



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



**Université Amar Telidji- Laghouat**

Faculté de Technologie  
Département d'électronique

## MÉMOIRE DE MASTER

DOMAINE : Science et Technologie

FILIÈRE : Électronique

OPTION : Instrumentation

Réalisé par : **BELLAKHDAR Houcine Eliraki**

Thème

**Pilotage automatisé d'une unité de régénération  
de glycol utilisant un PLC Siemens S7-1500**

Membres de jury :

---

BELKHIRI Mohammed	Prof	Président
ABOUCHABANA Nabil	MCA	Examineur
HADJ AISSA Aboubakeur	Prof	Encadrant

---

2024 / 2025

## Résumé :

Ce mémoire présente la conception, la programmation et la simulation d'un système automatisé de commande des brûleurs à gaz d'une unité de régénération de glycol utilisée dans les usines de traitement de gaz naturel. L'objectif principal est d'assurer une mise en marche et un arrêt sécurisés des brûleurs, tout en intégrant la supervision en temps réel à l'aide de l'environnement Siemens TIA Portal et WinCC RT Advanced. Le système est modélisé à l'aide de plusieurs Grafsets représentant les différentes séquences du procédé (test d'étanchéité, allumage, arrêt normal et d'urgence, etc.). L'automate Siemens S7-1511F a été retenu comme alternative au système existant basé sur un automate HIMATRIX F60. Les résultats obtenus montrent que la solution proposée assure un fonctionnement fiable, sécurisé et conforme au cahier des charges.

---

**Mots clés :** API, TIA Portal, WinCC RT, PLCSIM, Grafset, supervision, IHM, Siemens S7-1511F.

---

## الملخص:

يهدف هذا المشروع إلى تصميم وبرمجة ومحاكاة نظام آلي للتحكم في مشاعل وحدة تجديد الجليكول المستعملة في محطات معالجة الغاز الطبيعي. الهدف الرئيسي هو ضمان التشغيل والإيقاف الآمن للشعلات، مع دمج واجهة إشرافية تفاعلية باستخدام برنامج TIA Portal و WinCC RT Advanced تم بناء المشروع وفق مجموعة من مخططات GRAFCET التي تمثل تسلسل المهام (اختبار تسرب الغاز، تشغيل منفاخ الهواء، الإيقاف العادي والطارئ...). تم اختيار المتحكم Siemens S7-1511F كبديل للنظام الحالي القائم على HIMATRIX F60. وتؤكد نتائج المحاكاة أن الحل المقترح يلبي المتطلبات الوظيفية والسلامة ويوفر واجهة موثوقة وسهلة الاستخدام للتنفيذ الصناعي..

---

**الكلمات المفتاحية :** وحدة التحكم المنطقي القابل للبرمجة، برنامج (TIA PORTAL)، برنامج (WinCC RT)، محاكي (PLCSIM)، مخطط (Grafset)، المراقبة، واجهة المستخدم (HMI)، متحكم (S7-1511).

---

## Abstract:

This thesis presents the design, programming, and simulation of an automated burner control system for a glycol regeneration unit used in natural gas treatment plants. The main objective is to ensure safe start-up and shutdown of the burners while providing real-time supervision using Siemens TIA Portal and WinCC RT Advanced. The control logic is modeled through multiple Grafsets diagrams representing the main sequences (leak test, pilot ignition, normal and emergency shutdown, etc.). The Siemens S7-1511F PLC was chosen as a replacement for the existing HIMATRIX F60 based system. The results obtained show that the proposed solution ensures reliable, secure and compliant operation.

---

**Keywords:** PLC, TIA Portal, WinCC RT, PLCSIM, GRAFCET, supervisory, HMI, Siemens S7-1511F.

---

# Remerciements

Je remercie avant tout Allah, le Tout-Puissant, de m'avoir accordé la santé, la volonté et la force nécessaire pour mener à bien ce projet.

Je tiens à exprimer ma gratitude à ma famille pour son soutien indéfectible tout au long de mes années d'études.

Mes remerciements les plus sincères vont à mon encadrant, Mr HADJ AISSA Aboubakeur, pour ses précieux conseils, ses orientations éclairées et ses critiques constructives qui ont grandement enrichi ce travail.

Je remercie également l'ensemble du personnel de l'entreprise SONATRACH, spécialement au personnel de maintenance MPPO, ainsi que les enseignants du département électronique de l'université AMAR THELIDJI, pour leur aide et leurs enseignements.

Enfin, je souhaite adresser une pensée à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire.

# Abréviations

API	Automate Programmable Industriel.
BMS	Burner Management System (Système de management des bruleurs).
P&ID	Piping and Instrumentation Diagram.
TV302	(Temperature Valve) Vanne de contrôle de température.
K301	Soufflantes d'air.
XV410A	Vanne toute ou rien de type papillon (Vanne d'isolement de la soufflante A).
SDV	(Shut Down Valve), Vannes de sécurité du gaz combustible.
HS402	Sélecteur de mode de démarrage des soufflantes (Auto ou Test).
PB417	Bouton poussoir (Reset des défauts).
PB412	Bouton poussoir (Test vannes et Purge).
BP ESD	Bouton d'Arrêt d'urgence.
XI412	Voyant (Autorisation test vannes gaz et purge).
PSHH404	Interrupteur de pression de test des vannes principales du gaz.
HS401	Sélecteur de soufflante d'air (A ou B).
PSLL412	Interrupteur de pression d'air très basse.
PB413 A	Bouton poussoir (Démarrage pilote A).
PB413 B	Bouton poussoir (Démarrage pilote B).
PB414	Bouton poussoir (Démarrage brûleurs A et B).
PB416	Bouton poussoir (Arrêt brûleurs A et B).
ZSO	Fin de course d'ouverture de la vanne.
ZSC	Fin de course de fermeture de la vanne.
PB421	Bouton poussoir démarrage de la soufflante d'air en mode test.
PB422	Bouton poussoir arrêt de la soufflante d'air en mode test.
IHM	Interface Homme Machine.

# Table des figures

1.1	Contrôle manuel de niveau [2]. . . . .	2
1.2	Régulation mécanique de niveau de liquide [3]. . . . .	3
1.3	Boucle de régulation de débit pneumatique [5] . . . . .	4
1.4	Commande séquentielle pneumatique. [6] . . . . .	5
1.5	Boucle de régulation de débit [5] . . . . .	6
1.6	Relais électromagnétique [2] . . . . .	7
1.7	Fonctionnement d'un relais avec deux contact NO et NF [2]. . . . .	7
1.8	Armoire de logique câblée . . . . .	8
1.9	Premier API MODICON-084. [7] . . . . .	9
1.10	Architecture centralisée de l'API. . . . .	10
1.11	Norme IEC 61131-3 . . . . .	11
2.1	Accumulation d'hydrate [12]. . . . .	14
2.2	Modelé 3D de l'unité de régénération de glycol [14]. . . . .	15
2.3	Rebouilleur de Glycol. . . . .	16
2.4	Vanne de régulation de température TV302B. . . . .	16
2.5	Face avant des deux brûleurs . . . . .	17
2.6	Schéma simplifié du circuit de gaz et d'air de combustion. . . . .	18
2.7	Tableau local de démarrage et d'arrêt des brûleurs . . . . .	19
2.8	Grafcet G1 : Général. . . . .	20
2.9	Circuit du gaz principal des brûleurs. . . . .	21
2.10	Grafcet G2 : Test des vannes de sécurité gaz. . . . .	22
2.11	P&ID du circuit d'air [15] . . . . .	23
2.12	Grafcet G3 : Purge des chambres de combustion. . . . .	24
2.13	P&ID circuit de gaz pilotes [15]. . . . .	25
2.14	Grafcet G4 : Démarrage des pilotes. . . . .	26
2.15	P&ID circuit de gaz combustible des brûleurs [15]. . . . .	27

2.16	Grafcet G5 : Démarrage des brûleurs et arrêt de pilotes. . . . .	27
2.17	Grafcet G6 : Arrêt normal des brûleurs. . . . .	28
2.18	Grafcet G7 : Arrêt d'urgence des brûleurs. . . . .	29
2.19	Grafcet G8 : Gestion des soufflantes d'air. . . . .	30
2.20	Grafcet G9 : Mode Test . . . . .	32
3.1	Création du projet dans TIA Portal. . . . .	36
3.2	Configuration matérielle de la station S7-1500 sous TIA Portal . . . . .	37
3.3	Une partie du tableau de variables . . . . .	38
3.4	Création du bloc fonctionnel. . . . .	39
3.5	Bloc fonctionnel du Grafcet G1 (Général). . . . .	40
3.6	Appel des blocs fonctionnels (FB) dans OB1 . . . . .	41
3.7	Vue principale « Brûleurs ». . . . .	42
3.8	Vue « Alarmes ». . . . .	43
3.9	Vue « Info ». . . . .	44
3.10	Simulation du test des vannes (G2) - cas normal . . . . .	45
3.11	Simulation cas de défaut sur la vanne SDV402 . . . . .	46
3.12	Simulation de la séquence G3 en cours d'exécution. . . . .	47
3.13	Cas de défaut « PSL412 » . . . . .	47
3.14	Simulation d'allumage pilote A (Grafcet G4) . . . . .	48
3.15	Simulation d'un échec d'allumage du pilote A (G4) . . . . .	49
3.16	Simulation d'un allumage réussi des brûleurs (G5) . . . . .	50
3.17	Simulation d'une perte de flamme sur les brûleurs . . . . .	51
3.18	Simulation en cours d'arrêt normal des brûleurs G6 . . . . .	52
3.19	Simulation de l'arrêt d'urgence G7 . . . . .	53
3.20	Changement de soufflante d'air G8 . . . . .	54
3.21	Simulation du mode manuel commande de la soufflante A (G9) . . . . .	55

# Table des matières

Résumé	ii
Remerciements	ii
Abréviations	iii
Table des figures	iv
Introduction générale	ix
<b>1 Généralités sur les systèmes industriels et leurs commandes</b>	<b>1</b>
1.1 Introduction	1
1.2 Commande manuelle et mécanique	2
1.3 Commande pneumatique	3
1.3.1 Régulateur pneumatique	3
1.3.2 Commande séquentielle pneumatique	4
1.4 Commande électrique	6
1.4.1 Régulateur électronique	6
1.4.2 Commande séquentielle électrique	7
1.5 Automate Programmable Industriel (API)	9
1.6 Conclusion	12
<b>2 Description du procédé et cahier des charges</b>	<b>13</b>
2.1 Introduction	13
2.2 L'unité de régénération du Glycol	14
2.2.1 Rebouilleur de Glycol	15
2.2.2 Les brûleurs à gaz	16
2.2.3 Système de management des brûleurs (BMS)	18

2.3	Démarrage des brûleurs . . . . .	19
2.3.1	Phase 1 : Test des vannes de gaz et purge des chambres de combustion	21
2.3.2	Phase 2 : Démarrage des pilotes . . . . .	25
2.3.3	Phase 3 : Démarrage des brûleurs et arrêt des pilotes . . . . .	26
2.4	Arrêt normal des brûleurs . . . . .	28
2.5	Arrêt d'urgence des brûleurs . . . . .	28
2.5.1	Action d'arrêt d'urgence . . . . .	29
2.6	Gestion des soufflantes d'air . . . . .	29
2.6.1	Changement de soufflante d'air . . . . .	30
2.7	Mode Test des soufflantes d'air : . . . . .	31
2.7.1	Démarrage en mode test des soufflantes d'air . . . . .	31
2.7.2	Arrêt en mode test des soufflantes d'air . . . . .	31
2.8	Conclusion . . . . .	32
<b>3</b>	<b>Programmation et validation du système automatisé</b>	<b>34</b>
3.1	Introduction . . . . .	34
3.2	Présentation des outils utilisés . . . . .	35
3.3	Création du projet et Configuration matérielle dans TIA Portal . . . . .	35
3.4	Développement du programme de commande . . . . .	38
3.4.1	Déclaration des variables . . . . .	38
3.4.2	Programmation des blocs fonctionnels (FB) . . . . .	38
3.4.3	Organisation de travail . . . . .	40
3.5	Supervision de l'unité sous WinCC RT Advanced . . . . .	41
3.5.1	Vue principale : commande et visualisation des brûleurs . . . . .	42
3.5.2	Vue « Alarmes » . . . . .	42
3.5.3	Vue d'information du projet . . . . .	43
3.6	Validation fonctionnelle des séquences par simulation . . . . .	44
3.6.1	Test des vannes de gaz (G2) . . . . .	45
3.6.2	Purge des chambres de combustion (G3) . . . . .	46
3.6.3	Démarrage des pilotes (G4) . . . . .	48
3.6.4	Allumage des brûleurs (G5) . . . . .	49
3.6.5	Arrêt normal des brûleurs (G6) . . . . .	51
3.6.6	Arrêt d'urgence des brûleurs (G7) . . . . .	52
3.6.7	Gestion des soufflantes d'air (G8) . . . . .	53
3.6.8	Mode manuel (G9) . . . . .	54

3.7 Conclusion . . . . .	55
<b>Conclusion générale</b>	<b>57</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>59</b>

# Introduction générale

L'évolution rapide des systèmes industriels et les exigences croissantes en matière de sécurité, de performance et de supervision ont profondément transformé les méthodes de conception et de pilotage des procédés. Dans des secteurs tels que le traitement du gaz naturel, où les risques opérationnels sont élevés et les contraintes techniques multiples, l'automatisation s'impose comme une réponse incontournable pour assurer la maîtrise des installations.

Parmi les procédés clés dans ce domaine figure la déshydratation du gaz par absorption au glycol, accompagnée de la régénération de ce dernier. Ce processus, bien qu'établi sur le plan industriel, présente plusieurs séquences critiques nécessitant un contrôle rigoureux : démarrages, arrêts, tests de sécurité, surveillance continue. Leur gestion automatisée exige des solutions fiables, flexibles et capables d'intégrer des fonctions avancées telles que la communication, la gestion des défauts ou la supervision à distance.

C'est dans ce contexte qu'intervient le présent travail, qui vise à étudier et reproduire l'automatisation complète d'une unité de régénération de glycol, en prenant pour référence un système réel existant. La démarche adoptée repose sur une transposition pédagogique du procédé, en s'appuyant sur un environnement moderne de développement et de simulation.

L'objectif est de couvrir l'ensemble du cycle de vie d'un projet d'automatisation, depuis l'analyse fonctionnelle jusqu'à la validation des performances logiques et opératoires, en passant par la modélisation, la programmation, et la conception d'interfaces homme-machine.

Le présent mémoire est structuré en trois chapitres :

Le premier chapitre est consacré à l'évolution des systèmes de commande industriels, en exposant les principes des technologies successives : manuelles, pneumatiques, électriques, puis à base d'automates programmables.

Le second chapitre décrit en détail le procédé industriel de régénération de glycol, le cahier des charges de l'automatisation, ainsi que la modélisation des séquences par des Grafsets.

Le troisième chapitre présente la mise en œuvre pratique du projet, incluant la configuration de l'automate Siemens S7-1511F, la programmation des séquences, la conception de l'interface de supervision, la simulation des différents scénarios, et la validation du système automatisé.

# Chapitre 1

## Généralités sur les systèmes industriels et leurs commandes

### 1.1 Introduction

Un système industriel se définit comme un ensemble organisé de moyens matériels et humains destiné à transformer des matières premières en produits finis ou en services. Ces systèmes opèrent selon des procédures bien définies et doivent répondre à des critères de qualité, de sécurité, de productivité et de rentabilité [1].

Au fil du temps, leur développement a évolué des procédés manuels vers des technologies semi-automatisées, puis vers des systèmes entièrement automatisés grâce aux progrès de la mécanique, de l'électrotechnique et de l'informatique industrielle.

Avec l'augmentation de la complexité des systèmes, les techniques de commande ont évolué pour devenir de plus en plus performantes et autonomes. L'automatisation industrielle s'est imposée comme un levier d'optimisation, permettant d'améliorer la précision, la rapidité, la fiabilité et la répétabilité des opérations.

Ce chapitre présente l'évolution des principales technologies de commande des systèmes industriels, en abordant successivement les différentes formes de commande qui ont marqué l'histoire des systèmes industriels : la commande manuelle et mécanique, la commande pneumatique, la commande électrique, puis l'automatisation par automate programmable industriel (API).

## 1.2 Commande manuelle et mécanique

La commande manuelle constitue la forme la plus élémentaire de contrôle dans les installations industrielles. Ici, l'humain joue un rôle central dans le suivi, l'analyse et l'action sur le processus. Il n'existe pas d'automatisme, toute commande ou régulation repose sur une lecture humaine (niveau d'un liquide, température, pression, et débit d'un fluide) suivie d'une action physique (ouvrir ou fermer une vanne, actionner un levier, etc.).

La figure 1.1 illustre un système de commande manuelle élémentaire, où le niveau du liquide dans un réservoir dépend du débit entrant et sortant, régulés respectivement par des vannes d'entrée et de sortie manuellement. Ce niveau représente la variable contrôlée du procédé, qu'il est possible de mesurer et d'ajuster en intervenant sur ces organes de régulation. Dans ce type de système, c'est l'opérateur qui en observant les conditions du procédé en temps réel, ajuste la position des vannes à l'aide d'un robinet ou d'un levier pour maintenir le niveau souhaité. [2]

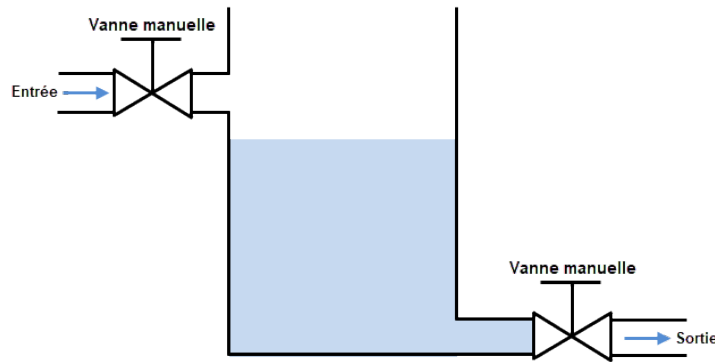


FIGURE 1.1 – Contrôle manuel de niveau [2].

Ces commandes manuelles présentent plusieurs inconvénients, ils sont lents, peu précisés, et fortement dépendants de la vigilance humaine.

Afin de dépasser les limites des commandes manuelles, l'industrie a adopté des systèmes de commande mécanique, marquant une première étape vers l'automatisation.

Ces systèmes utilisaient des mécanismes physiques (comes, leviers, engrenages) pour transmettre et amplifier les actions humaines, réduisant ainsi la charge opérationnelle et améliorant la précision. Par exemple, dans un régulateur mécanique de niveau de liquide, le flotteur qui repose à la surface de la phase liquide contenue dans un séparateur gaz/liquide ou dans un autre récipient, est relié mécaniquement à une tige connectée à une vanne de vidange. Le mouvement du flotteur vers le haut ou vers le bas entraîne directement le déplacement de

la tige, ce qui provoque l'ouverture ou la fermeture de la vanne de vidange, permettre une régulation autonome du niveau, éliminant le besoin d'intervention constante de l'opérateur [3].

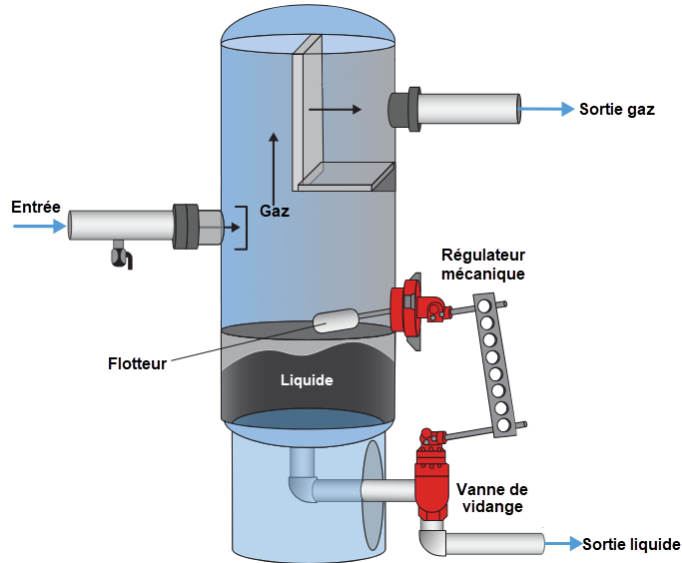


FIGURE 1.2 – Régulation mécanique de niveau de liquide [3].

Bien que plus fiables que le contrôle manuel, ces dispositifs restaient rigides, incapables de s'adapter à des paramètres variables sans modifications physiques, et leur manque de flexibilité.

## 1.3 Commande pneumatique

### 1.3.1 Régulateur pneumatique

L'utilisation de l'air comprimé dans les systèmes industriels a progressivement évolué, passant d'une simple source d'énergie mécanique à un véritable moyen de commande. Dans ce contexte, la régulation pneumatique s'est imposée comme une solution efficace pour le contrôle des procédés, le régulateur pneumatique est un dispositif qui utilise l'air comprimé comme source d'énergie pour contrôler les variables de processus dans les systèmes industriels. Il est largement utilisé dans l'industrie pétrolière et gazière pour réguler des paramètres tels que la pression, le débit, le niveau de liquide, etc. Ce régulateur fonctionne en convertissant les signaux pneumatiques en actions mécaniques, permettant ainsi un contrôle précis et fiable des processus. Leur conception robuste et leur capacité à fonctionner dans des environnements

difficiles en font des composants essentiels pour assurer la sécurité et l'efficacité des opérations sur les sites de production. [4]

La figure 1.3 présente une architecture typique d'une boucle de régulation de débit pneumatique.

