55 (la sortie OUT du 3ème transmetteur 520 -PZT-1002/C) sont inférieure ou égale au seuil critique de 7.5 bar, alors la condition est vrai donc la vanne du carde d'azote s'ouvre et celle du réseau principal se ferme (l'inverse est également vrai).

IV .7.3 Programme d'alarme et de trip du compresseur :

(Bloc FB_LL_ALARM_TRIP)

Ce programme utilisé pour la gestion d'alarme et de trip du compresseur lorsqu'un niveau bas de pression est détecté.

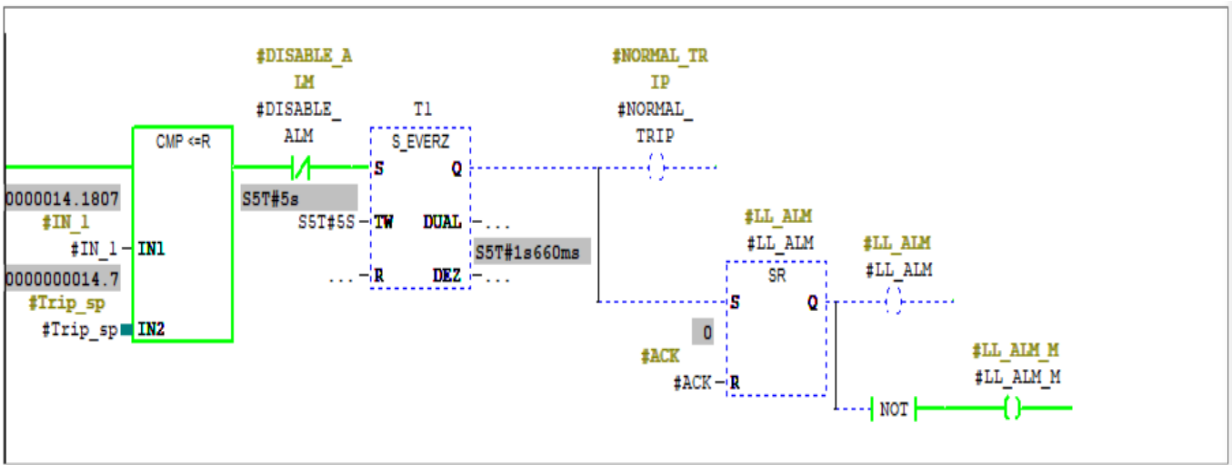


Figure IV .18 : Bloc fonctionnel de la gestion d'alarme. (Réseau 1)

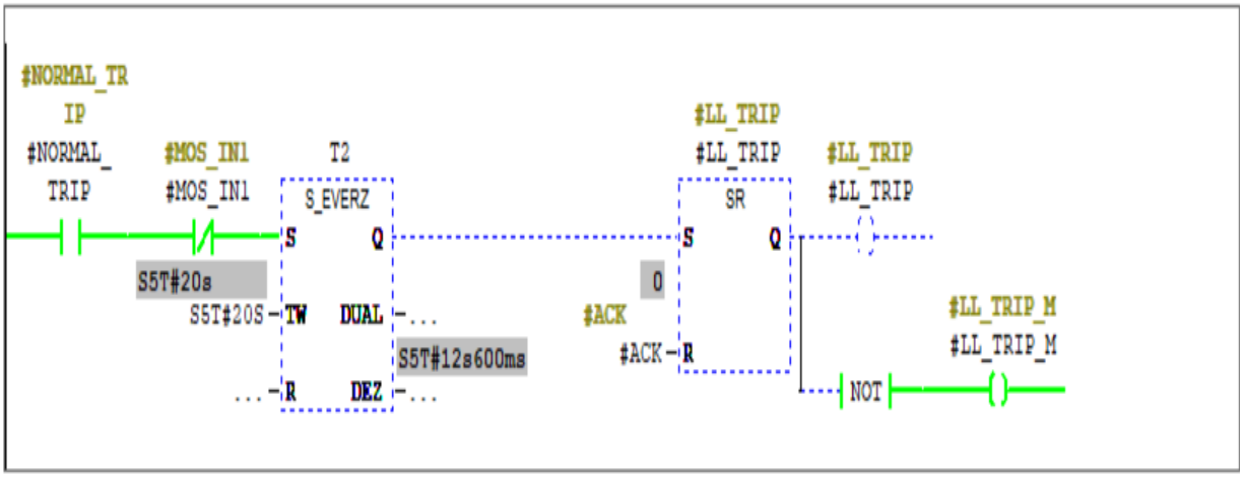


Figure IV .19 : Bloc fonctionnel de la gestion de trip. (Réseau 2)

