

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

Université A. MIRA de Bejaia

Faculté de Technologie

Département Génie Électrique



Mémoire de Fin d'Etude

En vue de l'obtention du diplôme de Master en électromécanique

Option : Électromécanique

Thème

***Automatisation du Contrôle de Température dans un Four de
Fardeleuse de Sucre avec un Automate Siemens LOGO***

Réalisé par

REMAL YAMINA

Soutenu le 18/06/2025

Encadrant : Mr. Salah TAMALOUZT

U.A/MIRA Bejaia

Co-Encadrant: Mr. Lahlou ABAD

U.A/MIRA Bejaia

Encadrant stage: Mr. Foudil BOUDJELIL

ING/Cevital Bejaia

Jury:

Président: Mr. Kamel DJERMOUNI

U.A/MIRA Bejaia

Examineur : Mr. Abdelkrim HAMASSE

U.A/MIRA Bejaia

Année universitaire

2024/2025

Remerciements

Je profite de cette opportunité pour remercier en premier lieu le bon DIEU le tout puissant, de m'avoir donné autant de courage, patience et volonté pour accomplir ce travail.

*Au terme de ce travail, je présenté mes sincères remerciements en particulier, au **Professeur Tamalouzt** pour son soutien et pour son aide et ses conseils durant l'élaboration de ce travail.*

*Je voudrais aussi exprimer ma gratitude et ma reconnaissance à **Monsieur Abad** dont les idées, les conseils, m'ont été d'une aide précieuse.*

Ma reconnaissance va à tous les membres de jury qui nous feront l'honneur d'apprécier mon travail.

*Je tiens également à remercier mon encadreur au sein de l'unité de conditionnement de sucre **Monsieur Boudjelil**, et tous les ingénieurs, techniciens et personnes rencontrés pendant mon stage. Leurs conseils, leurs compétences et leur générosité dans le partage de leur expérience ont été des atouts précieux pour mener à bien ce projet.*

Tous les mots restent faibles pour exprimer ma profonde reconnaissance à mes parents et ma famille pour le soutien et l'aide précieuse qu'ils m'ont apportés durant mes longues années d'études.

Sommaire

Liste des figures	1
Liste des tableaux	1
Introduction Générale :	2
1 Présentation de l'Enterprise Cevital.....	5
1.1 Introduction :	5
1.2 Histoire de l'entreprise :	5
1.3 Présentation de l'entreprise :	5
1.3.1 Mission :	5
1.3.2 Activités :	5
1.3.3 Productions de cevital :	6
1.4 Produits de cevital :	6
1.5 Structure hiérarchique :	7
1.6 Conclusion :	8
1 Chapitre 1 : Présentation des éléments du processus industriel	10
1.1 Introduction :	10
1.2 Présentation du four de fardeleuse de sucre :	10
1.2.1 Tunnel de rétraction :	10
1.2.2 Fonctionnement du four de fardeleuse :	11
1.2.3 Optimiser la répartition de l'air chaud :	11
1.2.4 Optimiser la rétraction :	12
1.3 Le rôle du four de fardeleuse :	12
1.4 Problèmes liés à la régulation actuelle :	12
1.4.1 Utilisation les contacteurs et les régulateurs classique :	12
1.4.2 Manque de précision dans la régulation thermique :	14
1.5 Conclusion :	15
2 Chapitre 2 : Théories et technologies utilisées	17
2.1 Introduction :	17
2.2 Régulation de température :	17
2.3 Présentation du matériel utilisé :	17
2.3.1 Capteur de température PT100 :	17
2.3.2 Automate siemens LOGO! et son module analogique :	18
2.3.3 Relais statique (SSR) :	19
2.4 Présentation du logiciel LOGO! Soft Comfort :	21
2.4.1 Fonctionnalités :	21

2.4.2	Caractéristiques techniques de LOGO :	21
2.4.3	Avantage de LOGO :	21
2.5	Paramétrage de programmation :	21
2.6	Conclusion :	25
3	Chapitre 3 : Conception et mise en œuvre du système automatisé	27
3.1	Introduction :	27
3.2	Cahier des Charges Fonctionnel du Four de la Fardeleuse de Sucre :	27
3.2.1	Objet du Document :	27
3.2.2	Principales Fonctions :	27
3.2.3	Fonctionnement Général :	29
3.2.4	Fonctionnement détaillé :	30
3.3	Le GRAFCET :	33
3.3.1	Définition :	33
3.3.2	Les concepts de base d'un GRAFCET :	33
3.4	GRAFCET du four :	36
3.5	Schéma fonctionnel et câblage du système :	37
3.6	Programmation :	48
3.7	Analyse des performances du système automatisé :	51
3.8	Fonctionnement du programme avant amélioration :	51
3.9	Fonctionnement du programme après amélioration :	51
3.10	Comparaison technique :	52
3.11	Conclusion :	53
	Conclusion Générale :	55
	Références Bibliographiques	57
	Résumé	58