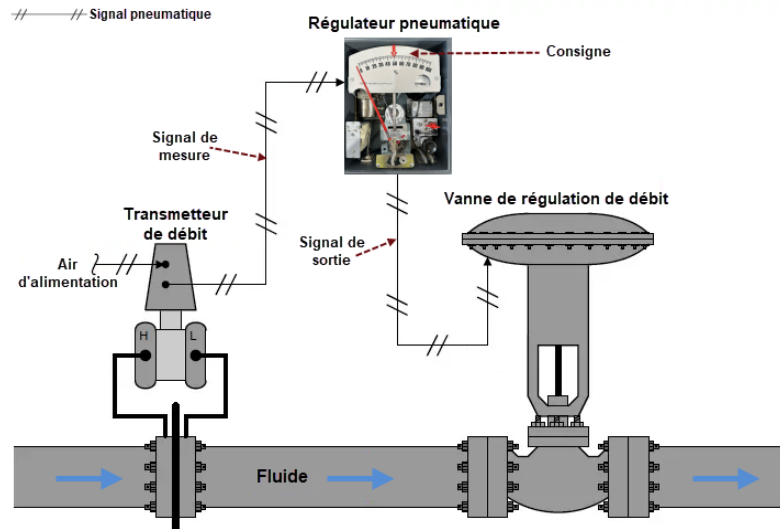


FIGURE 1.3 – Boucle de régulation de débit pneumatique [5]

Dans ce système, un transmetteur mesure le débit du fluide et transmet un signal pneumatique proportionnel à cette valeur vers le régulateur. Ce dernier compare le signal reçu à une valeur de consigne prédéfinie, puis génère un signal pneumatique de sortie destiné à la vanne de régulation. Cette dernière ajuste alors le débit en temps réel, assurant ainsi un contrôle dynamique conforme aux exigences du procédé. [5].

Contrairement à la commande mécanique, où toute modification de la consigne nécessite un ajustement matériel fastidieux (changement de cames, repositionnement de leviers, etc.), la régulation pneumatique permet de modifier la consigne à tout moment, simplement en agissant sur une pression de référence. Cela offre une flexibilité opérationnelle accrue, essentielle dans les procédés industriels où les conditions varient rapidement et où l'adaptabilité est un facteur de performance clé.

### 1.3.2 Commande séquentielle pneumatique

Avec le besoin croissant d'automatiser des tâches simples mais répétitives, l'industrie a peu à peu délaissé les systèmes purement mécaniques au profit des solutions pneumatiques. Alimentée par de l'air comprimé, cette technologie s'est imposée grâce à sa fiabilité, sa rapidité d'exécution et sa capacité à générer des mouvements linéaires ou rotatifs tels que pousser,

tirer ou actionner des volets sans recourir à des mécanismes complexes. L'un des apports majeurs de cette transition réside dans la possibilité d'élaborer des commandes séquentielles autonomes, en associant différents composants tels que les vérins, distributeurs à commande pneumatique, sélecteurs de position, fin de course, ou encore boutons poussoirs pneumatiques. Ces éléments, interconnectés selon une logique déterminée, permettent d'exécuter des cycles d'automatisation sans intervention humaine.

Un exemple simple de système de commande séquentielle pneumatique est illustré à la figure 1.4, où un vérin oscille en continu entre deux fins de course activés par butée, notés LS1 et LS2. Ceux-ci actionnent la vanne principale V1 au moyen de lignes de commande par pression pilote P. Le tiroir de la vanne principale ne possède pas de rappel par ressort et reste dans sa position jusqu'à ce qu'un signal opposé soit appliqué. Les clapets navette V2 et V3 permettent l'application de signaux externes via les orifices Y et Z. [6]

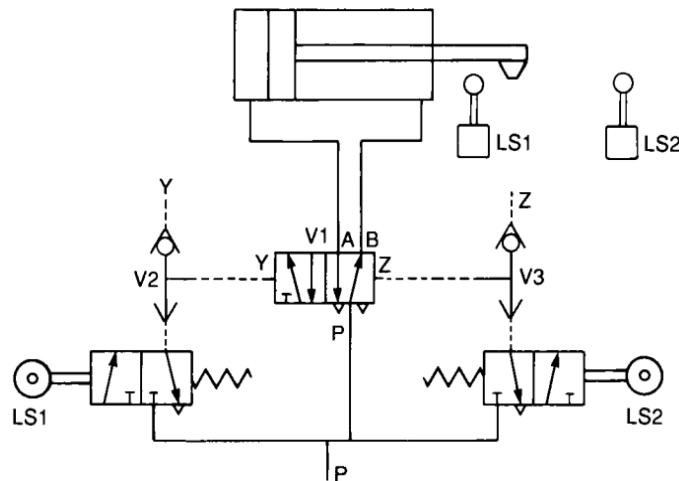


FIGURE 1.4 – Commande séquentielle pneumatique. [6]

Parmi les avantages des systèmes pneumatiques, on trouve leur robustesse, leur coût modéré et leur remarquable résistance aux conditions de travail difficiles, notamment en milieu humide, poussiéreux ou potentiellement explosif. En revanche, ces systèmes présentent certaines limites, leur capacité à exécuter des séquences de commande reste relativement basique, et leur précision dans le contrôle des mouvements laisse à désirer, surtout lorsqu'il s'agit de tâches complexes nécessitant une coordination fine entre plusieurs éléments.

## 1.4 Commande électrique

L'introduction de l'électricité dans la commande des systèmes industriels a marqué une avancée majeure dans l'évolution des technologies d'automatisation. Contrairement aux systèmes pneumatiques, essentiellement limités à des logiques simples ou des actions mécaniques, les systèmes électriques permettent de concevoir des commandes plus complexes, plus rapides et surtout plus flexibles.

### 1.4.1 Régulateur électronique

Les régulateurs électroniques traitent les signaux provenant de transmetteurs mesurant des variables telles que le niveau, la pression, la température ou le débit, et commandent des actionneurs à distance via des signaux électriques standard, typiquement de 4 à 20 mA.

Bien que la commande soit devenue entièrement électrique, l'action mécanique reste souvent assurée par des vannes pneumatiques, reconnues pour leur robustesse et leur adaptation aux environnements industriels exigeants. Pour interfacer ces deux technologies, des convertisseurs électropneumatiques sont utilisés. Ces dispositifs convertissent le signal électrique du régulateur en une pression d'air proportionnelle, permettant de moduler l'ouverture de la vanne.

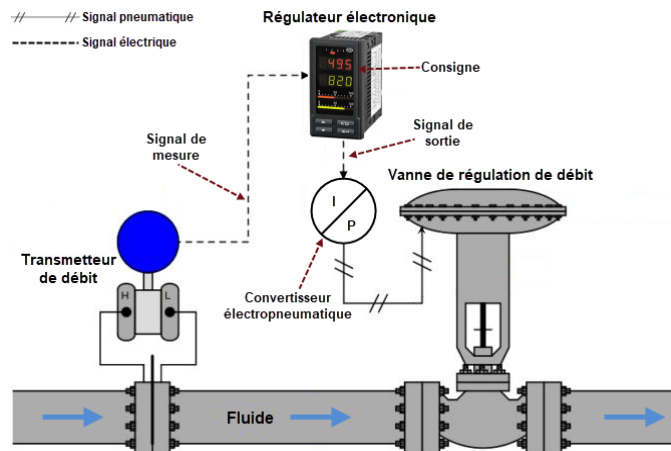


FIGURE 1.5 – Boucle de régulation de débit [5]

Cette architecture, combinant la précision de l'électronique à la puissance de l'air comprimé, permet une régulation plus efficace et adaptée aux besoins spécifiques des processus industriels.

## 1.4.2 Commande séquentielle électrique

Parallèlement à la régulation continue, l'électrification des circuits de commande a également permis le développement d'une logique de contrôle séquentiel fondée sur les relais électromagnétiques. Ces composants ont joué un rôle central dans la mise en œuvre de logiques câblées permettant des opérations telles que la temporisation, la mémorisation ou la combinaison de signaux sans recours à des dispositifs mécaniques complexes.

Un relais électromagnétique est un dispositif électromécanique qui, lorsqu'il est alimenté, crée un champ magnétique permettant d'actionner un ou plusieurs contacts normalement ouverts ou normalement fermés (NO ou NF). Il agit ainsi comme un interrupteur commandé à distance. [2]



FIGURE 1.6 – Relais électromagnétique [2]

La figure 1.7 illustre le fonctionnement d'un relais de commande électromagnétique, ici désigné par CR1. Lorsqu'aucune alimentation électrique n'est appliquée à sa bobine (à gauche), les contacts associés restent dans leur position de repos : CR1-1 est alors ouvert (normalement ouvert NO), tandis que CR1-2 est fermé (normalement fermé NF). En revanche, dès que la bobine reçoit une tension (à droite), le relais s'active, entraînant l'inversion de l'état de ses contacts : CR1-1 se ferme et CR1-2 s'ouvre.[2]

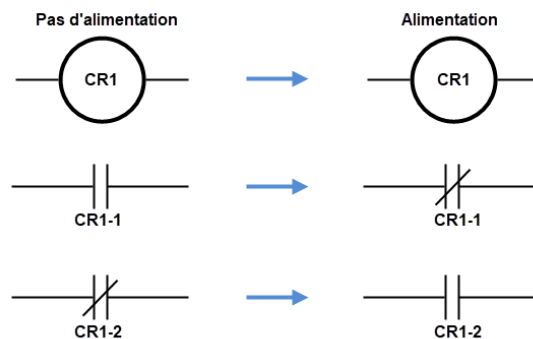


FIGURE 1.7 – Fonctionnement d'un relais avec deux contact NO et NF [2].

En combinant plusieurs relais et temporisateurs dans une armoire de commande, il devient possible de réaliser des séquences complexes d'automatisation. Ce mode de commande séquentielle, basé sur la logique câblée, a été largement utilisé dans de nombreux secteurs industriels tels que les chaînes de production, les systèmes de convoyage, les ascenseurs, ou encore les circuits de démarrage moteur. La figure 1.7 présente une armoire de commande séquentielle utilisée pour piloter le tableau d'allumage d'un four industriel.



FIGURE 1.8 – Armoire de logique câblée

Ce type de configuration présente plusieurs avantages : une vitesse de commutation relativement rapide, un encombrement réduit pour les circuits de commande, ainsi qu'une alimentation simplifiée via le réseau électrique standard. Contrairement aux systèmes pneumatiques, qui exigent des infrastructures plus lourdes (compresseurs, conduits, dispositifs de filtration) et un entretien régulier en raison de possibles fuites ou encrassements, les relais électromagnétiques offrent une solution plus fiable à long terme, à condition d'être correctement dimensionnés et protégés.

Cependant, ce système présente des limites notables. À mesure que les automatismes deviennent plus complexes, le câblage devient encombré, rendant les schémas difficiles à modifier et à dépanner. Toute modification ou évolution de séquence nécessite une intervention physique directe sur l'armoire.

Enfin, les exigences industrielles ont rapidement dépassé les capacités des systèmes à

commande électrique classique, coordination de multiples boucles de régulation, enchaînement d'opérations séquentielles complexes, adaptation à des scénarios variables, ou encore l'intégration au sein de système de supervision et de contrôle à distance.

## 1.5 Automate Programmable Industriel (API)

Face à la complexité croissante des procédés industriels et aux limites des systèmes à commande électrique classique, ont conduit à l'émergence des automates programmables industriels (API). C'est dans ce contexte qu'en 1968, le tout premier automate programmable, a été développé par l'entreprise américaine de conception d'automatismes MODICON. Un seul équipement matériel, configurable par logiciel, permet de réaliser une grande variété de fonctions de commande et de régulation, conçu spécialement pour fonctionner de manière fiable dans des environnements industriels difficiles, tels que les zones exposées, forte humidité, à la poussière ou à des températures élevées. [7]



FIGURE 1.9 – Premier API MODICON-084. [7]

Un automate programmable industriel est un système électronique à fonctionnement numérique, conçu pour une utilisation en environnement industriel, qui utilise une mémoire programmable pour le stockage interne d'instructions utilisateur permettant la mise en œuvre de fonctions spécifiques telles que la logique, le séquençage, la temporisation, le comptage et l'arithmétique, afin de contrôler, via des entrées et sorties numériques ou analogiques, divers types de machines ou de processus [8].

L'objectif initial du développement des API était de regrouper, au sein d'un même système, l'ensemble des fonctions de commande d'un procédé industriel. Leur architecture centralisée, modulaire et reprogrammable leur permet de piloter plusieurs boucles de régulation

simultanément, de traiter des logiques complexes, d'assurer la communication avec d'autres systèmes et de s'intégrer facilement dans des environnements de supervision.

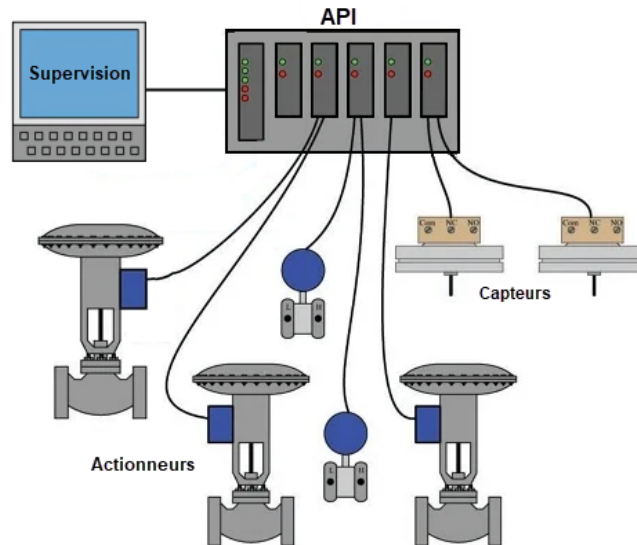


FIGURE 1.10 – Architecture centralisée de l'API.

Les API se sont imposés dans l'automatisation moderne grâce à une série d'avantages :

- Modification simplifiée, les évolutions du système se font par reprogrammation logicielle, sans nécessité de modifier le câblage matériel.
- Extensibilité, il est facile d'ajouter de nouveaux modules pour élargir les fonctionnalités.
- Fiabilité accrue, le recours réduit aux composants mécaniques limite les risques de défaillance.
- Encombrement réduit, les API offrent un gain de place appréciable par rapport aux armoires à relais.
- Maintenance facilitée, l'absence de pièces mobiles diminue l'usure et allège les besoins d'entretien.
- Réactivité, le traitement numérique garantit des temps de réponse plus courts. [9]

Pour standardiser les pratiques de programmation, la norme internationale IEC 61131-3 définit cinq langages adaptés aux différentes exigences industrielles, figure 1.11, [10] :

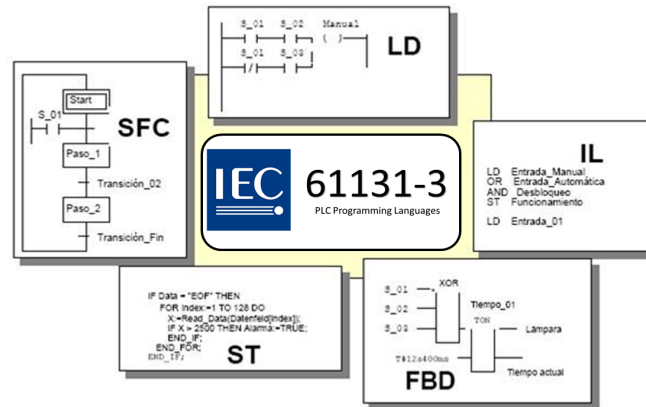


FIGURE 1.11 – Norme IEC 61131-3

- LD (Ladder Diagram) : C'est un langage graphique inspiré des schémas électriques à relais, représente les instructions sous forme de contacts (entrées) et de bobines (sorties) entre deux lignes verticales représentant l'alimentation. Il est particulièrement adapté à la logique de commande et utilisé dans les industries d'automatisation classiques.
- FBD (Function Block Diagram) : Autre langage graphique, il repose sur l'assemblage de blocs fonctionnels interconnectés. Chaque bloc a des entrées, des sorties et une fonction interne (par ex. un compteur, un temporisateur, une porte logique, un régulateur PID...). Il est souvent utilisé pour les systèmes de régulation, de calcul continu ou séquentiel.
- ST (Structured Text) : Langage textuel haut niveau, similaire aux langages informatiques comme Pascal ou C. Il permet d'exprimer des algorithmes complexes, des opérations mathématiques, ou des traitements de tableaux avec des structures de contrôle (IF, WHILE, FOR, etc.). C'est le langage préféré pour les calculs avancés, les communications, ou la manipulation de données.
- IL (Instruction List) : Un langage textuel bas niveau, proche de l'assembleur. Les instructions sont écrites ligne par ligne avec des opérateurs simples (LD, AND, ST, etc.).
- SFC (Sequential Function Chart) : ce langage graphique est utilisé pour modéliser des séquences d'opérations, sous forme d'étapes et de transitions. Chaque étape peut activer des actions ou des blocs de code dans d'autres langages (LD, ST, etc.). Très adapté pour la programmation des GRAFCETs, séquences de démarrage, ou chaînes d'actions conditionnelles.

## 1.6 Conclusion

Au fil du temps, les systèmes de commande dans l'industrie ont connu une transformation progressive, guidée par le besoin d'optimiser la performance des installations. Les premières approches, fondées sur des interventions manuelles et des mécanismes purement mécaniques, laissaient peu de place à l'automatisation.

L'introduction des technologies pneumatiques a ensuite permis d'automatiser des actions simples, en exploitant l'énergie de l'air comprimé pour accomplir des tâches de commande ou de régulation élémentaires.

Avec l'arrivée de la commande électrique et des relais électromagnétiques, l'automatisation gagne en logique et en complexité, même si ces systèmes restent contraints par leur rigidité et la difficulté de modification une fois câblés. Le régulateur électronique, combinant des signaux électriques précis à l'action de vannes pneumatiques, marque une avancée importante en offrant davantage de réactivité et d'adaptabilité face à la variété des processus industriels.

L'apparition des automates programmables industriels marque un tournant majeur dans l'évolution des systèmes automatisés, en introduisant une logique programmable et adaptable qui dépasse les limites des technologies précédentes, la logique devient flexible, les programmes peuvent être modifiés sans intervention matérielle, et les fonctions de régulation, de sécurité ou de communication sont intégrées dans une même plateforme. L'API s'impose ainsi comme le cœur des systèmes automatisés modernes, capable de répondre à la complexité croissante des installations tout en facilitant leur supervision, leur maintenance et leur évolution.

Dans le chapitre suivant, cette évolution technologique sera illustrée à travers un cas concret d'automatisation industrielle : le procédé de régénération de glycol, utilisé dans les unités de traitement de gaz naturel. Ce chapitre présente une description du fonctionnement de l'unité, suivie de l'analyse du cahier des charges relatif aux séquences automatisées.

# Chapitre 2

## Description du procédé et cahier des charges

### 2.1 Introduction

Dans les installations de traitement de gaz naturel, la présence d'eau représente un défi majeur tant pour la qualité du produit final que pour la sécurité et la durabilité des infrastructures. Le gaz naturel extrait du sous-sol contient presque toujours une quantité significative de vapeur d'eau. Lors de son transport à travers les pipelines, cette humidité peut réagir avec les hydrocarbures légers pour former des hydrates (des structures cristallines solides semblables à de la glace). Ces hydrates peuvent boucher les conduites, réduire l'efficacité du transport, ou même entraîner des ruptures dangereuses du réseau [11].

Les principaux problèmes liés à la présence d'eau dans le gaz sont :

- Corrosion : Dégradation des équipements métalliques.
- Formation de glace : Blocage des conduites à basse température.
- La formation d'hydrates de gaz à l'intérieur des conduites peut entraîner l'arrêt de la production ou des accidents, engendrant des pertes économiques et humaines. En effet, dans ces conduites circulent simultanément de l'eau, de l'huile et du gaz. Sous l'effet des basses températures et des hautes pressions, peuvent former des hydrates de gaz. Ceci est l'un des problèmes majeurs lors du transport des hydrocarbures dans un pipeline [11].

La figure 2.1 illustre une accumulation d'hydrate obtenue après raclage de la conduite lors d'un entretien périodique [12].

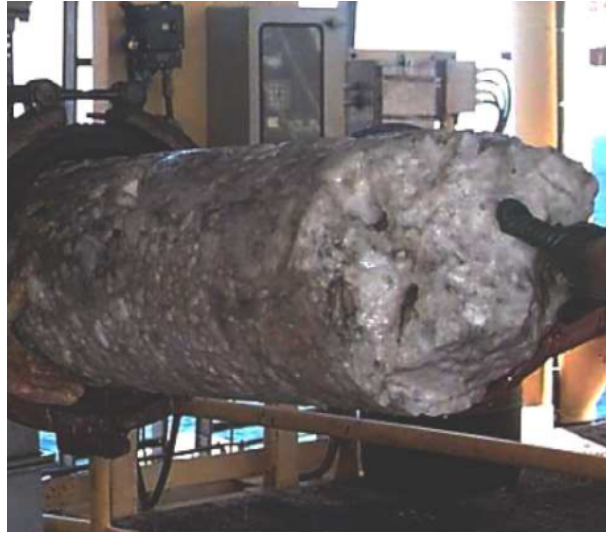


FIGURE 2.1 – Accumulation d’hydrate [12].

Pour prévenir ces risques, le gaz doit être déshydraté efficacement avant son injection dans le réseau de distribution. Une méthode largement répandue est la déshydratation par absorption au glycol. Ce procédé repose sur l’aptitude du glycol à absorber l’eau présente dans le gaz, cependant, le glycol saturé en eau (glycol hydraté) doit ensuite être régénéré pour être réutilisé. C’est ici qu’intervient de l’unité de régénération de glycol.[13].

## 2.2 L’unité de régénération du Glycol

Le but de la section de régénération est d’enlever l’eau contenue dans le glycol hydraté afin de le régénérer à la pureté nécessaire.

La régénération du glycol est une étape clé du procédé. Elle consiste à chauffer le glycol afin de vaporiser l’eau qu’il contient. Ce processus se déroule dans une unité dédiée comprenant généralement un réchauffeur (rebouilleur), une colonne de distillation, et des échangeurs thermiques. Le glycol ainsi régénéré est ensuite réinjecté dans le système, permettant une opération en boucle fermée à la fois économique et écologique [13].