- **Logique de fonctionnement :**

❖ **Réseau 1 :** Gestion de l'alarme

- **Comparaison :** si la valeur IN_1 (la mesure) est inférieure ou égale au seuil Trip_sp (14.7 bar), alors la condition est vraie (niveau bas détecté).
- **Temporisation (S_EVERZ T1) :** si la condition est vraie pendant 5s par exemple et que l'alarme n'est pas désactivée, alors la sortie Q du temporisateur T1 passe à 1.

- **Bascule SR (mémorisation de l'alarme) :** si le point Normal_trip est active, la sortie Q de T1 activée l'alarme (LL_ALM) [set], et quand l'opérateur acquittée par l'appuie sur (ACK) elle va réinitialiser [Reset] l'alarme.

❖ **Réseau 2 :** Gestion du trip

- **Temporisation (S_EVERZ T2) :** quand les deux conditions (Normal_trip) et (Mos_IN1) sont validées, un deuxième temporisateur T2 commence le comptage (20s par exemple) pour sécuriser ou retarder le TRIP du compresseur.
- **Bascule SR (mémorisation du TRIP) :** quand le temporisateur T2 termine le comptage, la sortie Q de T2 passe à 1 et activée le trip (LL_TRIP) [set], et quand l'opérateur acquittée par l'appuie sur (ACK) elle va réinitialiser [Reset] le trip.

Programme d'alarme et de trip du compresseur créé dans le bloc d'organisation (OB1) est le suivant :

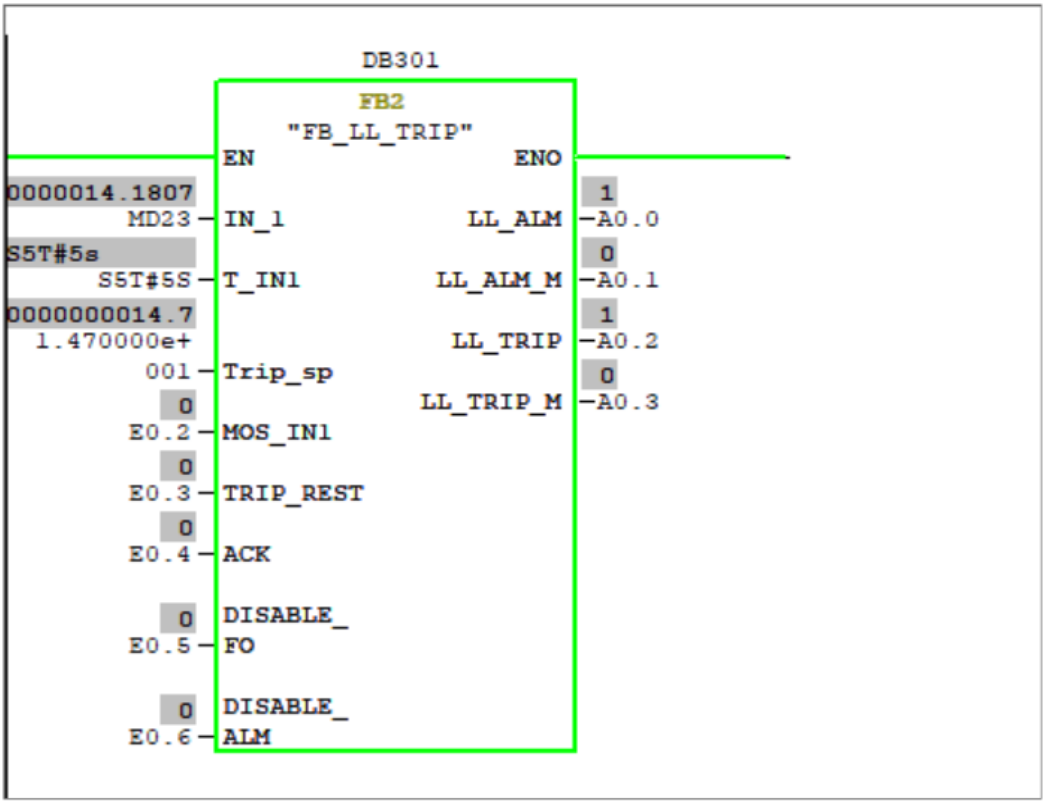


Figure IV .20 : Programme d'alarme et de trip du compresseur**.**

IV .7.4 programmes de Régulation de pression :