Liste des figures

Présentation de l'entreprise Cevital

Figure 1 : Produits de Cevital [1]	7
Figure 2 : Organigramme général de Cevital agro-industrie	8

Chapitre 1

Figure 1.1 : Four de la fardeleuse [2]	10
Figure 1.2 : Contacteurs	12

Chapitre 2

Figure 2.1 : Capteur de température PT100	18
Figure 2.2 : Automate LOGO! Siemens [8]	19
Figure 2.3 : Relais statique (SSR) [10]	20
Figure 2.4 : Interface de logiciel LOGO	22
Figure 2.5 : Interface du projet	23
Figure 2.6 : Icones de la barre des menus	24
Figure 2.7 : Barre d'outils standard	24
Figure 2.8 : Barre d'outils	24
Figure 2.9 : Barre de simulation	24
Figure 2.10 : Barre d'état	25

Chapitre 3

Figure 3.1 : Représentation d'une étape de grafcet	33
Figure 3.2 : Représentation normalisée des actions de grafcet [12]	34
Figure 3.3 : Transition de grafcet [12]	34
Figure 3.4 : Liaisons orientées de grafcet [12]	35
Figure 3.5 : GRAFCET finale du four	36
Figure 3.6 : Liaison entre automate, capteurs et actionneurs (partie 1)	37
Figure 3.7 : Liaison entre automate, capteurs et actionneurs (partie 2)	38
Figure 3.8 : Liaison entre automate, capteurs et actionneurs (partie 3)	39
Figure 3.9 : Liaison entre automate, capteurs et actionneurs (partie 4)	40
Figure 3.10 : Liaison entre automate, capteurs et actionneurs (partie 5)	41
Figure 3.11 : Liaison entre automate, capteurs et actionneurs (partie 6)	42
Figure 3.12 : Liaison entre automate, capteurs et actionneurs (partie 7)	43
Figure 3.13 : Liaison entre automate, capteurs et actionneurs (partie 8)	44
Figure 3.14 : Liaison entre automate, capteurs et actionneurs (partie 9)	45
Figure 3.15 : Liaison entre automate, capteurs et actionneurs (partie 10)	46
Figure 3.16 : Liaison entre automate, capteurs et actionneurs (partie 11)	47
Figure 3.17 : Schéma de programmation du four (partie 1)	48
Figure 3.18 : Schéma de programmation du four (partie 2)	49
Figure 3.19 : Schéma de programmation du four (partie 3)	50

Liste des tableaux

Tableau 1 : Description des composants du four.....	10
Tableau 2 : Les avantages et les inconvénients des régulateurs.....	13
Tableau 3 : Causes et Solution des problèmes des composants.....	14
Tableau 4 : Les caractéristiques techniques de LOGO.....	18
Tableau 5 : Entrées Numériques.....	28
Tableau 6 : Sorties Numériques	29
Tableau 7 : Comparaison technique.....	52

Introduction Générale

Introduction Générale :

L'évolution de la technologie ainsi que le développement de l'électronique et de l'informatique ont donné naissance à l'automatique. Celle-là a évolué vers l'étude et la maîtrise des systèmes de plus en plus complexe permettant l'exécution et le contrôle des tâches techniques d'une manière plus rapide et plus efficace et cela en s'appuyant sur des machines et des robots qui fonctionnent avec un degré d'autonomie élevé du système.

Avec le progrès technologique, l'automatisation des installations constitue un des facteurs essentiels contribuant à l'amélioration de la productivité, et un élément important dans l'amélioration de la sécurité du travail ainsi que la réduction des coûts de production.

L'unité de conditionnement de sucre faisant partie du groupe industriel **Cevital** est l'une de ces entreprises qui a depuis sa remise en service, investi dans toutes dernières innovations technologiques et cela pour assurer une place de choix dans le marché commercial.