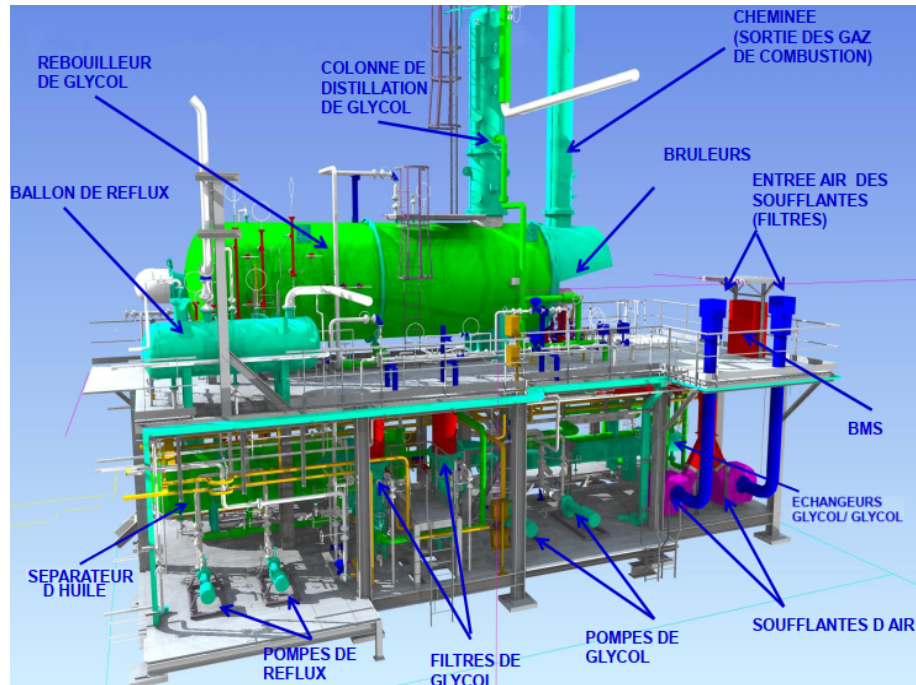


FIGURE 2.2 – Modelé 3D de l'unité de régénération de glycol [14].

Dans ce chapitre, l'analyse est basée sur le rebouilleur de glycol et son système de chauffage, notamment sur les brûleurs à gaz et leurs pilotages via un automate programmable industriel (API).

### 2.2.1 Rebouilleur de Glycol

Dans le rebouilleur de glycol, le glycol est chauffé à 122°C. Cette montée en température est réalisée par les brûleurs A et B. Il est préférable d'opérer le rebouilleur de glycol à la pression la plus faible possible pour faciliter la désorption de l'eau. Les composants volatiles comme (hydrocarbures légers, eau) passent dans la phase vapeur et cheminent le long de la colonne de distillation de glycol. Dans cette colonne, la vapeur entre en contact avec le liquide de reflux qui redescend dans la colonne [14]. Le rebouilleur de glycol est composé de deux compartiments, séparés par un déversoir :

- Le compartiment de chauffe qui contient les tubes à feux des brûleurs et les tubes de retour des fumées.
- Le compartiment de sortie du glycol régénéré, où il se déverse et coule par gravité vers les unités de traitement de gaz pour être réutiliser [14].

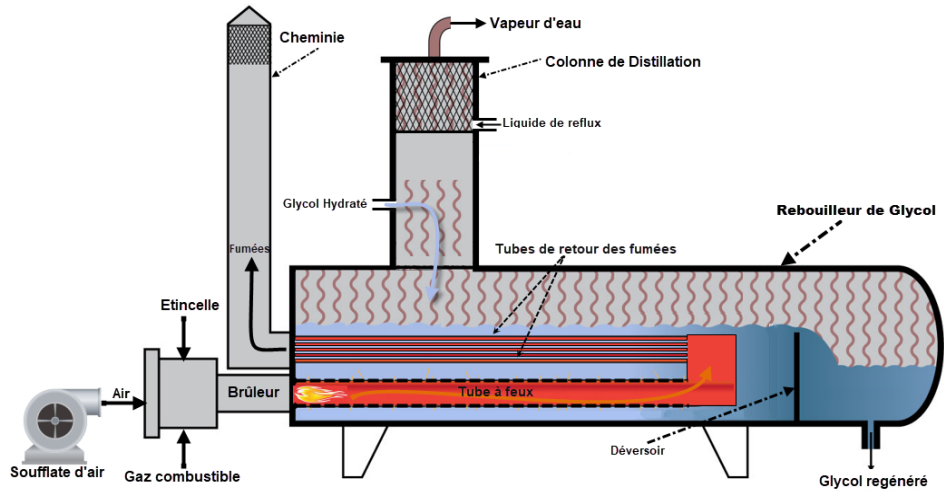


FIGURE 2.3 – Rebouilleur de Glycol.

## 2.2.2 Les brûleurs à gaz

Deux brûleurs à gaz sont installés sur le rebouilleur de glycol, ils sont de type air forcé. La puissance délivrée par ces brûleurs est asservie à la température du bain du rebouilleur de glycol. Chaque brûleur principal est équipé d'une « double » vanne de contrôle de température (TV302A pour le brûleur A et TV302B pour le brûleur B) qui contrôle simultanément les débits d'air de combustion et de gaz combustible (vannes attelées). Cette double vanne de contrôle est équipée d'un actionneur, d'un positionneur, d'un convertisseur I/P (convertisseur électropneumatique) et de deux fins de course (mini-feu correspondant à une ouverture physique de la vanne d'environ 10%, assurant un débit minimal de sécurité, et grand-feu correspondant à une ouverture totale 100%). La régulation de température du rebouilleur agit simultanément sur les deux vannes de contrôle de température TV302A et TV302B.

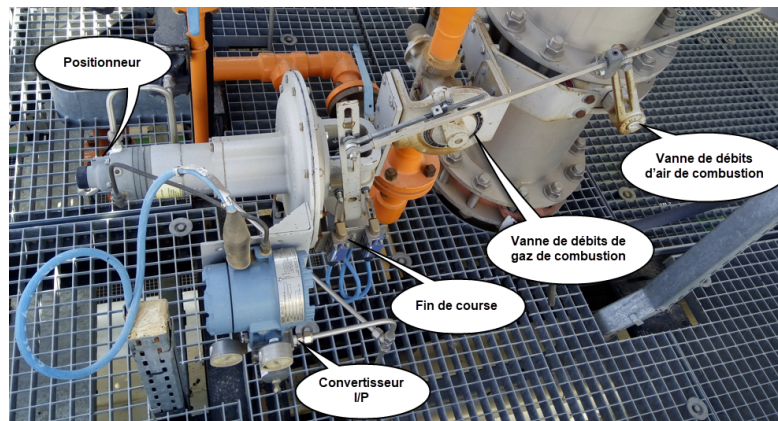


FIGURE 2.4 – Vanne de régulation de température TV302B.

Un système d'allumage électrique (transformateur haute tension, bougie d'allumage) permet d'allumer automatiquement chaque pilote. Les transformateurs haute tension (un pour chaque pilote) sont installés dans un coffret anti-explosion au plus près des brûleurs.

Deux cellules de détection de flamme de type ultraviolet surveillent la présence de flamme dans chaque brûleur (DF-A1 et DF-A2 pour le brûleur A, DF-B1 et DF-B2 pour le brûleur B). Ces cellules détectent la flamme du pilote puis la flamme du brûleur quand ce dernier est allumé [14].

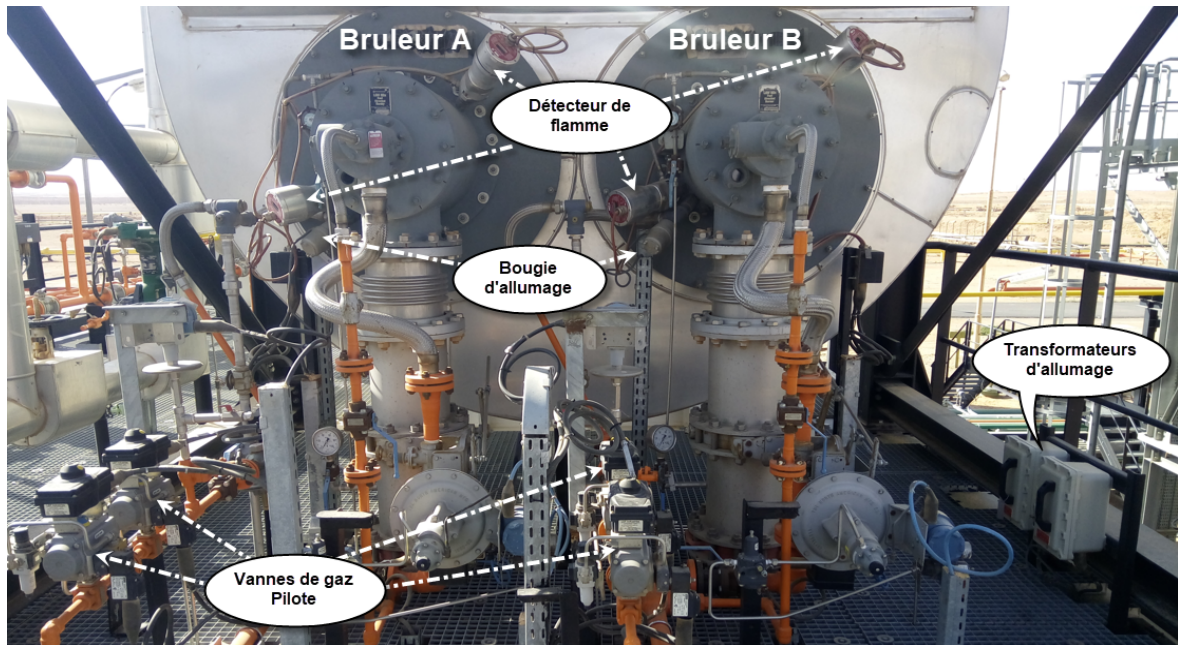


FIGURE 2.5 – Face avant des deux brûleurs

Deux soufflantes d'air K301A et K301B (une en service, l'autre en secours) fournissent l'air de combustion nécessaire aux deux brûleurs. Les prises d'entrée d'air de ces soufflantes sont équipées d'un filtre. Des vannes papillon XV410A et XV410B sont installées au refoulement de ces deux soufflantes afin d'isoler celle qui n'est pas en service.

Le circuit du gaz combustible se compose de deux parties principales, l'alimentation en gaz des brûleurs à l'aide des vannes SDV401 et SDV402, et le gaz pilote à l'aide des vannes SDV403A et SDV404A pour le pilote A, ainsi que SDV403B et SDV404B pour le pilote B.

Le schéma dans la figure 2.6 décrit le circuit de gaz et d'air combustible :

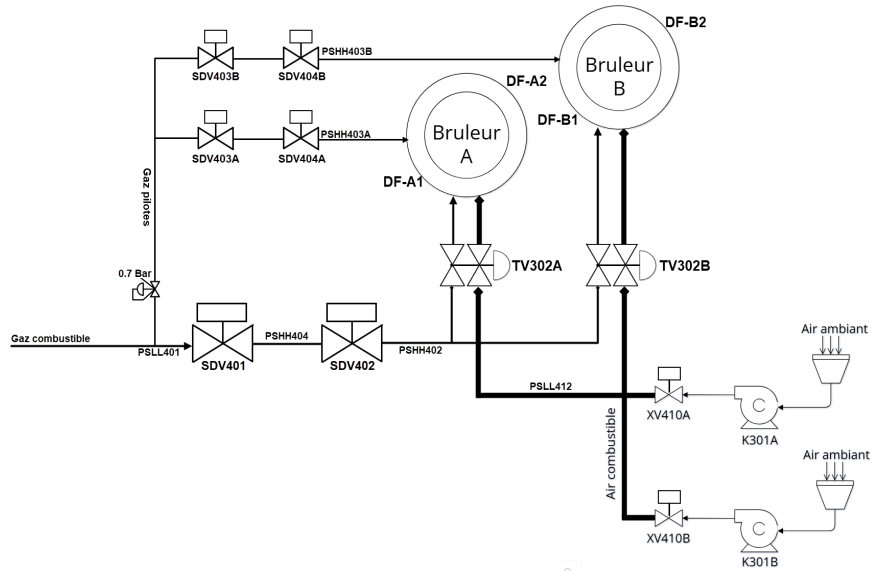


FIGURE 2.6 – Schéma simplifié du circuit de gaz et d'air de combustion.

### 2.2.3 Système de management des brûleurs (BMS)

Le système de gestion des deux brûleurs (BMS - Burner Management System) est assuré par un automate programmable industriel de marque HIMATRIX F60, installé au niveau de l'unité.

Le BMS remplit les fonctions suivantes :

- Mise en marche des brûleurs ;
- Arrêt normal des brûleurs ;
- Surveillance des défauts et arrêt de sécurité en cas d'anomalie.

La mise en service et l'arrêt des brûleurs s'effectuent localement, à l'aide des sélecteurs, de boutons poussoirs et de voyants installés sur la face avant du panneau [14].



FIGURE 2.7 – Tableau local de démarrage et d’arrêt des brûleurs .

## 2.3 Démarrage des brûleurs

Le démarrage s’effectue en trois phases comme suit :

- Phase 1 : Cette phase contient deux parties, 1A : Test de fonctionnement des vannes de sécurité gaz, et 1B : Démarrage de la soufflante d’air et purge des chambres de combustion.
- Phase 2 : Allumage des pilotes.
- Phase 3 : Allumage des brûleurs, arrêt des pilotes et mise en mode régulation des vannes de contrôle de température [14].

Le Grafcet de démarrage et d’arrêt des brûleurs est illustré dans la figure 2.8 :

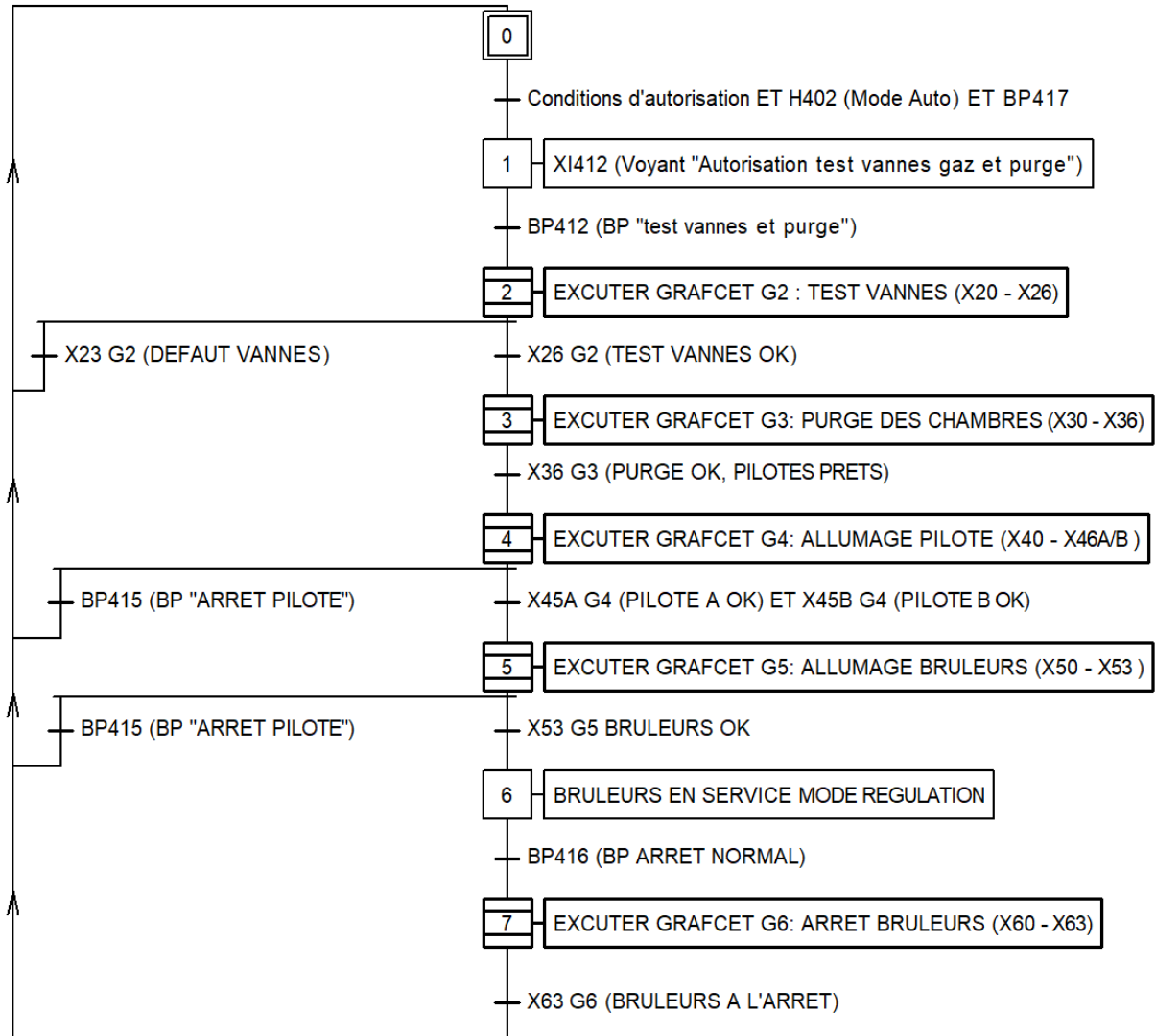


FIGURE 2.8 – Grafcet G1 : Général.

Les conditions d'autorisation de démarrage des brûleurs sont :

- Pas de défauts dans le procédé comme :
  - PSL401 : Interrupteur de pression gaz très basse non activé
  - PSH402 : Interrupteur de pression gaz très haute non activé
  - PSH403 A : Interrupteur de pression gaz très haute (pilote A) non activé
  - PSH403 B : Interrupteur de pression gaz très haute (pilote B) non activé
- Pas d'arrêt d'urgence
- Sélecteur des soufflantes en position «Auto» (HS402)
- PB417 : : Actionné le bouton poussoir « Reset des défauts brûleurs ».

Avant tout démarrage (y compris après un arrêt normal des brûleurs), il est nécessaire de reseter les défauts en appuyant sur le bouton poussoir PB417 (BP reset de défauts) [14].

### 2.3.1 Phase 1 : Test des vannes de gaz et purge des chambres de combustion

Si toutes les conditions pour démarrer les brûleurs sont satisfaites, l'automate allume la lampe (XI412) « Autorisation test vannes gaz et purge ». Après activation par l'opérateur du bouton poussoir (BP412) « Test vannes gaz et purge », l'automate lance l'exécution de cette phase comme suit.

#### Phase 1A : Test des vannes de sécurité gaz

Conformément à la norme européenne EN-746, un test de fonctionnement des vannes de sécurité de gaz SDV401 et SDV402 effectué afin de vérifier que ces vannes fonctionnent correctement et ne sont pas passantes, la figure 2.9 illustre le circuit de gaz alimentant les brûleurs, comprenant ces vannes ainsi que l'interrupteur de pression du test PSHH404.



FIGURE 2.9 – Circuit du gaz principal des brûleurs.

La consigne de l'interrupteur de pression est fixée à 50 % (0.5 Bar) de la pression opératoire normale (1 Bar). Les brûleurs étant à l'arrêt, et les deux vannes de sécurité de gaz SDV401 et SDV402 sont fermées. L'automate génère les actions suivantes :

- Ouverture de la vanne SDV402 afin d'éliminer toute pression éventuelle entre ces vannes de sécurité puis il referme cette vanne. Si après une temporisation (typiquement 22 secondes) la pression a augmenté (PSHH404 activé), cela signifie que la vanne SDV401 est passante et par conséquent l'allumage des brûleurs n'est pas autorisé. Le voyant «Défaut vannes de sécurité gaz» est allumé informant l'opérateur qu'une action corrective est nécessaire pour permettre l'allumage des brûleurs. Sinon la vanne SDV401 fonctionne correctement.
- Poursuit le test en ouvrant la vanne SDV401 afin de pressuriser la section entre les vannes de sécurité gaz puis il referme cette vanne. Si après une temporisation (typiquement 22 secondes) la pression diminue (PSHH404 non activé), cela signifie que la vanne SDV402 est passante et par conséquent l'allumage des brûleurs n'est pas autorisé. Le voyant «Défaut vannes de sécurité gaz» est allumé. Sinon la vanne SDV402 fonctionne correctement. On peut alors par la suite commencer la phase de purge.

Voici le grafcet de la phase 1A représenté dans la figure 2.10 :

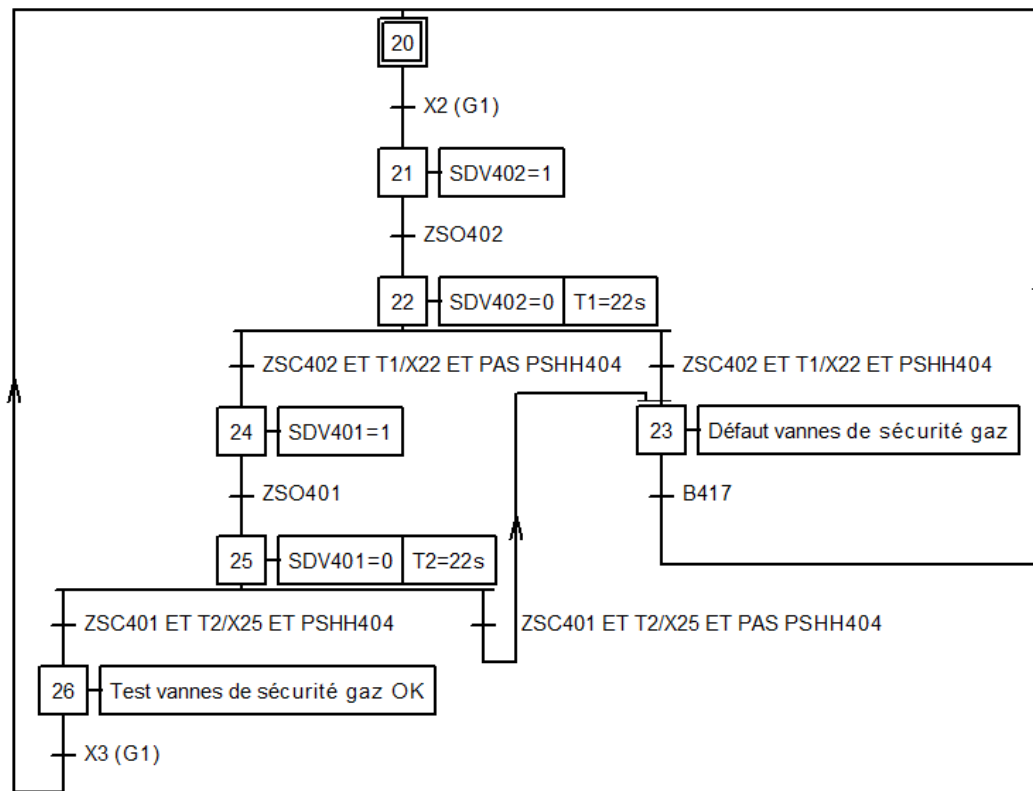


FIGURE 2.10 – Grafcet G2 : Test des vannes de sécurité gaz.