C'est pour régler la bonne pression de service nécessaire à l'étanchéité du compresseur:

- **Logique de fonctionnement :**

Le FB 41 (régulateur PID) est utilisé pour la régulation continue de la vanne de régulation proportionnelle 520 -PV-1000. Son rôle est de calculer la valeur d'ajustement en fonction de l'erreur (consigne – mesure) selon les algorithmes précédents.

Au début du processus, le régulateur initie la régulation afin que la variable mesurée (PV) atteigne la valeur de la consigne souhaitée (SP).

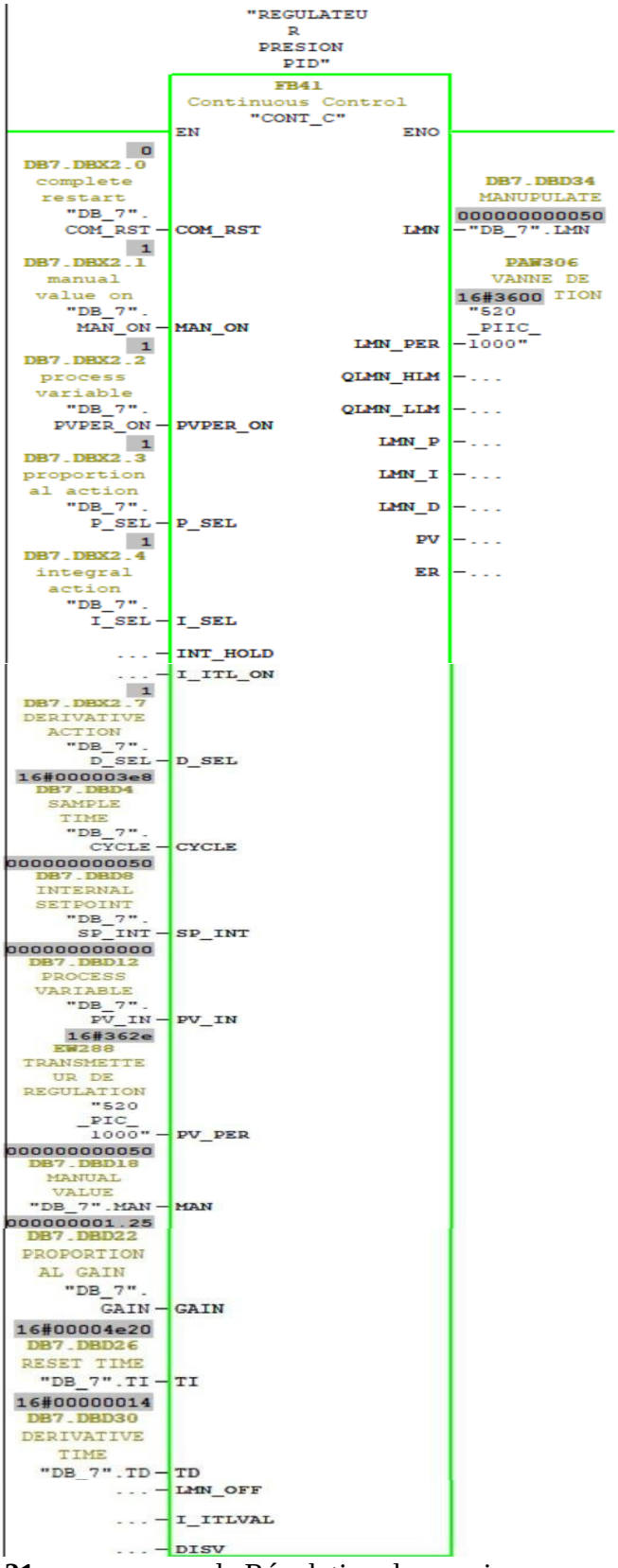


Figure IV .21 : programme de Régulation de pression

IV .8 Conclusion :

Nous avons consacré ce chapitre pour la partie de développement de notre solution qui consiste à maintenir la pression d'azote suffisante pour assurer l'étanchéité du compresseur 520-K-001 en cas de trip de l'unité d'alimentation principale U810, ainsi que pour les étapes de sa réalisation.