Dans ce contexte, notre travail se concentre sur l'optimisation d'un processus industriel critique au sein de Cevital : **le four de fardeleuse**, utilisé pour l'emballage des produits alimentaires. Ce système joue un rôle important dans la chaîne de production, assurant la rétraction uniforme du film plastique autour des produits. Cependant, la régulation thermique actuelle, basée sur des contacteurs et des régulateurs classiques, présente des limites notables, telles que des risques de surchauffe, une usure prématurée des composants et un manque de précision dans le contrôle de température.

Face à ces défis, le thème qui a été proposé par le département de maintenance de CDS consiste à **l'automatisation du contrôle de température à l'aide d'un automate siemens LOGO !**, couplé à des capteurs PT100 pour une mesure précise et stable de la chaleur dans les différentes zones, des relais statiques (SSR) pour une commutation sans usure mécanique et une meilleure longévité. Cette solution vise à améliorer la stabilité du processus, à réduire les coûts de maintenance et à garantir une meilleure efficacité énergétique.

Pour atteindre ces objectifs, ce travail sera structuré en trois chapitres :

Présentation de l'entreprise Cevital et son contexte industriel.

1. Présentation des éléments du processus industriel actuel
 - Fonctionnement détaillé du four de fardeleuse
 - Identification des problèmes liés à la régulation thermique
2. Théories et technologies utilisées
 - Principes de la régulation PID et ses limites
 - Présentation des nouveaux composants : automate LOGO !, capteurs PT100, relais statiques (SSR)
 - Logiciel LOGO ! Soft Comfort pour la programmation et la simulation
3. Conception et mise œuvre du système automatisé
 - Cahier des charges fonctionnel
 - Modélisation du système via GRAFCET
 - Schémas électriques et programmation de l'automate

- Comparaison entre l'ancien et le nouveau système
- Résultats en termes de stabilité thermique, consommation énergétique et réduction des pannes.

Présentation de l'Entreprise
Cevital

1 Présentation de l'Entreprise Cevital

1.1 Introduction :

L'évolution de l'économie algérienne et l'ouverture de ses systèmes pour s'intégrer en économie du marché a permis naissance de nouveaux projets d'entreprises. Parmi ces dernières on trouve la société par actions **CEVITAL** qui a su faire valoir par sa taille et son volume de production sa position sur le marché algérien d'agroalimentaire.

1.2 Histoire de l'entreprise :

Qui dit CEVITAL dit grande entreprise car elle constitue une grande force industrielle et économique spécialisée dans l'agro-alimentaire. Elle est parmi les entreprises qui ont vu le jour dès l'entrée du pays en économie du marché.

CEVITAL est parmi les entreprises appelées sociétés par action (SPA) est un groupe familial de 25 sociétés, réparties dans 5 secteurs d'activité :

- L'industrie Métallurgique
- L'information et la communication
- La distribution Automobile
- Le transport Terrestre et Maritime
- L'industrie Agroalimentaire

Dont les principaux actionnaires sont M. REBRAB et FILS. Elle a été créée par des fonds privés en 1998, son complexe de production est situé au port de BEJAIA et s'étend sur une superficie de 45000 m².

Elle contribue largement au développement de l'industrie agroalimentaire nationale est parmi ses objectifs être leadeur du marché national, notamment par rapport à son concurrent et voisin L'ENCG. Pour cela elle offre une large gamme de qualité.

1.3 Présentation de l'entreprise :

1.3.1 Mission :

Lancée en mars 1998, le complexe CEVITAL a débuté son activité par le conditionnement en décembre 1998. En février 1999, les travaux de génie civil de la raffinerie ont débuté. Elle est devenue fonctionnelle en août 1999.

1.3.2 Activités :

L'activité de Cevital au niveau de la commune Béjaia :

Au niveau de la commune de Bejaia, l'entreprise Cevital entreprend une activité diversifiée, mais dans la même branche d'activité (l'industrie agro-alimentaire), cette activité comprend :

- La production de la margarinerie
- Le raffinage du sucre
- Le raffinage des huiles alimentaires

L'activité de Cevital au niveau de la commune d'EL Kseur :

Réhabilitation de l'unité de production de jus de fruits COJEK. Celle-ci a été mise en exploitation en 1978 sous l'égide de SOGEDIA puis reprise par ENAJUC en 1982 par cession d'actif au mois de novembre 2006 ; elle est régie en société par action au capital de 1007000000 DA.

Sa capacité de production est de 14400T par an. Le plan de développement de cette unité portera à 150 000T/an en 2010.