Avec ZSO désigne le capteur de fin de course en ouverture (vanne complètement ouverte), tandis que ZSC correspond au capteur de fin de course en fermeture.

## Phase 1B : Purge des chambres de combustion

Le schéma P&ID du circuit de l'air de combustion est représenté dans la figure 2.11 :

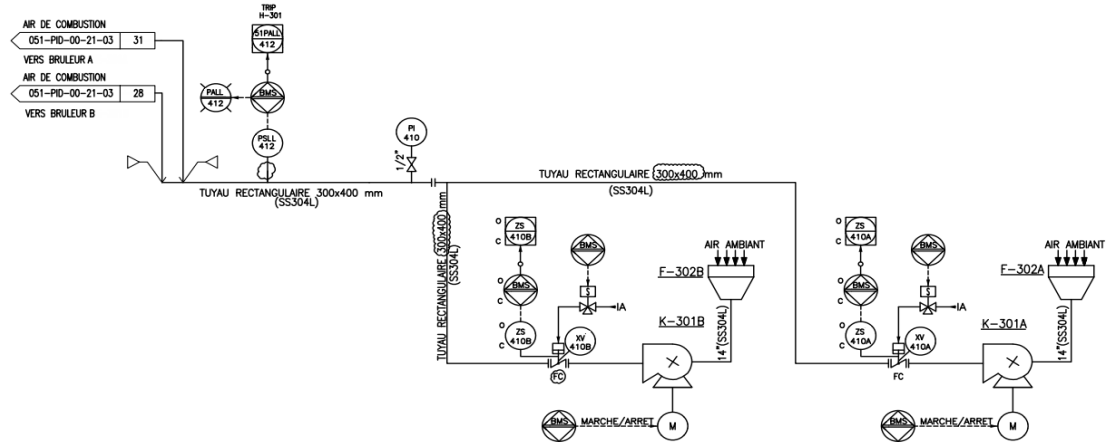


FIGURE 2.11 – P&ID du circuit d'air [15]

La séquence de purge des chambres de combustion comprend les actions suivantes : [14]

- Ouverture de la vanne d'isolation XV410 A (respectivement B) installée en aval de la soufflante d'air K301A (respectivement B), selon la sélection de la soufflante HS401 (A ou B).
- Fermeture de la vanne d'isolation XV410 B (respectivement A) installée en aval de la soufflante d'air K301B (respectivement A).
- Inhibition de l'interrupteur de pression d'air très basse PSL412.
- Mise en position « Mini-Feu » des deux vannes de contrôle de température, (contrôleur de température TIC302 mis en mode manuel, piloté avec sortie égale à 0 %) correspondant à une ouverture physique de la vanne d'environ 10 %.
- Quand les deux vannes de contrôle de température sont confirmées en position « Mini-Feu » par leur fin de course, L'API envoie l'ordre de démarrage de la soufflante d'air K301 A (ou K301 B) qui a été sélectionnée par l'opérateur à l'aide du sélecteur HS401 «Sélecteur de soufflante d'air».
- Quand la soufflante d'air K301 A (ou B) est confirmée en service par son retour de marche :
  - Lance une temporisation (10 secondes) puis enlève l'inhibition du PSL412 (Pression d'air très basse) à l'achèvement de cette temporisation, toute activation de

PSLL412 provoque un arrêt d'urgence avec allumage du voyant clignotant « Défaut pression d'air très basse ».

- Ouverture à 100 % (Grand-Feu) des deux vannes de contrôle de température, (contrôleur de température mis en mode manuel, piloté avec sortie égale à 100 %).
- Lance une nouvelle temporisation de 60 secondes correspondant au temps nécessaire à la purge des chambres de combustion. A l'achèvement de cette temporisation, mise en position « Mini-Feu » des deux vannes de contrôle de température. Après confirmation de cette position par les fins de course de ces deux vannes, la phase de purge est terminée et la phase suivante peut commencer. Allumage des deux lampes «Pilote A prêt » et « Pilote B prêt ».

La figure 2.12 illustre le grafcet correspondant à la phase 1B :

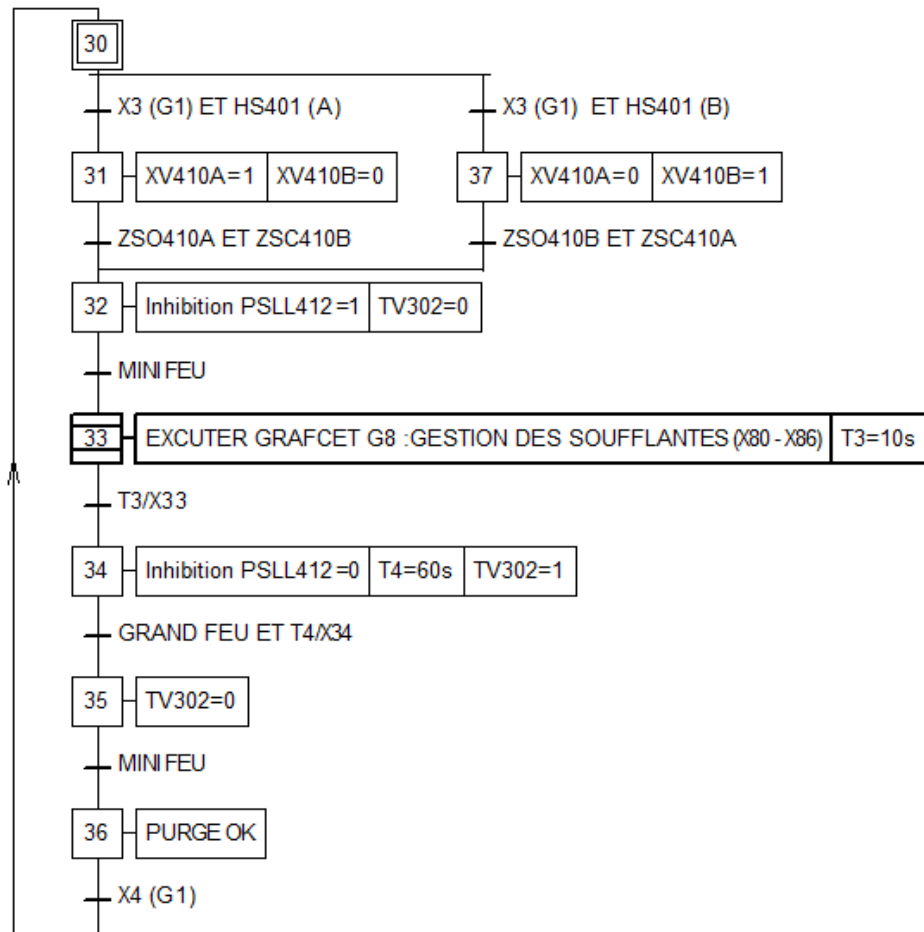


FIGURE 2.12 – Grafcet G3 : Purge des chambres de combustion.

La logique de purge dans ce grafcet s'appuie sur un macro-grafcet X33, dont le développement approfondi fera l'objet du Grafcet G8 (figure 2.19) .

## 2.3.2 Phase 2 : Démarrage des pilotes

La figure 2.13 illustre le schéma P&ID du circuit de gaz pilotes :

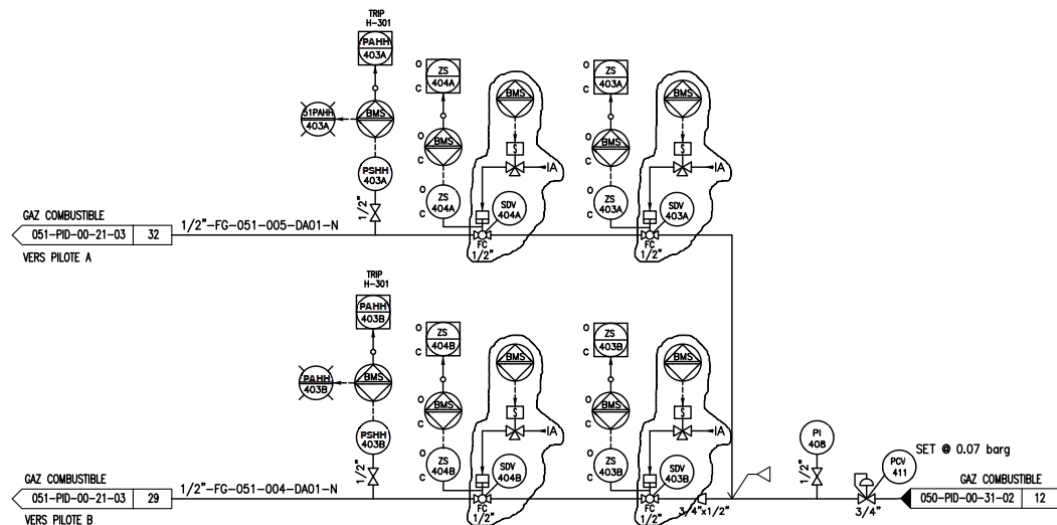


FIGURE 2.13 – P&ID circuit de gaz pilotes [15].

L'opérateur démarre les deux pilotes par action sur les deux boutons poussoirs PB413A (pour Pilote A) et PB413B (pour Pilote B). Les deux pilotes sont allumés de façon indépendante par l'automate qui génère les actions suivantes :

T0	Inhibition des actions de sécurité de la détection de flamme
	Ouverture des vannes de sécurité gaz SDV403A et SDV404A pour pilote A (pour pilote B respectivement SDV403B et SDV404B).
	Excitation de la bobine d'étincelage correspondante.
	Arrêt de l'étincelage.
T0 + 5 Secondes	Retrait de l'inhibition de la détection de flamme

Si la présence de flamme est confirmée par au moins une cellule de détection de flamme (DF-A1 ou DF-A2 pour le pilote A, DF-B1 ou DF-B2 pour le pilote B), l'allumage du pilote est effectif (allumage du voyant correspondant).

En cas d'échec, API lance automatiquement un nouveau cycle d'allumage. Si toutefois après quatre tentatives successives, le pilote n'est toujours pas allumé il effectue alors les actions suivantes :

- Fermeture des vannes de sécurité de gaz alimentant les pilotes SDV403A et SDV404A pour le pilote A, (respectivement SDV403B et SDV404B pour le pilote B).

- Allumage du voyant « Défaut de flamme pilote A » pour le pilote A, (respectivement « Défaut de flamme pilote B » pour le pilote B).
- Envoie un message d'alarme « Echech allumage pilote appuyer sur le bouton de Reset des défauts pour lancer un nouveau cycle d'allumage ».

L'opérateur doit alors appuyer sur le bouton poussoir PB417 (Reset de défaut) pour lancer un nouveau cycle d'allumage du pilote (4 nouvelles tentatives).

Quand les deux pilotes sont confirmés allumés, l'automate programmable donne l'autorisation de démarrage des brûleurs (allumage du voyant «Brûleurs prêts à démarrer» [14].

Voici le grafcet de la phase 2 illustré dans la figure 2.14 :

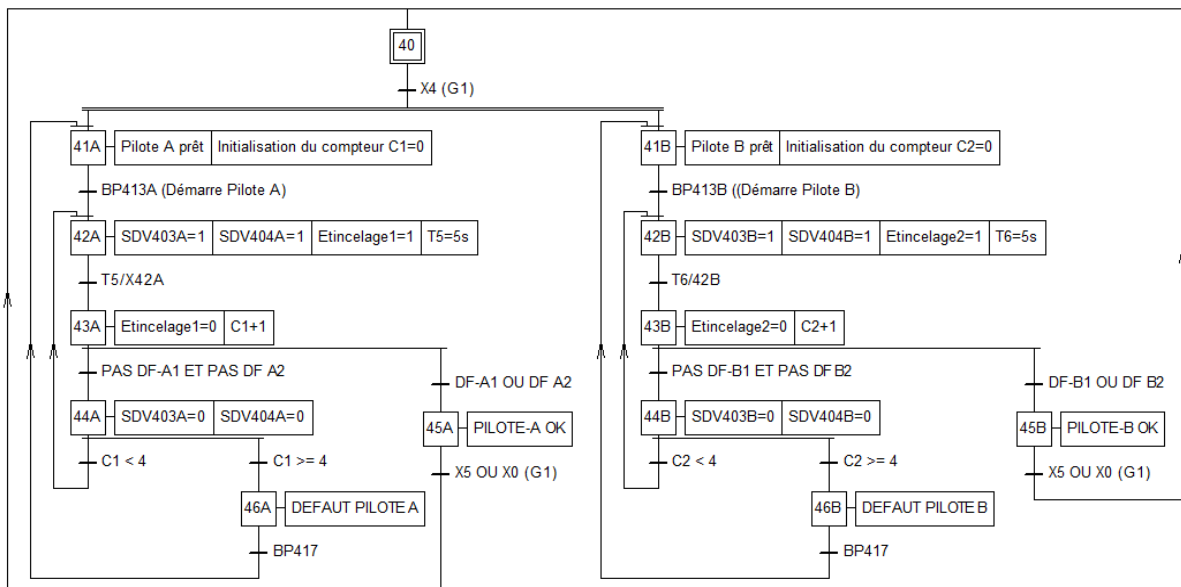


FIGURE 2.14 – Grafcet G4 : Démarrage des pilotes.

Les signaux Etincelage1 et Etincelage2 sont les ordres d'excitation des bobine d'allumage des pilote A et B, respectivement.

### 2.3.3 Phase 3 : Démarrage des brûleurs et arrêt des pilotes

La figure 2.15 illustre le schéma P&ID du circuit de gaz combustible des brûleurs :

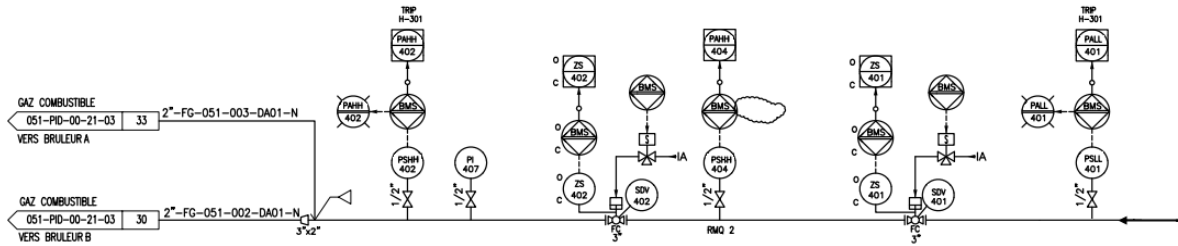


FIGURE 2.15 – P&ID circuit de gaz combustible des brûleurs [15].

Après avoir reçu l'autorisation de démarrage des brûleurs, l'opérateur démarrera ces brûleurs avec le bouton poussoir PB414. L'automate générera alors les actions suivantes :

- Ouverture des vannes de sécurité de gaz combustible alimentant les brûleurs principaux SDV401 et SDV402 (Allumage simultané de deux brûleurs)
- Après une temporisation de 10 seconds, arrêt des pilotes : fermeture des vannes pilotes SDV403A/B et SDV404A/B.
- Allumage de la lampe : «Brûleurs en marche» et mise en mode régulation des vannes de contrôle de température TV302A/B (boucle de contrôle de température du rebouilleur TIC302 mis en mode régulation) [14].

Voici le grafcet de démarrage des brûleurs et arrêt des pilotes illustré dans la figure 2.16 :

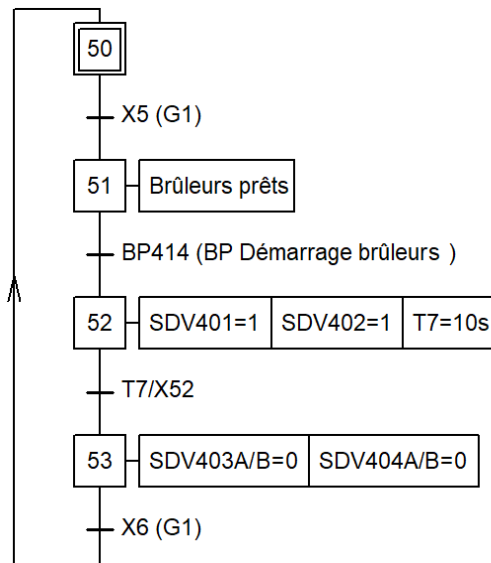


FIGURE 2.16 – Grafcet G5 : Démarrage des brûleurs et arrêt de pilotes.

## 2.4 Arrêt normal des brûleurs

L'arrêt normal des brûleurs se fait en appuyant sur le bouton poussoir PB416. Un arrêt normal des brûleurs provoque la séquence suivante :

- Fermeture des deux vannes de sécurité gaz SDV401 et SDV402.
- Lancement d'une temporisation de 60 secondes. A l'achèvement de cette temporisation, l'arrêt de la soufflante d'air K301 A/B, fermeture de la vanne d'air XV410 A/ B et mise en position Mini-Feu des vannes de contrôle de température [14].

Voici le grafcet d'arrêt normal des brûleurs illustré dans la figure 2.17 :

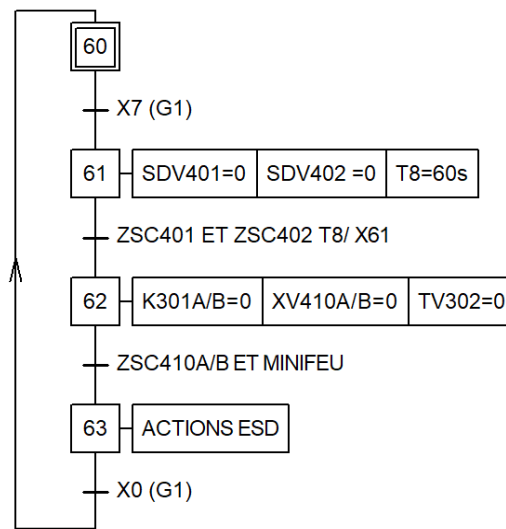


FIGURE 2.17 – Grafcet G6 : Arrêt normal des brûleurs.

## 2.5 Arrêt d'urgence des brûleurs

Les signaux qui provoquent un arrêt d'urgence sont :

- PB ESD : Bouton d'arrêt d'urgence unité.
- DF-A1 et DF-A2 : Absence de détection de flamme brûleur A .
- DF-B1 et DF-B2 : Absence de détection de flamme brûleur B .
- PSL412 : Interrupteur de pression d'air très basse.
- TSHH303 : Interrupteur de température du rebouilleur de glycol très haute.
- PSL401 : Interrupteur de pression gaz très basse.
- PSHH402 : Interrupteur de pression gaz très haute.
- PSHH403 A/B : Interrupteur de pression gaz très haute (pilotes A/B).

## 2.5.1 Action d'arrêt d'urgence

Un arrêt d'urgence des brûleurs provoque la séquence suivante :

- Fermeture des deux vannes de sécurité gaz brûleurs SDV401 et SDV402.
- Fermeture des quatre vannes de sécurité gaz pilotes SDV403 A/B et SDV404 A/B.
- Arrêt immédiat des soufflantes d'air K301 A/B et fermeture ses vannes d'isolement XV410 A/B.
- Mise en position Mini-Feu des vannes de contrôle de température TV302 A/B .
- Allumage du voyant arrêt d'urgence [14].

Le Grafcet de la figure 2.18 illustre plusieurs facteurs pouvant provoquer l'arrêt d'urgence des brûleurs.

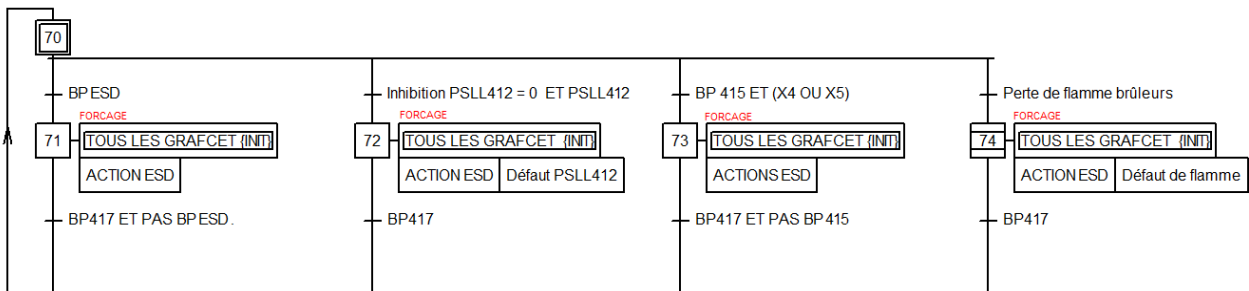


FIGURE 2.18 – Grafcet G7 : Arrêt d'urgence des brûleurs.

L'ordre de forçage permet de ramener tous les Grafcets à leur étape initiale.

## 2.6 Gestion des soufflantes d'air

La gestion Marche/Arrêt des deux soufflantes d'air de combustion est réalisée par l'automate. Un sélecteur « Changement de la soufflante d'air » (HS401) permet à l'opérateur de choisir la soufflante qui sera opérationnelle.

La mise en marche de la soufflante sélectionnée est faite automatiquement, lors du démarrage de la purge des chambres de combustion (section 2.3.1). Ce démarrage n'est possible que si le sélecteur HS402 « Test / Auto » des soufflantes d'air est sur la position « Auto ».

Il est aussi possible de démarrer manuellement les deux soufflantes d'air K301 A ou B afin de tester leur bon fonctionnement (section 2.7).

## 2.6.1 Changement de soufflante d'air

Un changement de soufflante d'air s'effectue lorsqu'une action est effectuée sur le sélecteur HS401, à condition que les brûleurs soient en service.