Nous avons présenté en détails la réalisation de notre système où nous avons décrit la mise à l'échelle des transmetteurs**,** le programme d'alarme et de trip du compresseur, celui du vote 2oo3 de déclenchement de sécurité ainsi que le programmes de régulation de pression de service.

Conclusion Générale

Conclusion Générale :

Dans le cadre de notre projet de fin d'études au sein de l'entreprise Sonatrach, plus précisément la raffinerie d'Alger de Sidi Rezine-beraki, nous avons eu l'opportunité d'approfondir notre compréhension des processus industriels du secteur énergétique. Cette expérience nous a permis de nous familiariser avec l'ensemble des techniques d'automatisation utilisées dans cette industrie.

Le but de notre travail est l'étude et réalisation d'une boucle régulation au niveau du compresseur 520-k-001 pour assurer l'alimentation d'azote en cas de défaillance de l'unité U810. Pour se faire, nous avons utilisé un automate programmable SIEMENS de la gamme SIMATIC S7-300.

Afin d'atteindre les objectifs de notre projet, nous avons commencé par prendre connaissance du fonctionnement actuel de compresseur. Ensuite, nous avons effectué des recherches pour trouver les instruments appropriés pour les modifications proposées. Par la suite, nous avons utilisé le logiciel SIMATIC STEP7 pour configurer et programmer l'API (Automate Programmable Industriel) et le logiciel PLCSIM pour simuler le programme.

Grâce au projet que nous avons développé, nous avons pu acquérir une compréhension approfondie des techniques d'automatisation industrielle, des instruments et des équipements utilisés, de leurs configurations et de leurs installations. Cela nous a permis de consolider nos connaissances préalablement acquises dans ce domaine.

Les résultats expérimentaux du travail démontré l'efficacité de la solution mise en œuvre, soulignant l'importance de l'automatisation dans la régulation des systèmes industriels. Grâce à ce travail, nous avons non seulement renforcé la fiabilité du compresseur, mais également contribué à l'optimisation des processus de production, ce qui est crucial dans un environnement aussi dynamique que celui de la raffinerie d'Alger.

Enfin, nous espérons que ce travail sera pris en considération et mis en œuvre sur le terrain.

Références bibliographiques :

[1] Sonatrach, "L'Énergie pour un développement durable," Sonatrach. [En ligne]. Disponible : https://sonatrach.com/raffinage-et-petrochimie. [Consulté le 21 mai 2024].

[2] C. Guiti, "Automatisation et supervision d'une alimentation de secours en azote liquide de la raffinerie de Sonatrach," Mémoire de master, Univ. M'Hamed Bougara, Boumerdès, Algérie, 2024.

[3] Ben_Wannabestrong_parker, "Vue intérieure de la raffinerie d'Alger," Instagram, Photographie, 22 juillet 2020. [En ligne]. Disponible : https://www.instagram.com/p/CC7CpfAAOMH/. [Consulté le 5 juin 2025].

[4] F. Manaa, "Application de la méthode d'analyse AMDEC sur une sphère de stockage de GPL et simulation PHAST pour un BdLEVE," Mémoire de master, Univ. M'Hamed Bougara, Boumerdès, Algérie, 2024.

[5] F. Krim et Y. Kirouani, "Étude, amélioration et automatisation du thermo-circulateur de la raffinerie de Sidi-Arcine (Alger)," Mémoire de master, Univ. Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, Algérie, 2018.

[6] N. Bentarzi, "Évaluation des plans d'urgence pour une réponse efficiente en cas d'accident : cas de la raffinerie Sidi-Arcine d'Alger," Mémoire de master, École Nationale Polytechnique, Alger, Algérie, 2018.