L'activité de Cevital au niveau de la wilaya de TIZI OUZOU :

Plus exactement, au niveau de la commune AGOUNI GUEGHRANE, au cœur du massif ; montagneux du Djurdjura qui culmine à plus de 2300 mètre. Cevital détient une unité de production et de conditionnement des Eaux minérales (Lala Khedidja), cette unité est inaugurée en juin 2007.

1.3.3 Productions de cevital :





Cevital Agro-industrie dispose de plusieurs unités de production ultramodernes :

- 1) Raffineries de sucre
- 2) Unité de sucre liquide
- 3) Raffineries d'huile
- 4) Margarinerie
- 5) Unité de conditionnement d'eau minérale
- 6) Unité de fabrication et de conditionnement de boissons rafraichissantes
- 7) Conserverie
- 8) Unité de fabrication de chaux calcinée

1.4 Produits de cevital :

❖ Les huiles végétales :

Les huiles de cevital sont produites dont le système qualité de fabrication est ISO22000 par le bureau Veritas certification ; Cevital produit plusieurs types d'huile de différentes qualités à savoir :

-  **Fleurial**
-  **Fleurial DOU**
-  **Elio**
-  **Fridor**

❖ Sucre :

Le sucre blanc raffiné répondre aux normes CEE N°2 et certifié ISO 22000 version 2018, ISO 9001 version 2015, ISO45001 version 2018, FSSC 22000 V5.1, et la certification halal, est

fabriqué à partir du sucre roux de canne. Le sucre est composé de saccharose.

❖ **Margarine et graisse végétales :**

L'entreprise produit une gamme variée de margarine riche en vitamine A, D, E. Certaines margarines sont destinées à la consommation directe comme Beurre Tendre Gourmand, MATINA, FELURIAL. D'autres sont spécialement produites par besoins de pâtisserie, à l'exemple MEDINA "SMEN", La Parisienne.

❖ **Boissons :**

L'eau minéral LALLA KHEDIDJA pure est directement captée à la source au du massif montagneux du DJURDJURA.

Cevital offre aux consommateurs des besoins fruitées (jus tchina).

❖ **Confiture**

❖ **Chocolat**

❖ **Miel**

❖ **Sauces**



Figure 1 : Produits de Cevital [1]

1.5 Structure hiérarchique :

Cevital est une entreprise structurée en plusieurs directions, dirigée par un directeur général ; Cette dernière veille à la sécurité de l'entreprise et à une gestion optimale de ses ressources. L'organisation de l'entreprise repose sur une hiérarchie clairement définie, qui est illustrée dans

l'organigramme ci-dessous.