Le changement de soufflante d'air se fait suivant la procédure suivante :

- ▶ Ouverture de la vanne d'isolation XV410 A (respectivement B) installée en aval de la soufflante d'air K301 A (respectivement B) qui est en attente et démarrage de cette soufflante d'air.
- ▶ Après 5 secondes, arrêt de l'autre soufflante et fermeture de la vanne d'isolation XV410 B (respectivement A) installée en aval de cette soufflante d'air.

Le changement de soufflante d'air est inhibé pendant les phases de démarrage des brûleurs.

La figure 2.19 présente le Grafcet relatif à la gestion du démarrage et à la sélection des soufflantes.

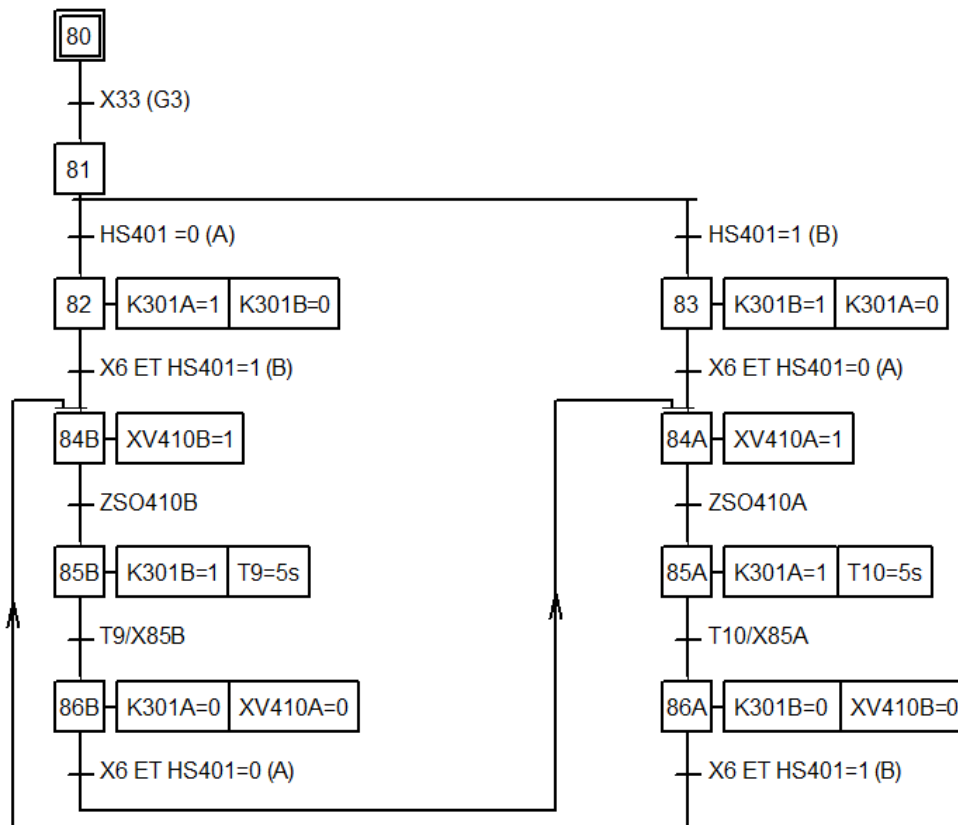


FIGURE 2.19 – Grafcet G8 : Gestion des soufflantes d'air.

## 2.7 Mode Test des soufflantes d'air :

Le test des soufflantes n'est possible que si :

- ▶ Les brûleurs sont à l'arrêt.
- ▶ Le sélecteur HS402 des soufflantes d'air K301 A/B est en position « Test ».

Il n'est pas possible de tester simultanément les deux soufflantes. Seule la soufflante sélectionnée K301 A (respectivement B) par le sélecteur HS401 peut être testée, la seconde soufflante B (respectivement A) ne peut pas être démarrée. Si le sélecteur HS401 de changement de soufflante est actionné alors qu'une soufflante marche en mode test, l'action sur ce sélecteur sera ignorée [14].

### 2.7.1 Démarrage en mode test des soufflantes d'air

Si la soufflante d'air K301A est sélectionnée (respectivement B) et actionnée par l'opérateur sur le bouton poussoir marche de la soufflante PB421 :

- ▶ Ouverture de la vanne d'isolation XV410 A installée en aval de la Soufflante d'air K301A (respectivement B).
- ▶ Fermeture de la vanne d'isolation XV410 B installée en aval de la Soufflante d'air K301B (respectivement A).
- ▶ Inhibition de l'interrupteur de pression d'air très basse PSSL412.
- ▶ Démarrage de la Soufflante d'air K301 A (respectivement B).
- ▶ Lance une temporisation de 10 secondes puis enlève l'inhibition du PSSL412 à l'achèvement de cette temporisation l'action du PSSL412 devient alors active.

### 2.7.2 Arrêt en mode test des soufflantes d'air

Si la Soufflante d'air K301 A (respectivement B) est en marche en mode test et actionnée par l'opérateur sur le bouton poussoir arrêt des soufflantes PB422 :

- ▶ Arrêt de la Soufflante d'air K301 A (respectivement B)
- ▶ Après une temporisation de 3 secondes Fermeture de la vanne d'isolation XV-410 A installée en aval de la Soufflante d'air K301A (respectivement B).

Remarque : Un réarmement (reset de défaut) est obligatoire après chaque arrêt, qu'il soit normal ou d'urgence, lorsqu'on est en mode test.

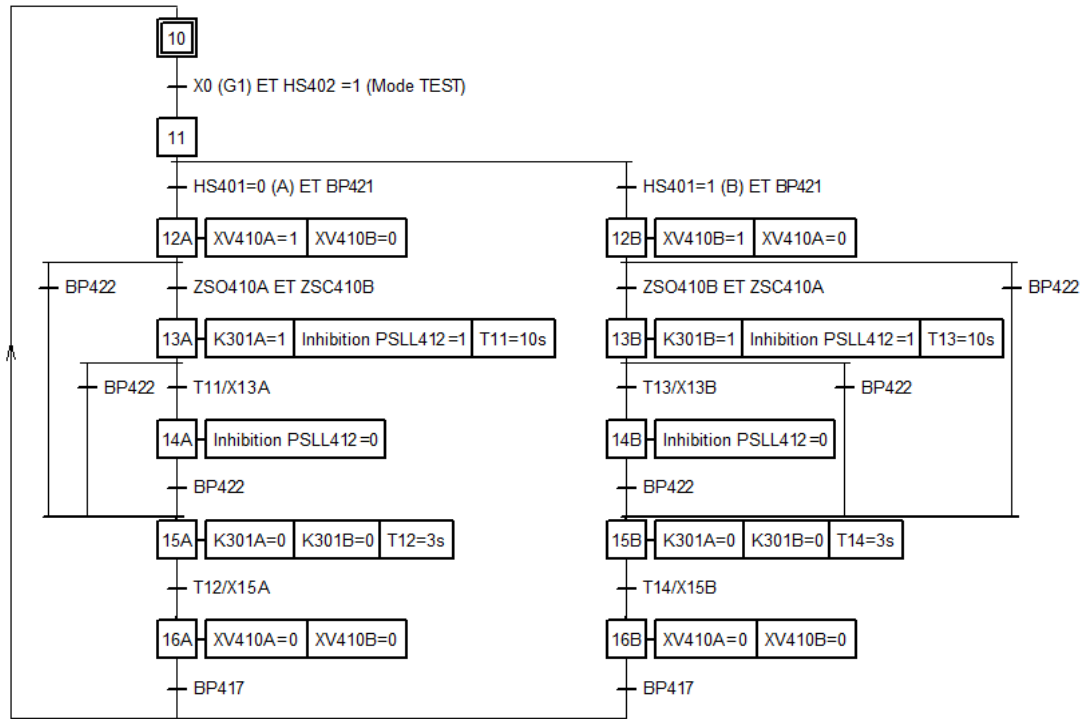


FIGURE 2.20 – Grafcet G9 : Mode Test

## 2.8 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons procédé à une analyse de l'unité de régénération de glycol, en mettant en évidence son rôle technique dans le traitement du gaz naturel ainsi que les enjeux liés à sa mise en œuvre automatisée. La description du procédé a permis de comprendre les différentes étapes impliquées dans son fonctionnement, notamment celles liées à la sécurité lors du démarrage, du fonctionnement normal et des arrêts.

Un cahier des charges fonctionnel, intégrant l'ensemble des exigences opérationnelles et sécuritaires, y compris les scénarios d'arrêt d'urgence et la gestion des alarmes, permet ensuite à la modélisation du comportement de l'unité sous forme des Grafquets.

Les Grafquets élaborés dans ce chapitre traduisent la logique séquentielle du procédé, en structurant les différentes étapes du cycle d'exploitation. Cette représentation formelle constitue une base rigoureuse pour le développement du programme automate, en assurant à la fois la clarté fonctionnelle, la sécurité des enchaînements et la modularité de la mise en œuvre.

Dans le chapitre qui suit, cette modélisation sera traduite en un programme d'automatisme concret, implémenté sur un automate S7-1500 à l'aide de la plateforme TIA Portal. Il s'agira

de développer l'ensemble du système de commande, d'en concevoir l'interface de supervision via WinCC RT Advanced, puis de valider son bon fonctionnement par simulation à l'aide de PLCSIM Advanced.

# Chapitre 3

## Programmation et validation du système automatisé

### 3.1 Introduction

Ce chapitre est consacré à la mise en œuvre pratique de l'automatisation de l'unité de régénération de glycol. Il décrit les étapes de développement du programme automate, la configuration des équipements sous TIA Portal, ainsi que la conception de l'interface de supervision avec WinCC RT Advanced. La modélisation préalable réalisée dans le chapitre précédent (Grafcets des différentes séquences) constitue la base logique de cette implémentation.

L'ensemble des développements a été réalisé dans l'environnement TIA Portal, qui permet non seulement la programmation et la configuration matérielle, mais également la supervision via WinCC RT Advanced. L'un des avantages majeurs de cette plateforme réside dans la possibilité de valider l'ensemble du fonctionnement logique sans nécessiter de matériel physique, ce qui représente un gain considérable en phase de conception et de test.

L'objectif principal de ce chapitre est de traduire les exigences fonctionnelles du procédé en un programme automatisé structuré, sécurisé et modulaire, capable de gérer les différentes phases de démarrage, de fonctionnement normal, d'arrêt (normal ou d'urgence), ainsi que les modes de test et de régulation.

La première partie est dédiée à la présentation des outils logiciels utilisés et à la configuration matérielle de la station de travail. Ensuite, la logique de programmation est développée selon les séquences fonctionnelles, en mettant en évidence l'organisation du projet dans TIA Portal (Définition des variables, création des blocs de programme, etc.). Par la suite, la supervision du procédé est détaillée à travers la conception des vues « brûleurs », « alarmes »,

et « info ». Enfin, la validation fonctionnelle par la simulation est effectuée en reproduisant différents scénarios représentatifs, en situation normale et en présence de défauts.

L'ensemble de cette démarche permet de confirmer la cohérence, la fiabilité et la performance de la solution automatisée mise en place pour la régénération de glycol.

## 3.2 Présentation des outils utilisés

Pour assurer le développement, la simulation et la supervision de l'unité de régénération de glycol, plusieurs outils logiciels ont été mobilisés pour assurer l'ensemble du cycle de développement et de simulation :

- **TIA Portal (Totally Integrated Automation Portal)** : Il s'agit de l'environnement de développement intégré développé par Siemens, permettant pour la programmation des automates, la configuration matérielle, ainsi que la conception des systèmes de supervision. Il permet une approche centralisée et cohérente de l'automatisation. [16].
- **WinCC RT Advanced (Windows Control Center Run Time)** : Module de supervision permettant de créer des interfaces graphiques de contrôle et de visualisation du processus automatisé. Il permet à l'opérateur de suivre l'évolution des séquences, de surveiller les alarmes et de commander certains éléments en mode manuel [17].
- **PLCSIM Advanced** : Outil de simulation avancée d'automate compatible avec les contrôleurs S7-1500, permettant d'exécuter le programme développé comme s'il était implanté dans un matériel réel. Il simule le comportement du CPU, des entrées/sorties, et peut interagir avec d'autres outils comme WinCC RT ou des simulateurs de processus. [18].

L'utilisation combinée de PLCSIM Advanced et de WinCC RT Advanced permet de tester l'ensemble du système dans un environnement entièrement virtuel, ce qui offre la possibilité de valider le bon fonctionnement du programme et de l'interface de supervision.

## 3.3 Création du projet et Configuration matérielle dans TIA Portal

Afin de simuler le fonctionnement de l'unité de régénération de glycol, la première étape a consisté à créer un nouveau projet dans l'environnement TIA Portal, en reproduisant fidèlement

l'architecture matérielle que l'on souhaite déployer virtuellement. Cette configuration comprend les modules essentiels pour assurer la commande, l'acquisition de signaux et la supervision.

Depuis l'interface de TIA Portal, un nouveau projet a été créé sous le nom «ProjectM2». Cette opération initiale permet de centraliser l'ensemble des ressources de développement (configuration matérielle, programmation, supervision et simulation). La figure 3.1 illustre cette étape de création.

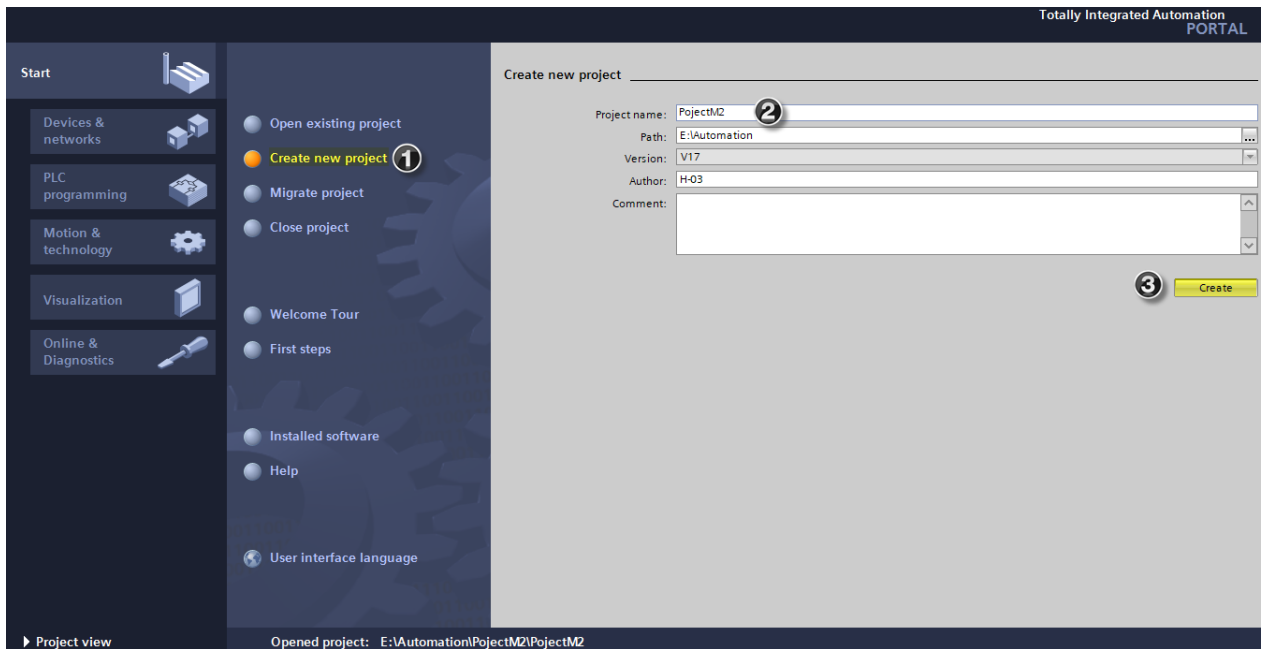


FIGURE 3.1 – Création du projet dans TIA Portal.

Une fois le projet créé, la configuration matérielle a été réalisée via l'environnement «Project View». Les différents modules nécessaires ont été sélectionnés depuis le catalogue matériel de TIA Portal, puis intégrés dans le rack virtuel correspondant. Cette configuration représente fidèlement le matériel simulé utilisé pour l'automatisation de l'unité.

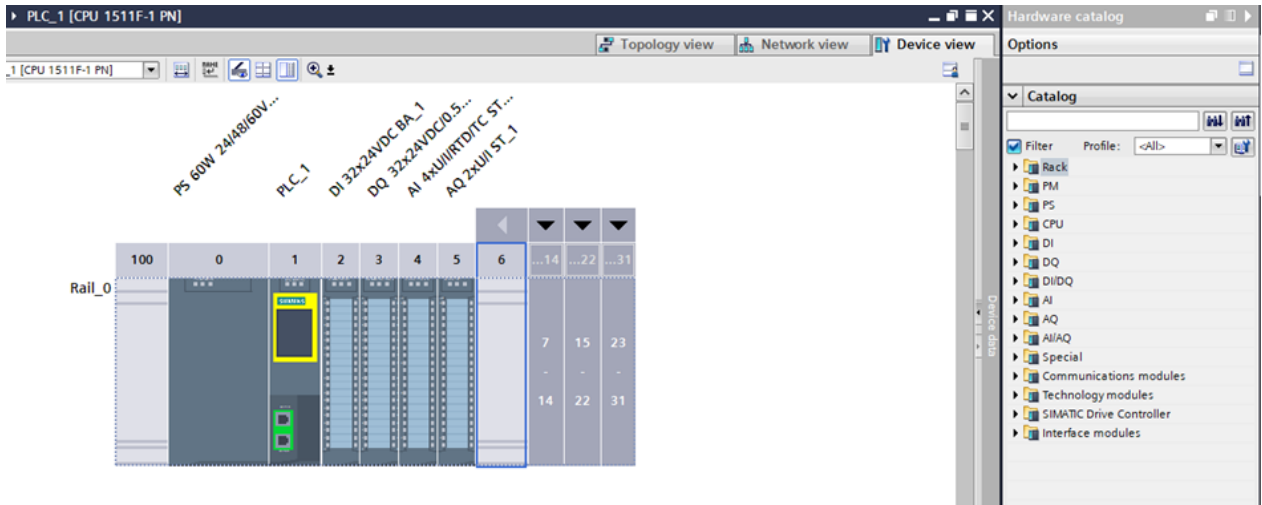


FIGURE 3.2 – Configuration matérielle de la station S7-1500 sous TIA Portal

La table 3.1 présente les principaux composants matériels configurés et leur rôle dans l'automatisme :

Composant	Reference	Utilisation
<b>Alimentation</b>	PS 60W 24/48/60VDC	Alimentation en 24V DC des modules
<b>CPU</b>	CPU 1511F-1 (Failsafe)	Commande principale des séquences automatisées
<b>Entrées digitales</b>	DI 32x24VDC	Contient 32 entrées digitales pour capteurs, boutons poussoirs, fins de course, etc.
<b>Sorties digitales</b>	DQ 32x24VDC/0.5A	Contient 32 sorties utilisées pour la commande des sorties TOR (Vanne, soufflante, etc.)
<b>Entrées analogiques</b>	AI 4xU/I/RTD/TC	Contient 4 entrées analogiques.
<b>Sorties analogiques</b>	AQ 2xU/I	Contient 2 sorties analogiques.

TABLE 3.1 – Description des composants et leurs fonctions

Le choix du contrôleur Siemens S7-1511F-1 PN/DP (Failsafe) s'explique par sa compatibilité avec les applications critiques en sécurité, sa puissance de traitement adaptée à des séquences complexes, ainsi que sa capacité à être simulée via PLCSIM Advanced. Ce choix garantit une compatibilité totale avec les exigences du procédé automatisé [19].

## 3.4 Développement du programme de commande

Cette section est consacrée à la programmation des différentes séquences de fonctionnement décrites dans le chapitre 2 précédent.

### 3.4.1 Déclaration des variables

Avant de commencer la programmation des séquences, une table de variables (Tag Table) a été créée dans TIA Portal. Elle regroupe tous les signaux nécessaires au fonctionnement du procédé, qu'il s'agisse des entrées (comme les boutons poussoirs, les capteurs de fin de course, ou les pressostats), des sorties (vannes, soufflantes, voyants lumineux, etc.), ou encore des variables internes (états, temporisations, compteurs). Centraliser l'ensemble de ces signaux dans une seule table permet une organisation claire et cohérente du projet, tout en simplifiant le développement, le suivi et les phases de test, voici une partie de ce tableau :

Name	Data type	Addr...	Comment
HS401	Bool	%I0.0	Sélecteur Soufflantes (A=0 ou B=1)
HS402	Bool	%I0.1	Sélecteur de mode (Auto=0 ou Test=1)
BP412	Bool	%I0.2	Bouton poussoir "Test vannes gaz et purge "
BP417	Bool	%I0.3	Bouton poussoir "RESET DE DEFAULT"
PSHH404	Bool	%I0.4	Pressostat de "TESTVANNES"
PSLL412	Bool	%I0.5	Pressostat très basse pression d'air
BP413A	Bool	%I0.6	Bouton Poussoir "DEMARRAGE PILOTE A"
BP413B	Bool	%I0.7	Bouton Poussoir "DEMARRAGE PILOTE B"
DF-A1	Bool	%I1.0	Détecteur de flamme N°1 du Brûleur A
DF-A2	Bool	%I1.3	Détecteur de flamme N°2 du Brûleur A
DF-B1	Bool	%I1.4	Détecteur de flamme N°1 du Brûleur B
DF-B2	Bool	%I1.5	Détecteur de flamme N°2 du Brûleur B
BP414	Bool	%I1.6	Bouton Poussoir "DEMARRAGE BRULEURS"
BP E5D	Bool	%I1.7	Bouton "Arrêt d'urgence"
BP415	Bool	%I2.0	Bouton Poussoir "ARRET PILOTES"
BP416	Bool	%I2.1	Bouton Poussoir "ARRET NORMAL"
BP421	Bool	%I2.2	BP Démarrage de la soufflante Mode Manuel
BP422	Bool	%I2.3	BP Arrêt de la soufflante Mode Manuel
PSLL401	Bool	%I2.4	Pressostat très basse pression de gaz Brûleurs
PSHH402	Bool	%I2.5	Pressostat très haute pression de gaz Brûleurs
PSHH403A	Bool	%I2.6	Pressostat très haute pression de gaz pilote A
PSHH403B	Bool	%I2.7	Pressostat très haute pression de gaz pilote B
XI412	Bool	%Q0.0	VOYANT "Autorisation test vannes gaz et purge "
SDV401	Bool	%Q0.1	Vanne d'alimentation de gaz combustible N°1
SDV402	Bool	%Q0.2	Vanne d'alimentation de gaz combustible N°2
DEFAULTVANNES DE GAZ	Bool	%Q0.3	Défaut vannes de sécurité gaz
TESTVANNES OK	Bool	%Q0.4	TESTVANNES OK

FIGURE 3.3 – Une partie du tableau de variables

### 3.4.2 Programmation des blocs fonctionnels (FB)

Dans le menu des blocs de programme, nous allons créer des blocs fonctionnels (FB) pour chaque Grafcet modélisée dans le chapitre précédent. La programmation est réalisée à l'aide du langage SFC (Sequential Function Chart), appelé GRAPH dans l'environnement Siemens.