[7] A. Ababsa, O. Zemmouri et A. Aissaoui, "Augmentation de capacité et vérification de l'unité de distillation atmosphérique de la raffinerie d'Alger," Mémoire de master, Univ. Echahid Hamma Lakdhar, El Oued, Algérie, 2021.

[8] Google Maps, "Raffinerie d'Alger, Baraki, Algérie," Google Maps. [En ligne]. Disponible : https://maps.app.goo.gl/ac59J47cvgCWv5cn9. [Consulté le 25 mars 2025].

[9] A. Renane, "Traitement et analyse des eaux de rejets au niveau de la raffinerie d'Alger," Mémoire de master, Univ. M'Hamed Bougara, Boumerdès, Algérie, 2016.

[10] Cabinet NPM, "Les capteurs en instrumentation industrielle," Cabinet NPM. [En ligne]. Disponible : https://cabinetnpm.com/les-capteurs-en-instrumentation-industrielle/. [Consulté le 28 mars 2025].

[11] PR Electronics, "Les principes de base des boucles de courant 4–20 mA," PR Electronics. [En ligne]. Disponible : https://www.prelectronics.com/fr/les-principes-de-base-des-boucles-de-courant-4-20-ma/. [Consulté le 28 mars 2025].

[12] Myriad DZ, "Thermomètre bimétallique," Myriad DZ. [En ligne]. Disponible : https://myriad-dz.com/thermometre-bimetallique/. [Consulté le 3 avril 2025].

[13] All.biz, “Termómetros de vidrio,” All.biz. [En ligne]. Disponible : https://all.biz/ar-es/termmetros-de-vidrio-g108441. [Consulté le 5 avril 2025].

[14] A. Terras, *Précis de physique et électricité appliquées, BTS Mécanique*, Bréal, France, 18 juillet 2003.

[15] Fluke Process Instruments, “Théorie des thermocouples,” Fluke Process Instruments. [En ligne]. (s.d.).

[16] Deltafluid, “Fiche technique : Plaque à orifice – Généralités,” PDF, nov. 2023. [En ligne]. Disponible : https://www.deltafluid.fr/files/Produits/Documents/dtf-smq-p3-ftp-001-rev1-fra-dplo-generalites-11.2023.pdf. [Consulté le 5 juin 2025].

[17] Fuji Electric France, “Fonctionnement d’un débitmètre ultrason : découvrez la technologie du débitmètre ultrason,” Blog Fuji Electric France, 2023. [En ligne]. Disponible : https://www.fujielectric.fr/blog/fonctionnement-debitmetre-ultrason-decouvrez-la-technologie-du-debitmetre-ultrason/. [Consulté le 5 juin 2025].

[18] InstrumExpert, *L'ABC du Delta-P : La mesure de niveau en réservoir ouvert, Livre 3*, avr. 2014.

[19] S. L. Simonson, “Comprendre les vannes : types et fonctions,” Tameson.fr, 29 janvier 2025. [En ligne]. Disponible : https://tameson.fr/pages/vannes. [Consulté le 2 mai 2025].

[20] M. M. Elhadi, “L’automatisation et la contribution d’amélioration d’un système d’irrigation,” Mémoire de master, Univ. Badji Mokhtar, Annaba, Algérie, 2017.

[21] S. Hammoumi, “Automatismes logiques & industriels,” cours GE1, Univ. Sidi Mohammed Ben Abdallah de Fès, 2017. [En ligne]. Disponible : http://www.est-usmba.ac.ma/coursenligne/GE-S2-M8.1-Automatismes%20logiques%20Industriels-CRS-El%20Hammoumi.pdf. [Consulté le 29 avril 2025].

[22] “Les automates programmables industriels (API),” Technologue Pro, 2019. [En ligne]. Disponible : https://www.technologuepro.com/cours-automate-programmable-industriel/Les-automates-programmables-industriels-API.htm. [Consulté le 15 avril 2025].

[23] “Architectures des automates programmables industriels,” Scietech, 2021. [En ligne]. Disponible : https://scietech.fr/architectures-des-automates-programmables-industriels-scietech. [Consulté le 25 avril 2025].

[24] C. Sas, “Protocoles réseaux industriels,” PEI France. [En ligne]. Disponible : https://www.peifrance.com/article/protocoles-reseaux-industriels/. [Consulté le 15 avril 2025].