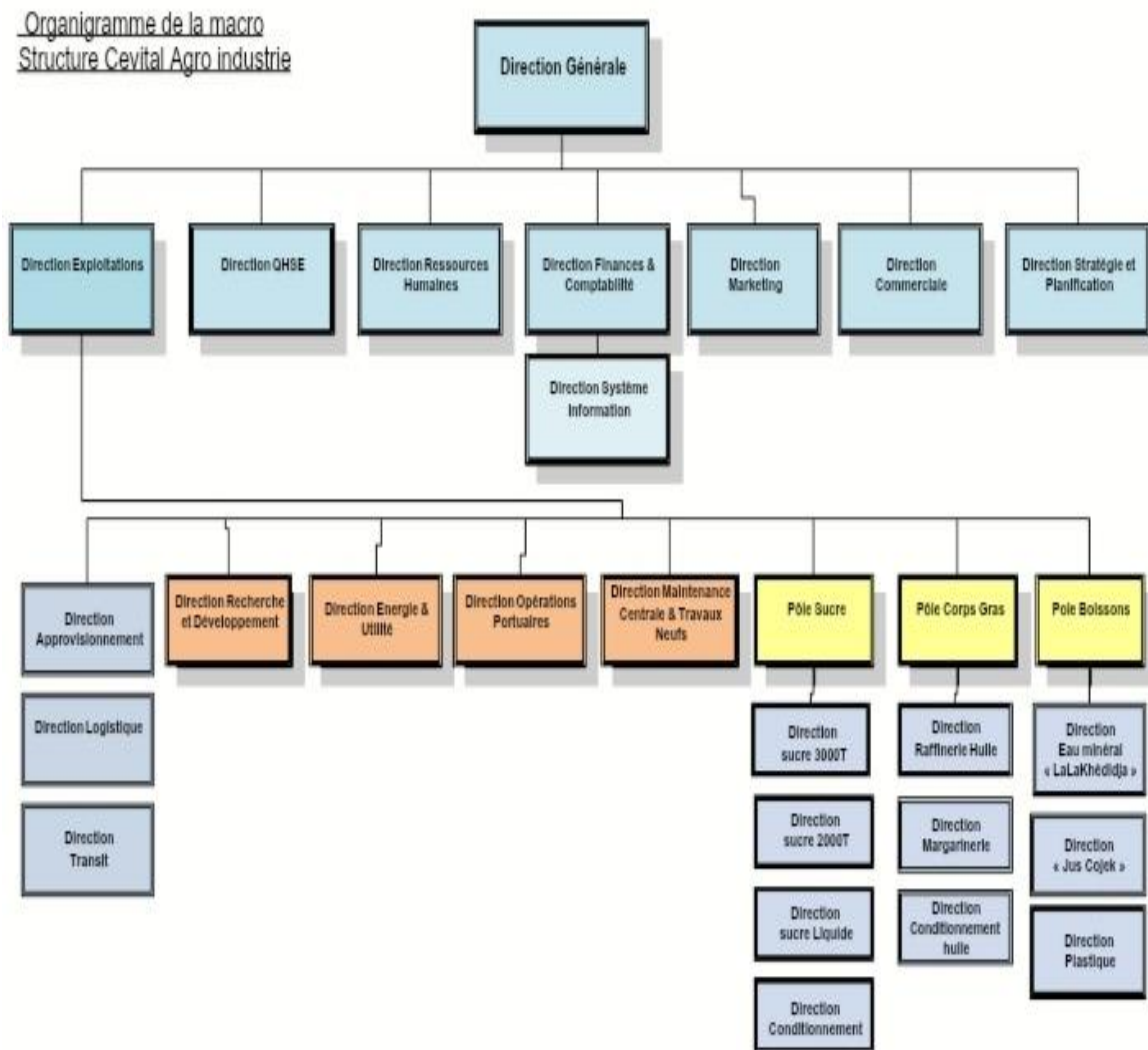


Figure 2 : Organigramme général de Cevital agro-industrie

1.6 Conclusion :

Ce chapitre a permis de présenter l'entreprise Cevital dans son contexte industriel, en mettant en lumière son historique et son évolution, sa diversification sectorielle (agroalimentaire), ses unités de production, sa gamme de produits, son positionnement stratégique sur le marché algérien.

CHAPITRE 1
***Présentation des éléments du
processus industriel***

1 Chapitre 1 : Présentation des éléments du processus industriel

1.1 Introduction :

Le four de fardeleuse occupe une place très importante dans la fardeleuse, est un four qui fait chauffer et rétracter le film afin de coller sur le produit, à l'aide de l'air chaud qui circule à l'intérieur du tunnel.

Notre travail consiste à étudier le four de fardeleuse en déterminant son fonctionnement et son rôle dans la production ; l'importance de la température dans le procédé, ainsi que les problèmes liés à la régulation actuelle.

1.2 Présentation du four de fardeleuse de sucre :

1.2.1 Tunnel de rétraction :

Le tunnel de rétraction permet d'appliquer le film enveloppant le lot de produits, en chauffant de l'air chaud (rétraction). [2]