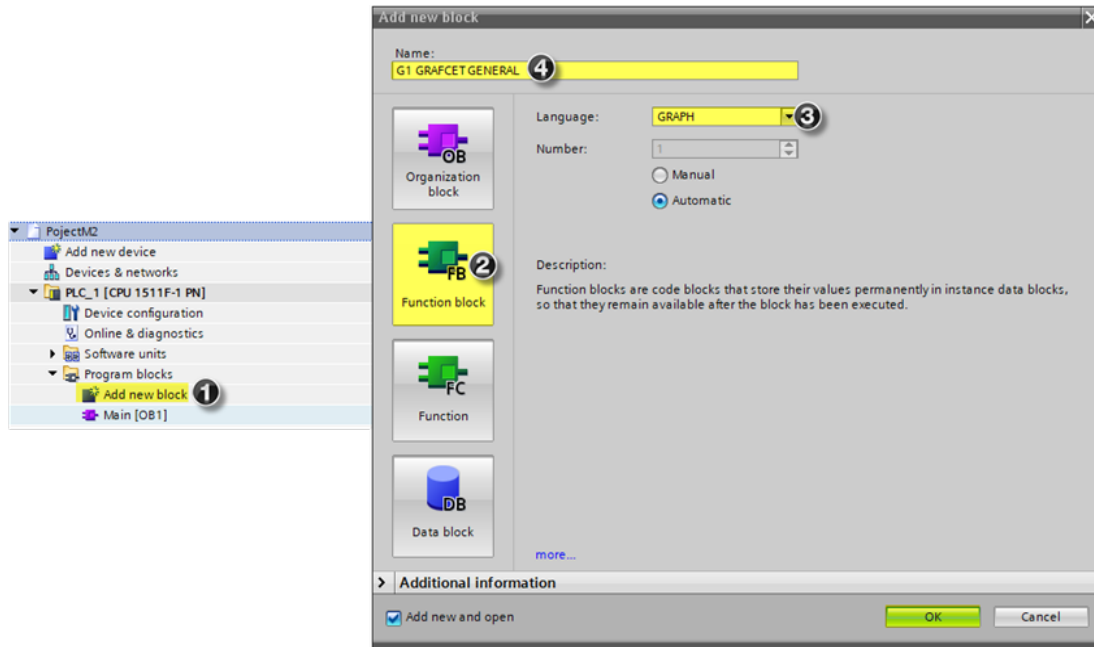


FIGURE 3.4 – Création du bloc fonctionnel.

Le langage SFC permet de structurer chaque séquence en étapes et transitions. Ce formalisme est parfaitement adapté à la nature séquentielle du procédé. Les étapes activent les sorties (ouverture d'une vanne, démarrage d'une soufflante, affichage d'une alarme). Les transitions sont programmées en langage LAD afin de rester lisibles et compatibles avec les standards industriels. Elles reposent sur des conditions logiques basées sur les entrées (capteurs, sélections, boutons poussoirs, etc.).

La figure 3.5 présente la séquence du Grafcet général G1 programmée en langage de programmation SFC (GRAPH) dans l'environnement TIA PORTAL :



FIGURE 3.5 – Bloc fonctionnel du Grafcet G1 (Général).

Chaque FB est autonome et encapsule une séquence bien définie du procédé, ce qui renforce la modularité et la réutilisabilité du programme.

### 3.4.3 Organisation de travail

Une fois tous les blocs fonctionnels développés, ils sont appelés dans le bloc principal du programme (OB1). Le bloc OB1 (Organization Block 1) joue un rôle fondamental, il constitue le point d'entrée principal du programme utilisateur, il est appelé cycliquement par le système d'exploitation de l'automate, ce qui permet le déroulement continu et périodique du traitement logique du programme [20].

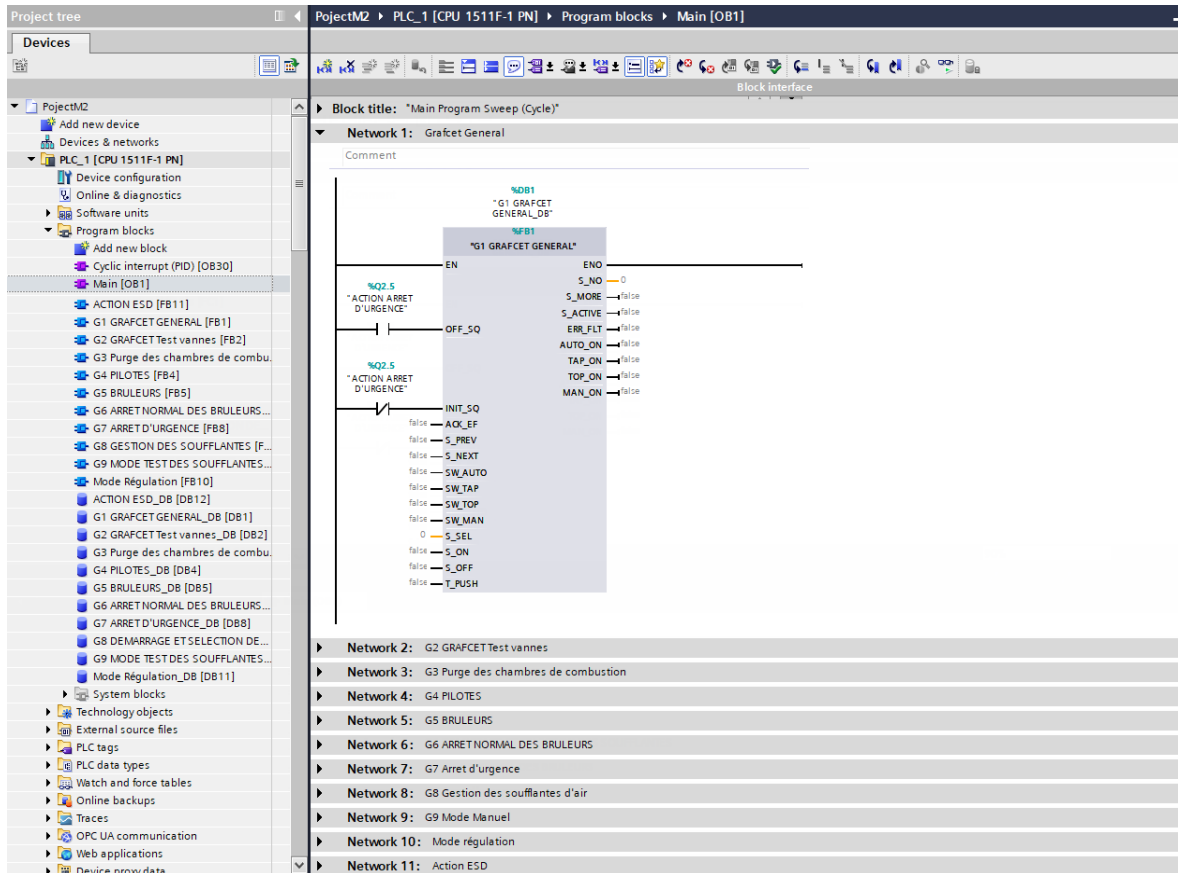


FIGURE 3.6 – Appel des blocs fonctionnels (FB) dans OB1

Cette architecture modulaire et séquentielle facilite les tests, la maintenance et l'adaptation future du programme à d'éventuelles évolutions du procédé.

### 3.5 Supervision de l'unité sous WinCC RT Advanced

Afin d'offrir à l'opérateur une interface homme-machine claire et efficace, une supervision a été réalisée à l'aide de l'environnement WinCC RT Advanced. Cette interface permet de suivre en temps réel l'état du procédé, de lancer manuellement certaines actions, et d'être alerté en cas d'anomalie ou de changement d'état. Pour structurer l'affichage des informations de manière intuitive, trois vues principales ont été développées : la vue « Brûleurs », la vue « Alarmes » et la vue « Info ». La navigation entre ces pages s'effectue à l'aide de boutons dédiés, assurant un accès rapide aux différentes fonctions.

### 3.5.1 Vue principale : commande et visualisation des brûleurs

La vue principale « Brûleurs » représente graphiquement l'ensemble du procédé, en incluant les éléments essentiels tels que les brûleurs, les vannes de sécurité, les soufflantes, la boucle de régulation de température, les voyants d'état et les boutons de commande opérateur (démarrage, arrêt, sélection de mode, etc.).

Cette interface permet à l'utilisateur de visualiser l'état de chaque composant en temps réel (position des vannes, état des brûleurs, défauts éventuels), de piloter manuellement certaines actions (boutons marche/arrêt, sélecteurs de mode automatique ou test), ainsi que d'avoir un retour immédiat via des voyants lumineux simulés (prêt, en marche, défaut, arrêt d'urgence...). Voici la figure 3.7 illustre la vue principale des brûleurs :

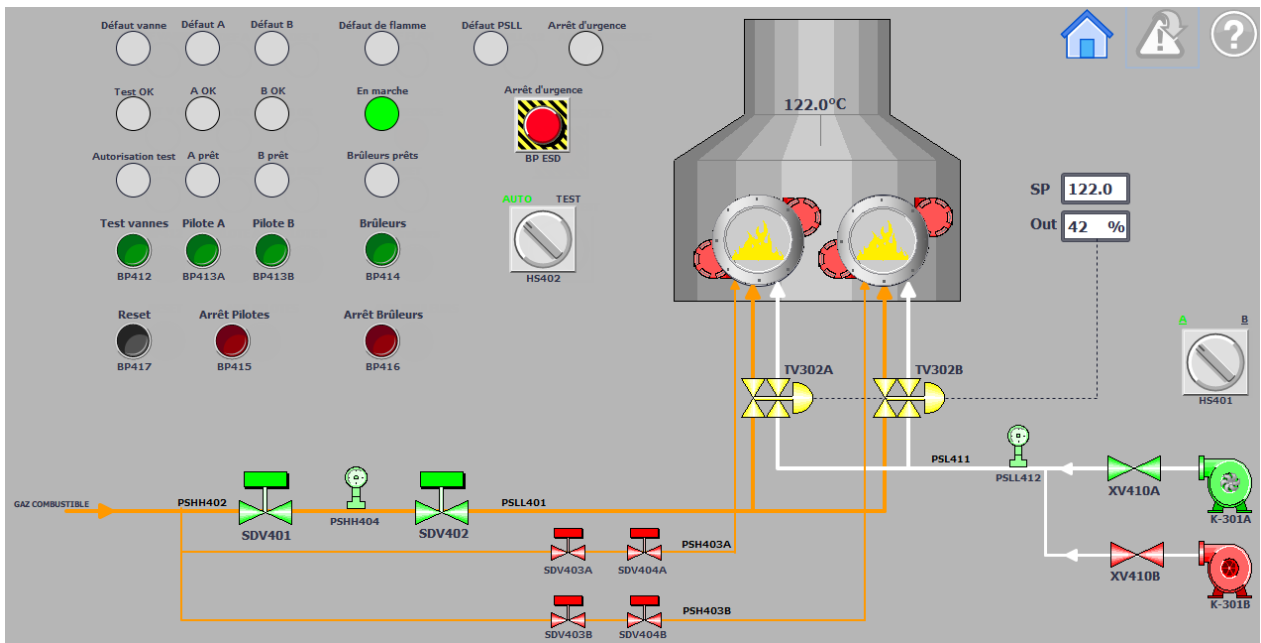


FIGURE 3.7 – Vue principale « Brûleurs ».

### 3.5.2 Vue « Alarmes »

La vue Alarmes complète la supervision en offrant une interface dédiée à la surveillance des conditions critiques et à la gestion des défauts de sécurité. Accessible via le bouton de navigation supérieur, Elle centralise tous les messages générés par l'automate en cas de défaillance ou d'écart par rapport aux conditions normales de fonctionnement.

L'affichage s'effectue sous forme de liste chronologique avec les informations suivantes :

- Date et heure de déclenchement d'alarme,

- Message explicite d'alarme (ex. : « Perte de flamme brûleurs »),
- Statut de l'alarme (active non acquittée(I), désactive non acquittée(IO), active et acquittée(IA)).

Un bouton d'acquiescement permet à l'opérateur de reconnaître et réinitialiser les défauts une fois qu'ils ont été pris en charge.

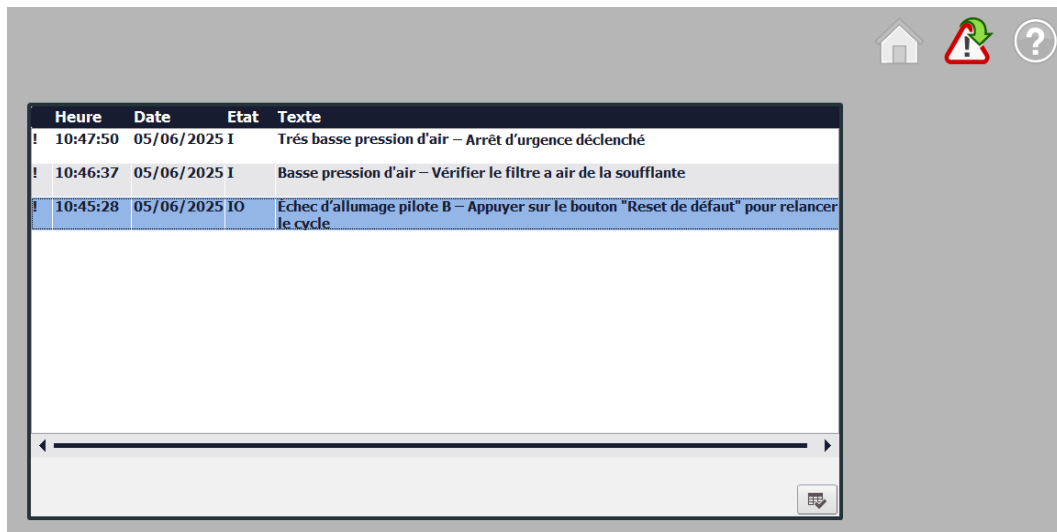


FIGURE 3.8 – Vue « Alarmes ».

Il est important de noter que les défauts critiques sont également signalés par des voyants d'état dans la vue « Brûleurs », ce qui permet une visibilité directe durant le fonctionnement.

### 3.5.3 Vue d'information du projet

La vue « Info » regroupe les informations techniques et documentaires essentielles destinées à l'opérateur, et au personnel de maintenance. Accessible via le bouton de navigation supérieur, Elle contient :

- Une légende des principaux symboles graphiques utilisés dans les autres vues (vannes, capteurs, soufflantes, voyants), permettant une lecture rapide et intuitive de l'interface.
- Un encadré décrivant les grandes étapes de la procédure de démarrage et d'arrêt, dans un langage simplifié, à visée opérationnelle.

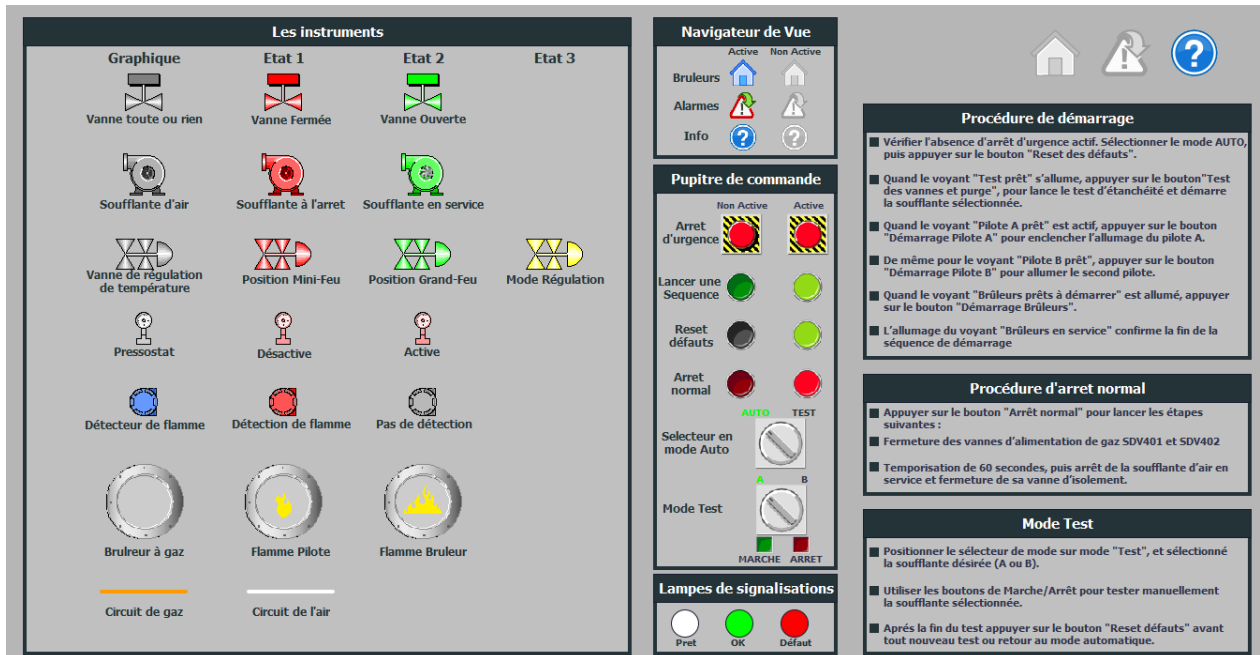


FIGURE 3.9 – Vue « Info ».

Cette vue joue un rôle informatif important pour tout utilisateur non familier avec l'installation, en servant de point d'entrée pour comprendre le contexte, le fonctionnement général du système supervisé.

## 3.6 Validation fonctionnelle des séquences par simulation

Cette section a pour objectif de valider le bon fonctionnement des séquences automatisées en le confrontant aux Grefcets établis au chapitre 2. Pour cela, des tests de simulation ont été réalisés à l'aide des outils TIA Portal, PLCSIM et WinCC RT Advanced. La validation repose sur deux types de tests :

- Le déroulement en conditions normales, avec activation correcte des étapes, transitions et actions attendues.
- Le comportement du système en cas d'anomalies, telles que défauts de vannes, absence de flamme, ou détection d'une pression anormale.

### 3.6.1 Test des vannes de gaz (G2)

Ce Grafcet correspond à la première étape de validation de sécurité avant tout allumage, et vise à s'assurer de l'étanchéité correcte des deux vannes de sécurité gaz (SDV401 et SDV402). Cette vérification est obligatoire avant tout allumage des brûleurs afin de prévenir tout risque d'explosion dû à une fuite de gaz combustible.

#### Cas normal

Dans ce scénario, la séquence G2 s'exécute de manière normale, sans détection d'anomalie. Les étapes du Grafcet se déroulent de façon fluide, conformément aux conditions de transition spécifiées. Sur la supervision, les états des vannes SDV401 et SDV402 sont actualisés en temps réel, permettant à l'opérateur de suivre visuellement le déroulement du test. À l'issue de la séquence, l'indicateur vert "Test OK" s'allume à la fois sur l'interface graphique et dans le bloc fonctionnel FB(G2), confirmant la réussite du test d'étanchéité.

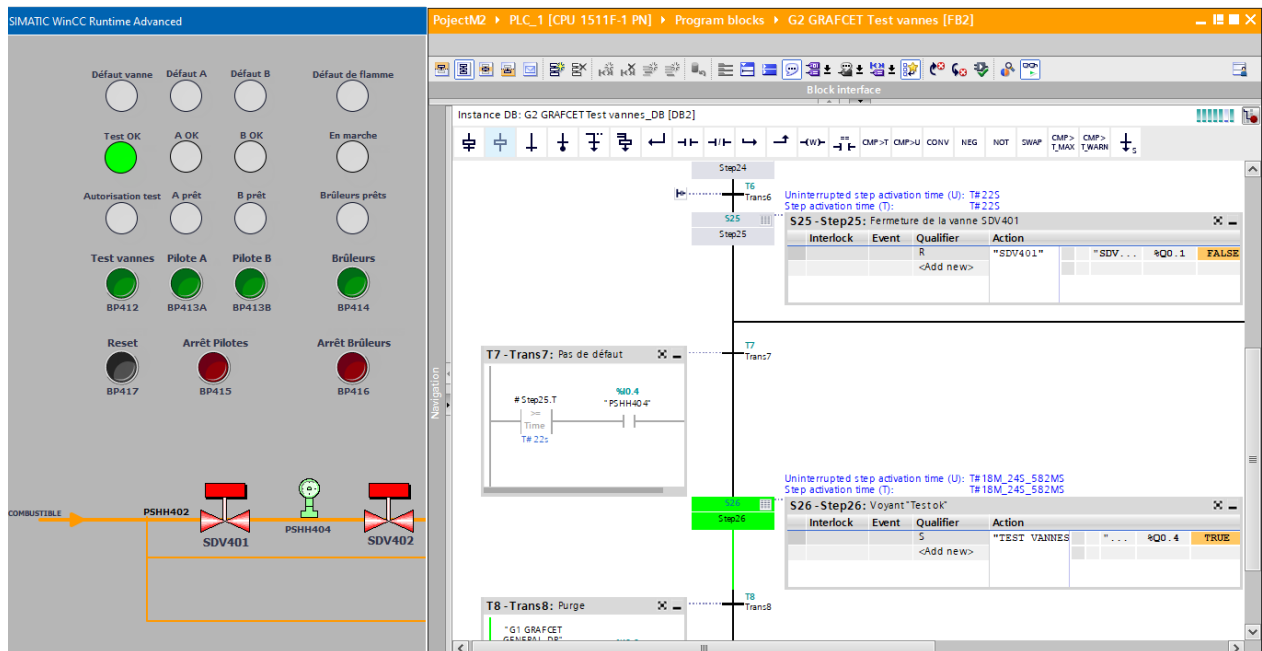


FIGURE 3.10 – Simulation du test des vannes (G2) - cas normal

#### Cas de défaut

Dans ce scénario de simulation, le défaut est détecté durant la seconde phase de la séquence G2. Après avoir validé l'étanchéité de la vanne SDV401, une fuite est simulée sur la vanne SDV402, ce qui constitue un défaut critique du point de vue de la sécurité de

l'installation. L'automate interrompt immédiatement la séquence et inhibe la poursuite du cycle de démarrage. Ce comportement a été validé par la supervision qui permet de visualiser clairement l'origine du défaut avec l'affichage du voyant « Défaut vannes » allumé, et une alarme critique est générée dans la vue Alarmes : « Défaut vannes de sécurité gaz », permettant à l'opérateur d'identifier clairement l'origine de l'anomalie et prendre les actions correctives nécessaires.