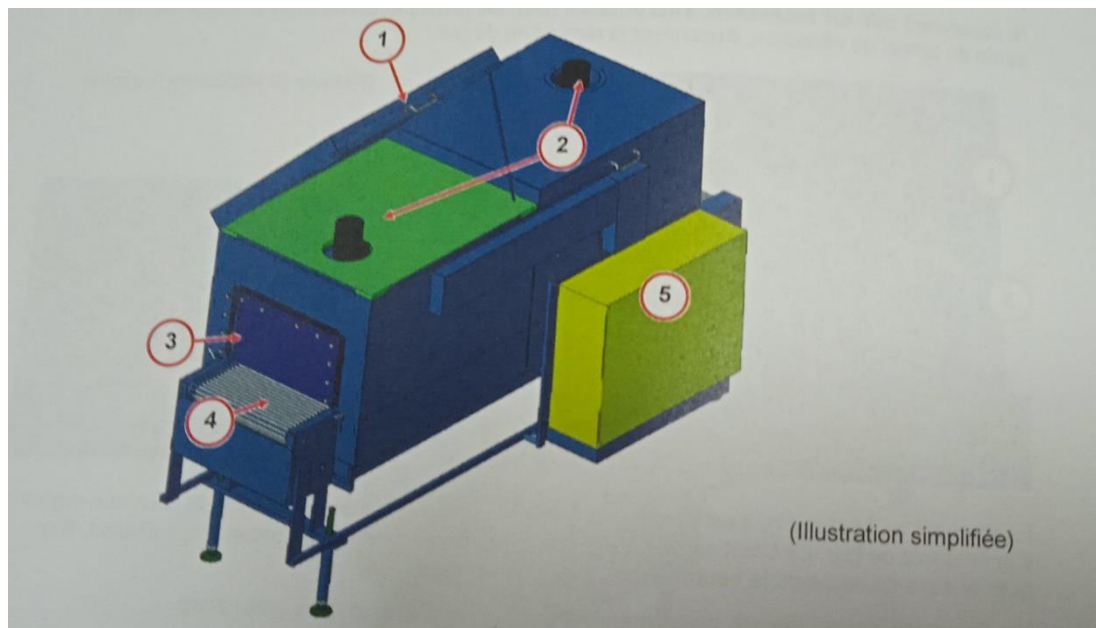


Figure 1.1 : Four de la fardeleuse [2]

Tableau 1 : Description des composants du four

Pos	Description
1	Capot du tunnel avec couvercle rabattable (fermé pendant le fonctionnement)
2	Manchon d'aspiration d'air de la soufflante
3	Ouverture de sortie avec leviers de réglage de l'air chaud
4	Le convoyeur à chaînes à palettes transporte le produit emballé à travers le tunnel de rétraction
5	Armoire de commande du tunnel de rétraction avec éléments de commande

1.2.2 Fonctionnement du four de fardeleuse :

Une soufflante aspire l'air de circulation et le fait passer à travers le caisson de chauffage, dans lequel l'air est chauffé par des résistances qui peuvent être changées individuellement.

Puis de l'air chaud pénètre par les conduits dans le tunnel de rétraction et chauffe le film de manière homogène. La chaleur permet au film de se rétracter sur le produit fardelé.

Le raccordement électrique du tunnel doit se faire séparément de la machine en amont. Cela permet d'éviter d'arrêter également le tunnel de rétraction en désactivant la machine.

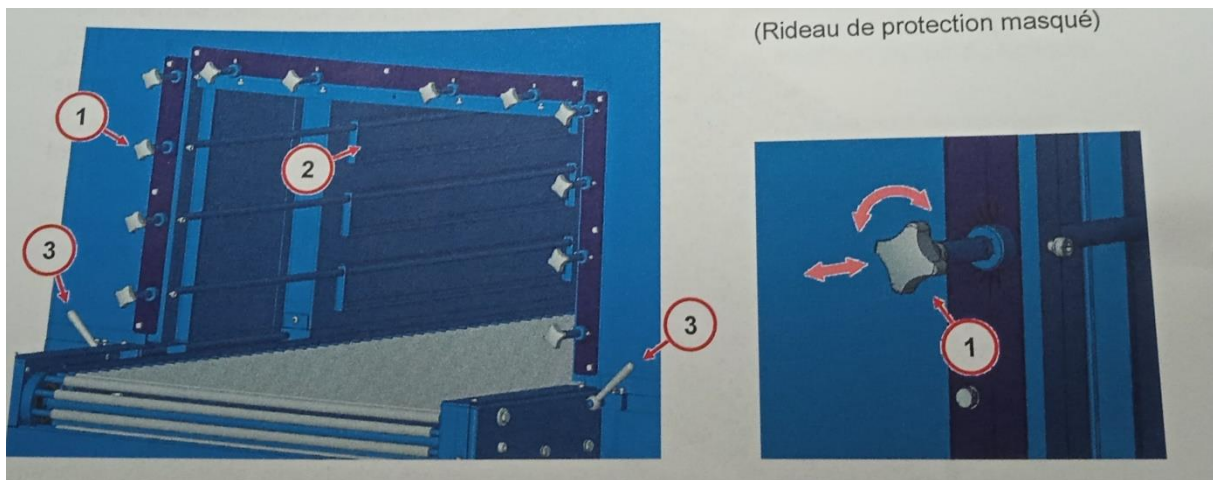
La vitesse de bonde doit être adaptée à la machine amont pour éviter un bourrage de produit dans le tunnel de rétraction.

Le temps de mise en température du tunnel de rétraction est d'environ. 10 à 15 minute. [2]

1.2.3 Optimiser la répartition de l'air chaud :

Les tôles de guidage de l'air chaud sont normalement préréglées à l'usine, et n'ont pas besoin d'être reréglées.

Si cependant cela est nécessaire, il est possible avec les leviers et les boutons à l'ouverture de sortie du tunnel de rétraction, d'optimiser la répartition de l'air.



En tournant un bouton (1), il est possible de régler le déflecteur correspondant (2) pour une répartition optimale de l'air. En tirant sur le bouton, ce canal d'air se ferme, en poussant, il s'ouvre. Bloquer ensuite de nouveau le bouton avec les vis de serrage.

- Ouvrir les clapets fermés pour amener beaucoup d'air chaud dans cette zone.
- Fermer les différents clapets ouverts, pour limiter la répartition de l'air à d'autres zones.
- Ouvrir au moins la moitié des clapets, pour éviter une chaleur trop importante. Régler éventuellement la température.

En déplaçant l'un des deux leviers (3) de 90°, il est possible d'ouvrir ou de fermer le clapet au sol correspondant. C'est uniquement lorsque le clapet au sol ouvre, que l'air chaud est amené du côté correspondant sous les produits.

- ✦ Le levier est orienté vers l'intérieur → Le clapet au sol correspondant est ouvert.
- ✦ Le levier est orienté vers l'extérieur → Le clapet au sol correspondant est fermé. [2]

1.2.4 Optimiser la rétraction :

Lorsque la température réglée est atteinte, il est possible de faire des essais de rétraction sur des échantillons.

Si le film des emballages d'essai se froisse. C'est-à-dire qu'il n'est pas rétracté, il faut augmenter la température en fonction des dimensions du produit fardelé et du film ou ralentir si possible la vitesse du convoyeur à chaînes à palettes. L'action de la chaleur sur le film est par conséquent plus élevée et plus longue (important pour le film de fardeuse PE épais).

Par contre, si la chaleur fait des trous dans le film, il faut baisser la température ou augmenter la vitesse du convoyeur.

1.3 Le rôle du four de fardeuse :

Rétracter un film plastique autour de produit pour les emballer de manière uniforme et sécurisée.

1.4 Problèmes liés à la régulation actuelle :

1.4.1 Utilisation des contacteurs et des régulateurs classique :

1.4.1.1 Les contacteurs :

Le contacteur est un appareil qui commande l'ouverture et la fermeture d'un circuit de charge. Les contacts sont fermés ou ouverts à l'aide d'une bobine appelée bobine de commande, si cette bobine est alimentée ou excitée les contacts principaux seront fermés et si la bobine est non alimentée ou désexcitée les contacts principaux seront ouverts.

- **Fonctionnement d'un contacteur :**

La bobine du contacteur (bobine A1-A2), peut-être alimentée en courant alternatif ou en courant continu (24V). Lorsque la bobine est alimentée, un champ magnétique se forme, la partie mobile de l'armature est attirée contre la partie fixe et les contacts se ferment (ou s'ouvrent suivant le modèle).

Lorsque la bobine n'est pas alimentée, le ressort de rappel sépare les deux parties de l'armature et maintient les contacts de puissance. [3].

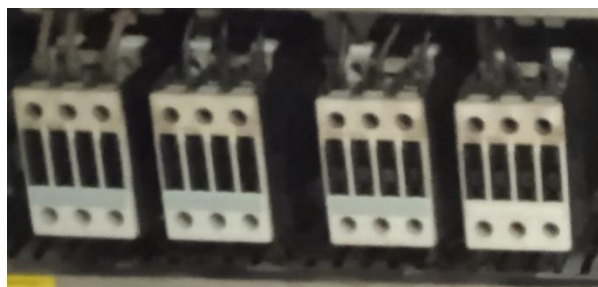


Figure 1.2 : Contacteurs

1.4.1.2 Les régulateurs classiques :

- **Régulateurs proportionnels (P) :**

Les régulateurs proportionnels ajustent la variable de contrôle proportionnellement à l'écart entre la valeur mesurée et la valeur de consigne. [4] Ils offrent une réponse rapide mais peuvent présenter un dépassement et ne peuvent pas éliminer complètement l'écart entre la valeur mesurée et la valeur cible.

- **Régulateur à action intégrale (I) :**

Ce type de régulateur permet de générer une commande à partir de l'intégrale de l'erreur.

- **Régulateur à action dérivée (D) :**

Ce type de régulateur permet de générer une commande à partir de la dérivée de l'erreur.