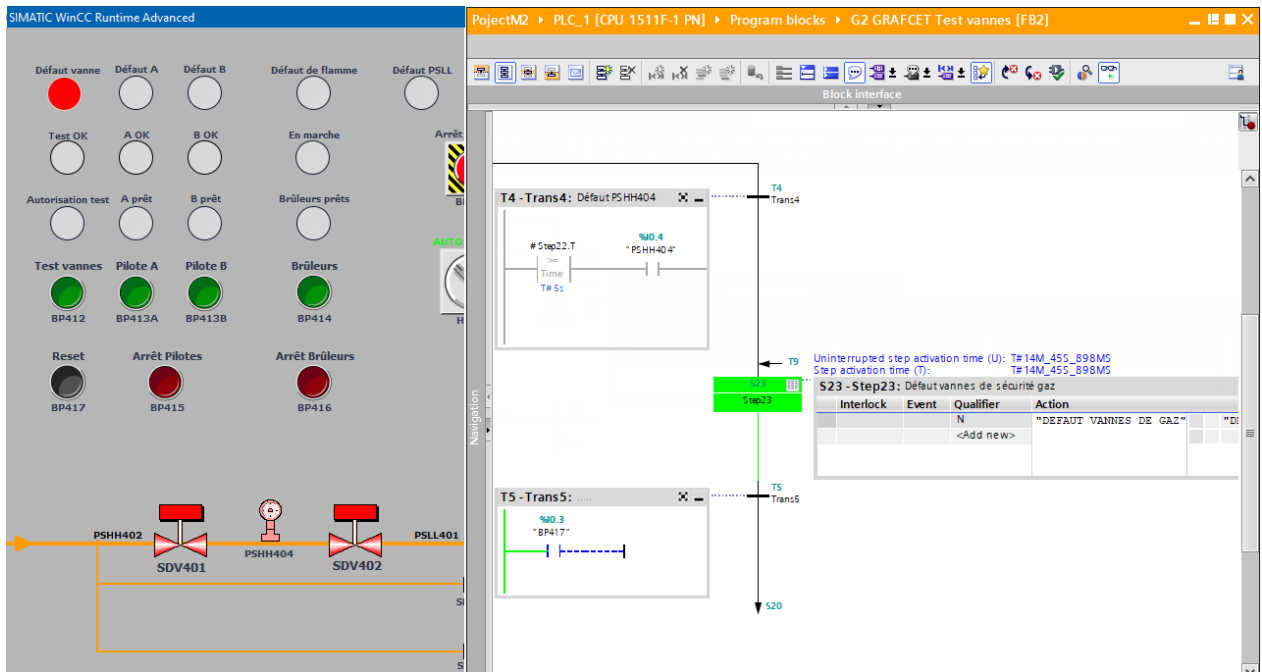


FIGURE 3.11 – Simulation cas de défaut sur la vanne SDV402

### 3.6.2 Purge des chambres de combustion (G3)

Le Grafcet G3 correspond à la phase de purge des chambres de combustion, une étape indispensable avant tout allumage, visant à évacuer les résidus de gaz potentiellement présents.

#### Cas normal

Dans le scénario nominal simulé, l'opérateur sélectionne la soufflante B via le sélecteur des soufflantes HS401. La soufflante B est alors automatiquement mise en marche, la vanne d'isolement XV410B s'ouvre, et la pression d'air suffisante, confirmant ainsi l'efficacité de la purge. La séquence progresse normalement, sans interruption, conformément aux étapes définies dans le Grafcet G3.

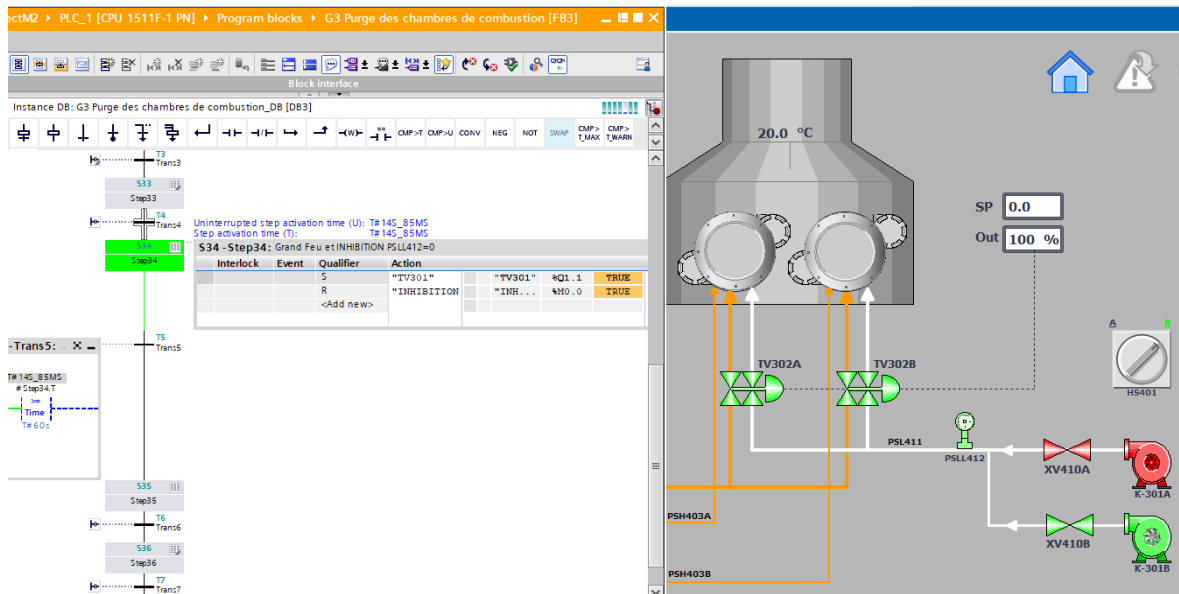


FIGURE 3.12 – Simulation de la séquence G3 en cours d'exécution.

### Cas de défaut

Le scénario de défaut simule une anomalie, telle qu'un défaut critique a été provoqué par l'activation du pressostat PSL412 (Très basse pression d'air). Dans ce cas, l'automate interrompt immédiatement la séquence en cours et déclenche un arrêt d'urgence de l'unité. Sur la supervision, le voyant rouge « Arrêt d'urgence » s'allume simultanément avec le voyant clignotant « Défaut PSL412 », signalant clairement la nature de l'anomalie. En complément, un message d'alarme apparaît dans la vue Alarmes : « Très basse pression d'air – Arrêt d'urgence déclenché ».

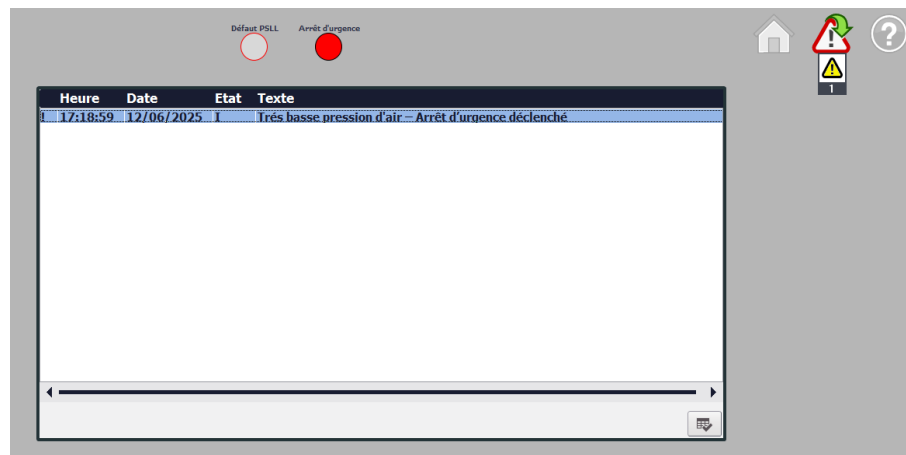


FIGURE 3.13 – Cas de défaut « PSL412 »

### 3.6.3 Démarrage des pilotes (G4)

La séquence G4 correspond à la phase de mise en service des deux pilotes d'allumage A et B. Cette étape précède l'allumage des brûleurs principaux et vise à garantir une présence de flamme pilote stable et détectée avant toute injection de gaz combustible à grande échelle.

#### Cas normal

Dans le scénario nominal simulé, l'opérateur démarre le pilote A via le bouton poussoir BP413A. Le programme Grafcet exécute alors les étapes suivantes : inhibition temporaire des sécurités flamme, ouverture des vannes de sécurité gaz pilote correspondantes (SDV403A et SDV404A), activation de l'étincelage, puis arrêt de celui-ci après 5 secondes, et retrait de l'inhibition de détection de flamme. Le détecteur de flamme A1 confirme la présence d'une flamme stable, validant ainsi le bon allumage du pilote A. Cette réussite est indiquée visuellement par l'allumage du voyant vert « Pilote A OK » et l'affichage en temps réel l'état des actionneurs (vannes, étincelage) ainsi que les signaux de retour dans la vue « Brûleurs », permettant à l'opérateur de suivre précisément le déroulement de la séquence.

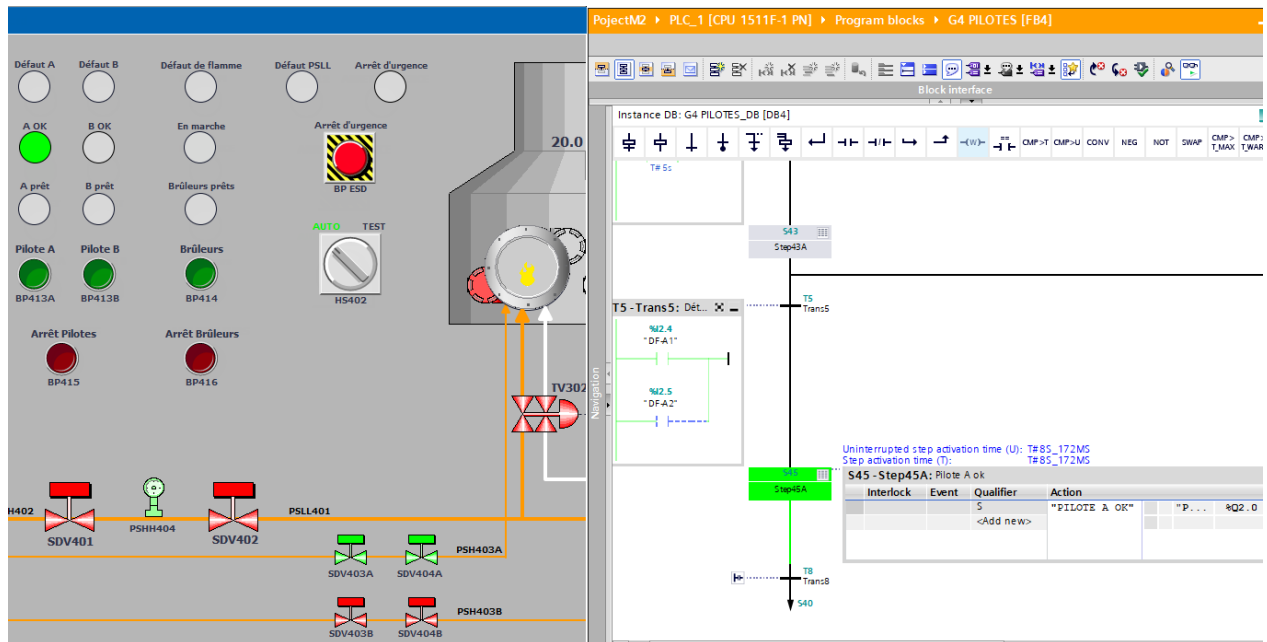


FIGURE 3.14 – Simulation d'allumage pilote A (Grafcet G4)

#### Cas de défaut

Dans ce scénario, une absence de confirmation de flamme est simulée sur le pilote A. Après quatre tentative (ouverture des vannes gaz, étincelage, puis réactivation de la détection),

aucune cellule de détection DF-A1 ou DF-A2 ne confirme la présence de flamme. À l'issue de la quatrième tentative, l'automate active le voyant rouge « Défaut de flamme Pilote A » sur la vue Brûleurs, et génère un message d'alarme « Échec d'allumage pilote A – appuyer sur le bouton de reset PB417 pour relancer le cycle ».

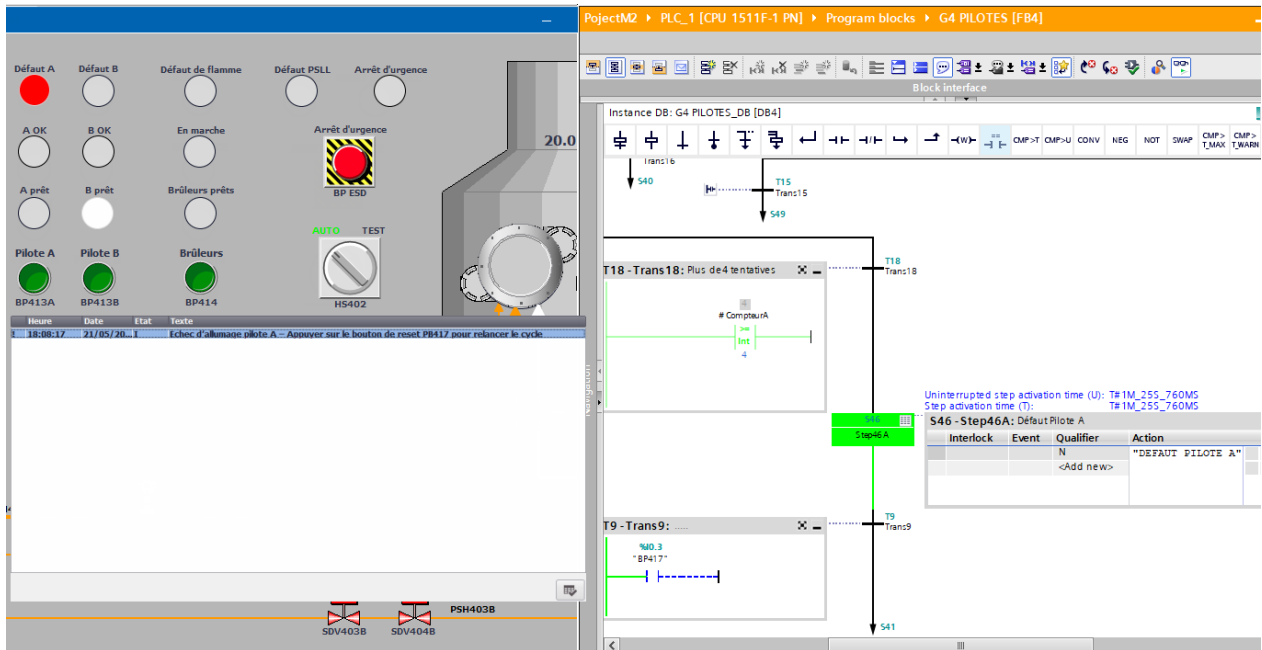


FIGURE 3.15 – Simulation d'un échec d'allumage du pilote A (G4)

### 3.6.4 Allumage des brûleurs (G5)

La séquence G5 intervient après la validation du bon allumage des deux pilotes A et B. Elle constitue l'étape cruciale de mise en marche des brûleurs principaux, permettant le basculement du procédé en mode régulation.

#### Cas normal

En simulation, l'exécution de la séquence G5 dans un contexte opérationnel nominal débute par l'activation du bouton PB414. L'automate commande l'ouverture simultanée des vannes de gaz SDV401 et SDV402. Une temporisation de 10 secondes est ensuite lancée pour fermer les vannes pilote SDV403A/B et SDV404A/B, La supervision affiche l'état des vannes, l'allumage de la lampe « Brûleurs en marche », ainsi que le passage en mode régulation des vannes TV302A/B pour maintenir la température du rebouilleur à la consigne souhaitée.

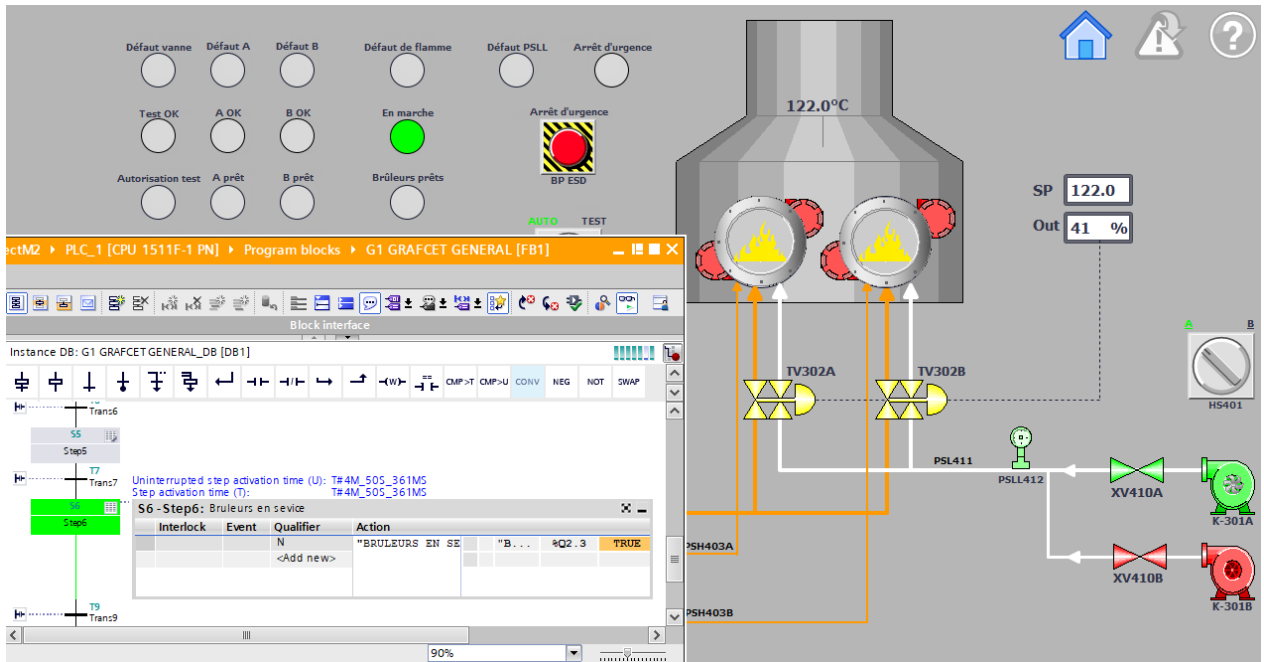


FIGURE 3.16 – Simulation d'un allumage réussi des brûleurs (G5)

### Cas de défaut

Dans ce scénario critique, une perte simultanée de la détection de flamme sur les deux brûleurs est simulée. Dès l'absence de signal provenant des deux détecteurs de flamme, le l'automate déclenche immédiatement un arrêt d'urgence de l'unité, conformément aux exigences de sécurité du procédé.

Dans la supervision le voyant rouge « Arrêt d'urgence » s'allume, accompagné d'un clignotement du voyant « Défaut de flamme brûleurs ». Parallèlement, un message d'alarme s'affiche dans la vue Alarmes : « Perte de flamme – Arrêt d'urgence déclenché ».

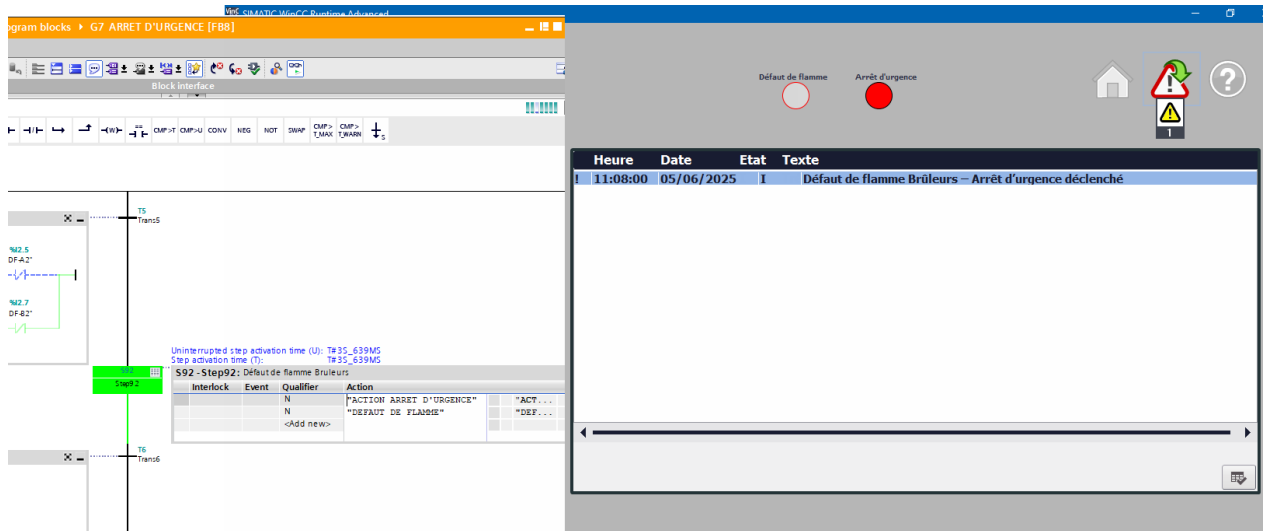


FIGURE 3.17 – Simulation d’une perte de flamme sur les brûleurs

### 3.6.5 Arrêt normal des brûleurs (G6)

La séquence G6 correspond à l’arrêt contrôlé et sécurisé de l’unité, déclenché manuellement par l’opérateur. Elle constitue la dernière phase du cycle de fonctionnement nominal et vise à ramener l’installation dans un état stable et sans risque, tout en préparant un redémarrage ultérieur dans des conditions optimales de sécurité.

En simulation, l’arrêt normal est initié par l’appui sur le bouton-poussoir PB416. L’automate exécute alors une série d’actions enchaînées de manière ordonnée.

La séquence est confirmée sur la supervision par l’extinction du voyant « Brûleurs en marche », tandis que l’interface indique la fermeture des vannes, l’arrêt des soufflantes, et la mise en position mini-feu des vannes de régulation de température.

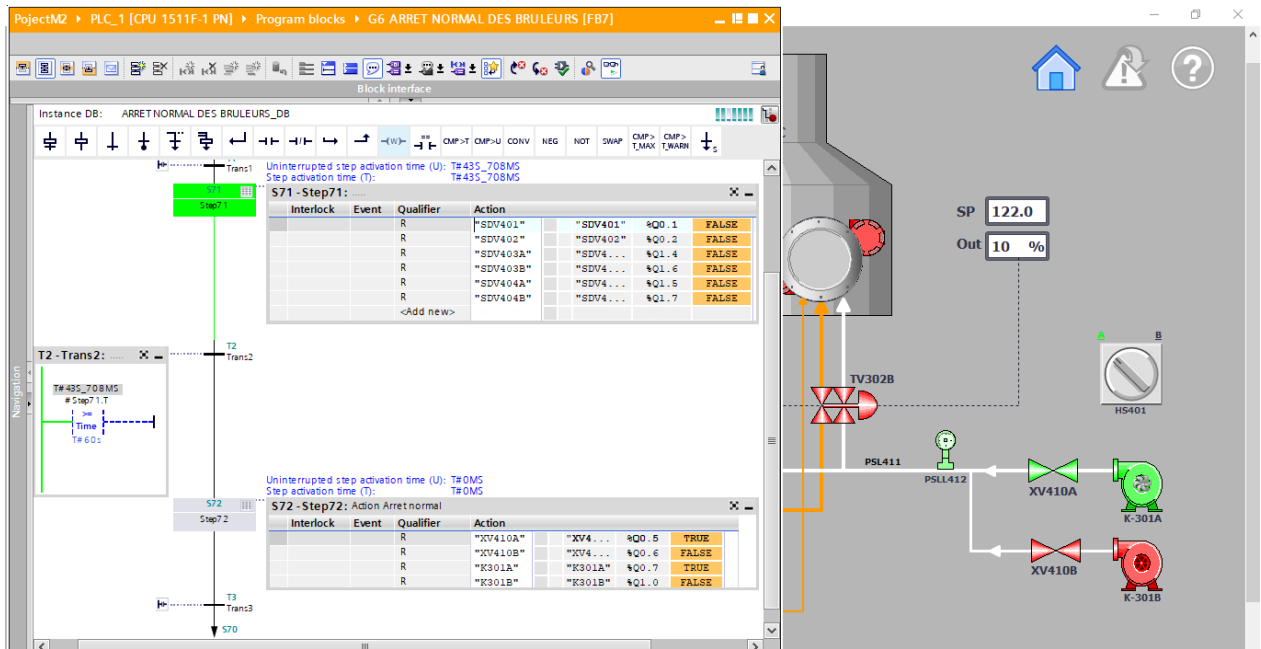


FIGURE 3.18 – Simulation en cours d'arrêt normal des brûleurs G6

### 3.6.6 Arrêt d'urgence des brûleurs (G7)

La séquence G7 est conçue pour assurer l'arrêt immédiat et sécurisé de l'ensemble de l'unité en cas de situation critique mettant en péril la sécurité de l'installation ou du personnel. Cet arrêt d'urgence peut être déclenché automatiquement par l'automate (par exemple en cas de perte de flamme, surpression ou très haute température) ou manuellement par l'opérateur via le bouton d'arrêt d'urgence. En simulation, l'activation du bouton d'arrêt d'urgence simulée d'une variable critique entraîne l'exécution instantanée de la séquence G7. La supervision active le voyant « Arrêt d'urgence », ainsi qu'un message d'alarme « Arrêt d'urgence des brûleurs » affiché dans la vue Alarmes.

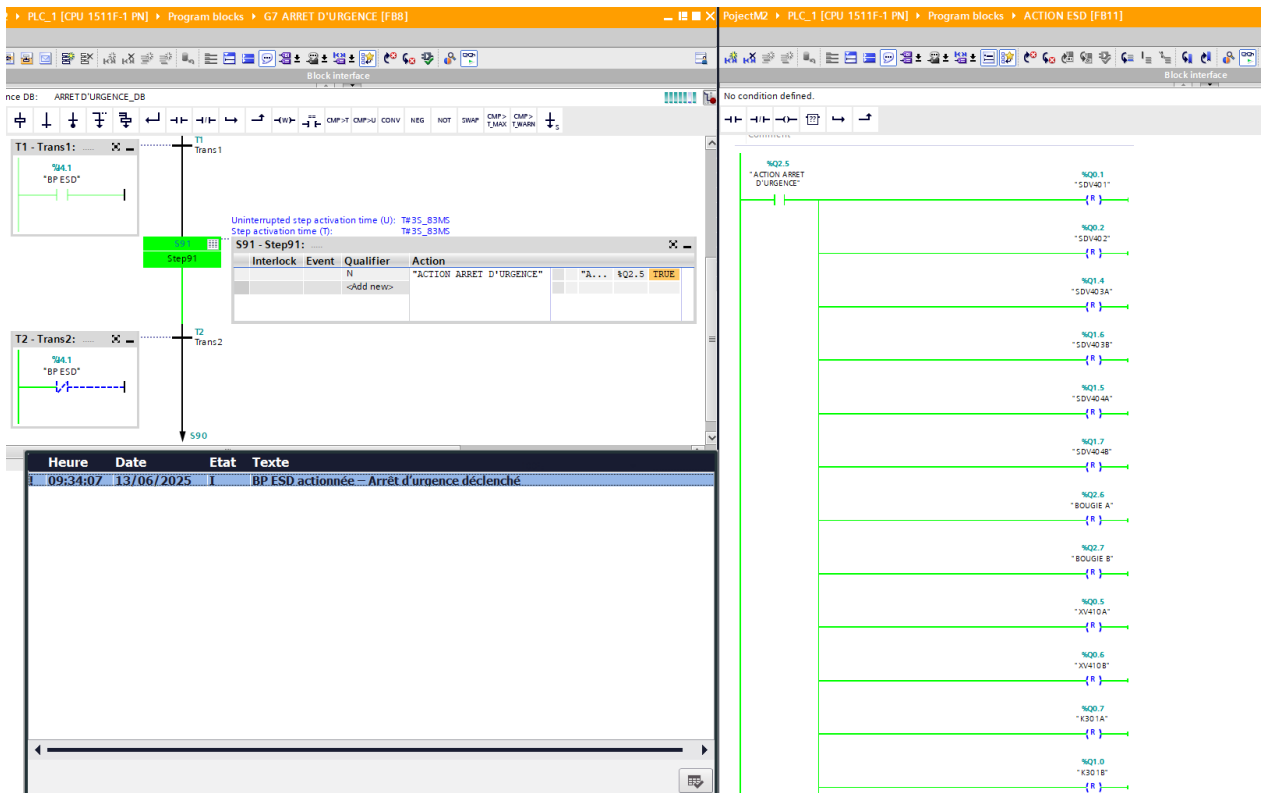


FIGURE 3.19 – Simulation de l'arrêt d'urgence G7

Cette simulation a permis de valider la robustesse de la stratégie de sécurité implémentée dans la séquence G7. Le passage immédiat de l'installation à un état sûr limite efficacement les risques d'explosion, d'incendie ou de détérioration matérielle.

### 3.6.7 Gestion des soufflantes d'air (G8)

Lorsque les brûleurs sont en fonctionnement et qu'un basculement de soufflante est demandé via le sélecteur HS401, le changement est automatiquement pris en charge par l'automate. La figure 3.20 illustre cette séquence automatisée en cours de simulation, avec visualisation en temps réel sur l'interface de supervision de l'état des vannes et des soufflantes.

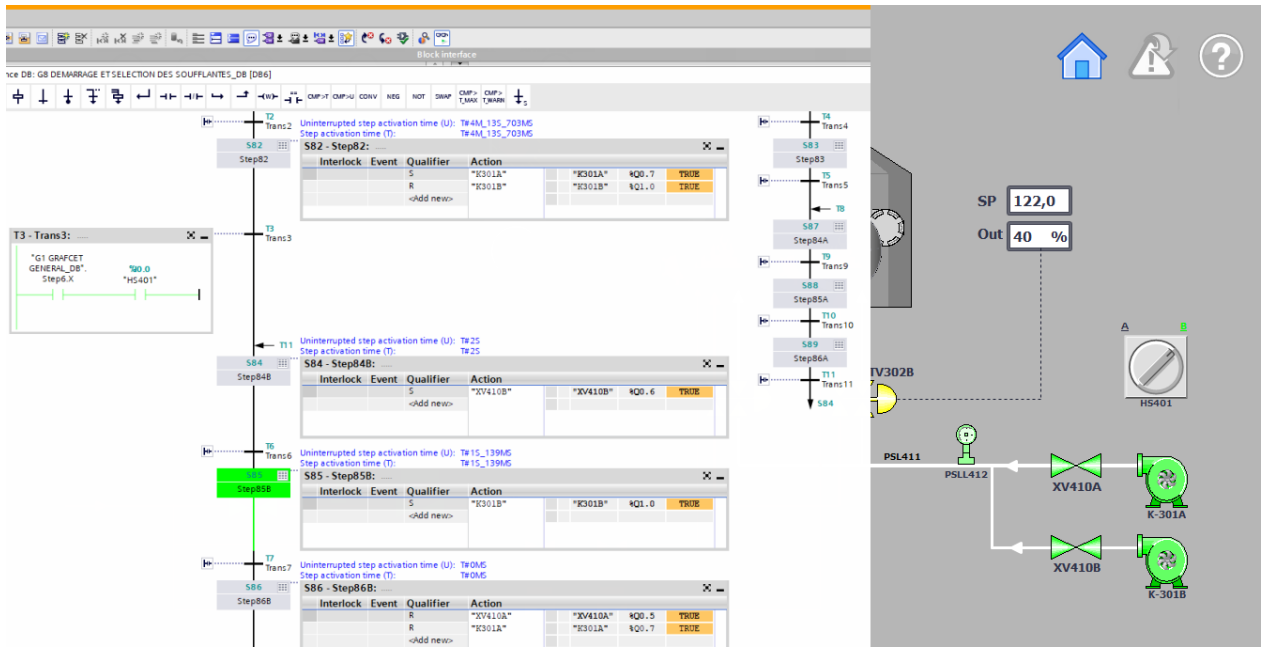


FIGURE 3.20 – Changement de soufflante d’air G8

### 3.6.8 Mode manuel (G9)

La séquence G9 gère le fonctionnement manuel des soufflantes d’air, permettant à l’opérateur de tester individuellement chaque soufflante via la supervision. Ce mode de fonctionnement est principalement utilisé à des fins de maintenance, de vérification ou de dépannage. Dans ce scénario, l’opérateur place d’abord le sélecteur HS402 en position « Test », Ensuite, à l’aide du sélecteur HS401, il choisit la soufflante à tester, ici la soufflante A. Cette configuration active automatiquement une interface dédiée sur la supervision, L’opérateur peut alors commander la marche ou l’arrêt de la soufflante A via deux boutons poussoirs virtuels. L’état des actionneurs et capteurs sont affichés en temps réel sur la supervision.

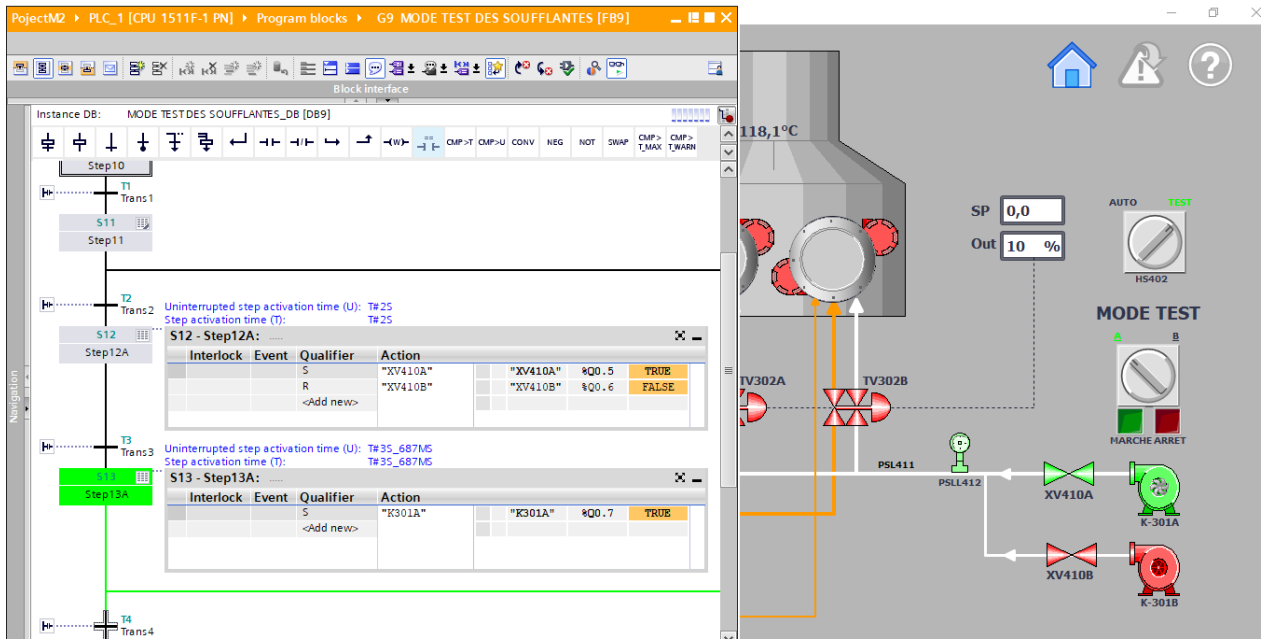


FIGURE 3.21 – Simulation du mode manuel commande de la soufflante A (G9)

Cette simulation valide la fonctionnalité de test local des équipements et la cohérence entre l'interface opérateur et le comportement automatisé. Le mode manuel garantit une grande souplesse d'exploitation et renforce la maintenabilité de l'unité.

### 3.7 Conclusion

Ce chapitre a présenté l'ensemble des travaux de développement, de simulation et de validation fonctionnelle réalisés dans le cadre de l'automatisation de l'unité de régénération de glycol à l'aide de l'automate Siemens S7-1500 et de l'environnement TIA Portal.

Après avoir détaillé la configuration matérielle et logicielle du projet, la programmation des différentes séquences (Grafcets) a été effectuée avec rigueur, en cohérence avec le cahier des charges fonctionnel établi au chapitre 2.

L'intégration des éléments de supervision via WinCC RT Advanced a permis une visualisation claire et intuitive du procédé, favorisant la traçabilité des actions et la détection rapide des anomalies.

Les simulations effectuées dans PLCSIM ont permis de valider le bon déroulement de chaque séquence, aussi bien en conditions normales qu'en présence de défauts critiques tels que l'absence de flamme, des pressions anormales ou des défaillances de vannes. Ces tests ont confirmé la robustesse et la fiabilité des logiques de sécurité mises en œuvre, en particulier

dans les séquences G6 (arrêt normal) et G7 (arrêt d'urgence). Par ailleurs, la mise en œuvre d'un mode manuel (G9) a offert une flexibilité d'exploitation supplémentaire, utile lors des phases de maintenance ou de tests en local.

Ainsi, l'ensemble des résultats obtenus démontre la conformité du système automatisé aux exigences fonctionnelles et sécuritaires de l'unité réelle. Ces travaux posent les bases d'une transition efficace entre le système existant (HIMA F60) et une architecture Siemens S7, tout en assurant un haut niveau de supervision, de diagnostic et de contrôle.

# Conclusion générale

Ce mémoire a porté sur l'automatisation et la supervision d'une unité de régénération de glycol, avec pour objectif principal de modéliser, programmer et simuler l'ensemble des séquences de fonctionnement à l'aide d'un automate Siemens S7-1500 et de l'environnement TIA Portal. Le système réel, basé sur un automate de sécurité HIMA Himatrix F60, a servi de référence pour la conception fonctionnelle, tandis que le choix de la plateforme Siemens a permis de mettre en œuvre un projet pédagogique complet, conforme aux standards industriels modernes.

Dans un premier temps, une étude approfondie des systèmes de commande a été menée, retraçant l'évolution des technologies de l'automatisation depuis les commandes manuelles jusqu'aux API, en passant par la régulation pneumatique et électropneumatique. Cette progression a mis en évidence les avantages des automates programmables industriels en termes de flexibilité, de sécurité et d'intégration dans des architectures de supervision.

Le deuxième chapitre a permis de décrire en détail le procédé de régénération de glycol, en identifiant les différents éléments techniques, les organes de sécurité, les instruments de mesure, ainsi que les exigences fonctionnelles et sécuritaires du système. Sur cette base, une modélisation par GRAFCET a été établie, décomposant le fonctionnement global en neuf séquences (G1 à G9), chacune répondant à un objectif opérationnel précis.

Le troisième chapitre a été consacré à la programmation sous TIA Portal, à la configuration des modules de supervision avec WinCC RT Advanced, ainsi qu'à la validation fonctionnelle par simulation à l'aide de PLCSIM. Chaque séquence a été testée en conditions normales et en présence de défauts simulés, confirmant la robustesse des logiques développées, notamment les réactions en cas de perte de flamme, de détection de pression anormale ou d'échec de purge. L'interface de supervision a également joué un rôle fondamental pour le suivi en temps réel, la gestion des alarmes et l'ergonomie opérateur.

Les résultats obtenus valident la faisabilité d'un tel projet, en démontrant que la solution Siemens S7-1500 est capable d'assurer les mêmes fonctions essentielles que l'automate HIMA, tout en offrant une interface de développement moderne, une simulation intégrée, et une

visualisation performante. Ce travail met ainsi en lumière l'intérêt de la migration vers des plateformes ouvertes, tout en respectant les exigences rigoureuses liées à la sécurité des procédés industriels.

# Bibliographie

- [1] Mikell P. Groover. *Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing*. 4th ed., Pearson, 2016.
- [2] Kamel, Khaled, and Eman Kamel. *Programmable Logic Controllers : Industrial Control*. McGraw-Hill, 2013.
- [3] United States Environmental Protection Agency. *Mechanical Controllers*. Natural Gas STAR Program, 2023. Disponible sur : [www.epa.gov/natural-gas-star-program/mechanical-controllers](http://www.epa.gov/natural-gas-star-program/mechanical-controllers)
- [4] Dongsu Petrochemical. *What is a Pneumatic Controller in Oil and Gas*. Dongsu, 2024. Disponible sur : [www.dongsu-petro.com/news/what-is-a-pneumatic-controller-in-oil-and-gas.html](http://www.dongsu-petro.com/news/what-is-a-pneumatic-controller-in-oil-and-gas.html)
- [5] Kuphaldt, Tony R. *Lessons in Industrial Instrumentation*. Version 3.01 (stable), mise à jour le 26 févr. 2022, Creative Commons Attribution 4.0 International License. Disponible sur : <https://control.com/uploads/Control-Automation-Textbook.pdf>
- [6] Parr, Andrew. *Hydraulics and Pneumatics : A Technician's and Engineer's Guide*. Butterworth, 1991.
- [7] K. Patel, V. Jogani, P. Bhajiyawala, A. Modi, and P. Panchal, "Technological revolution in Industrial Automation using PLC," *International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology*, Apr. 2021.
- [8] INTERNATIONAL STANDARD IEC 61131-1. *Automates programmables – Partie 1 : Informations générales*. Second edition, 2003-01.
- [9] W. Bolton. *Programmable Logic Controllers*. Sixth Edition, 2015.
- [10] INTERNATIONAL STANDARD IEC 61131-3. *Automates programmables – Partie 1 : Langages de programmation*. Second edition, 2003-05.
- [11] SSaeid Mokhatab, William A. Poe, James G. Speight. *Handbook of natural gas transmission and processing*. Elsevier, 2006

- [12] Hung Le Ba, *Formation et agglomération de particules d'hydrate de gaz dans une émulsion eau dans huile : Etude expérimentale et modélisation*. HAL, 22 Apr 2010.
- [13] Gas Processors Suppliers Association (GPSA). *Engineering Data Book*. 12th Edition, Tulsa, Oklahoma. 2004
- [14] Documentation SONATRACH. *Description Procédé et Analyse Fonctionnelle*. HASSI R' MEL MPP0 REFERENCE : 41141-17.001
- [15] Documentation SONATRACH. *Piping and Instrumentation Diagram U51*. HASSI R' MEL MPP0 REFERENCE : 41141-12.005
- [16] Siemens AG. *Totally Integrated Automation Portal V17*, System Manual. 2021.
- [17] Siemens. *SIMATIC HMI WinCC (TIA Portal) WinCC Engineering V17 – Options*, System Manual. 05/2021.
- [18] Siemens. *FUNCTION MANUAL SIMATIC S7-1500 S7-PLCSIM Advanced*, Function Manual. V6.0, 11/2023.
- [19] Siemens. *SIMATIC S7-1500 CPU 1511-1 PN* , Manuel. 12/2014
- [20] Siemens. *SIMATIC Programmer avec STEP 7* ,Manuel. 05/2010