- **Régulateurs proportionnels intégraux (PI) :**

Les régulateurs PI combinent la fonction proportionnelle avec une fonction intégrale. Ils ajustent la variable de contrôle proportionnellement à l'écart et intègrent également cet écart au fil du temps pour éliminer les erreurs statiques. Les régulateurs PI offrent une réponse plus précise et réduisent l'écart à long terme. [4]

- **Régulateurs proportionnels dérivatifs (PD) :**

Les régulateurs PD utilisent à la fois une fonction proportionnelle et une fonction dérivée prédit la tendance u système en analysant la vitesse à laquelle l'erreur change. Cela permet de réduire la réaction aux changements brusques et d'améliorer la stabilité du système.

- **Régulateurs proportionnels intégraux dérivatifs (PID) :**

Les régulateurs PID combinent les trois fonctions proportionnelles, intégrale et dérivée. Ils offrent une réponse précise, rapide et stable. Les régulateurs PID sont largement utilisés dans de nombreuses applications, car ils peuvent être ajustés pour répondre à des exigences spécifiques en termes de stabilité, de temps de réponse et de précision.

Résumé :

Tableau 2 : Les avantages et les inconvénients des régulateurs

Régulateurs	Avantages	Inconvénients
P	Simplicité meilleure précision	Risque d'instabilité si $K_c \gg 1$
PI	Simplicité erreur statique nulle	Système parfois lent en BF
PD	Améliore stabilité et rapidité	Sensibilité du système aux bruits
PID	Très utilisé en industrie Action PI+PD	Réglage des paramètres plus difficile

A. Surchauffe, usure prématurée des composants, risque d'incendie :

Tableau 3 : Causes et Solution des problèmes des composants

Problèmes	Causes	Solutions
Surchauffe	Défaut de ventilation, dérèglement des capteurs de température, défaillance des résistances chauffantes	Vérification et nettoyage des ventilateurs, test et étalonnage régulier des capteur (PT100), nettoyage et remplacement des résistances endommagées
Usure prématurée des composants	Mauvaise entretien, matériaux inadaptés, températures élevées, Mauvaise lubrification des pièces mécaniques	Mise en place d'un programme d'entretien régulier, utilisation de pièces résistances à la chaleur, réduction des cycles thermiques
Risque d'incendie	Accumulation de poussière, fondue plastique ou huile inflammable, absence de détecteur, câblage électrique défectueux	Nettoyage approfondi et fréquent des zones critiques, vérification et remplacement des câbles endommagés, installation de détecteurs thermiques et de fumé

1.4.2 Manque de précision dans la régulation thermique :

Le manque de précision dans la régulation thermique peut provoquer des défauts de thermorégulateurs, une surconsommation d'énergie. Les principales causes incluent des capteurs de températures défectueuses, un mauvais réglage du régulateur PID, une ventilation inadaptée.

Pour améliorer la précision, il est recommandé de calibrer régulièrement les capteurs, d'ajuster les paramètres PID, contrôler progressivement la puissance des résistances via des relais statiques (SSR). Avec ces ajustements, nous obtiendrons une température stable, un meilleur rendement énergétique, et une durée de vie prolongée.

1.5 Conclusion :

Ce chapitre a permis de dresser un état des lieux du processus industriel lié au four de fardeleuse, met en évidence l'importance de régulation thermique précise pour garantir la qualité du produit fini et la sécurité du système.

Ce système repose sur les contacteurs et régulateurs classiques, entraînant plusieurs problèmes, notamment une surchauffe fréquente, une usure prématurée des composants, impactant la maintenance et manque de précision dans le contrôle thermique. Ces contraintes compromettent non seulement l'efficacité énergétique du processus, mais aussi sa fiabilité.

Face à ces problématiques, l'automatisation du contrôle de température avec un automate LOGO! apparaît comme une solution plus fiable et efficace, permettant d'optimiser la régulation thermique, d'améliorer la stabilité du processus et de réduire les risques d'incident.

CHAPITRE 2

Théories et technologies utilisées

2 Chapitre 2 : Théories et technologies utilisées

2.1 Introduction :

La régulation est une technique de commande classique mais largement utilisée en industrie ; elle permet de régler un grand nombre de grandeurs physique.

Vue sa simplicité de l'implémentation dans des calculateurs de plus en plus performants.

Dans ce chapitre, nous aborderons les fondements théoriques et techniques, les technologies qui sous-tendent la régulation de température.

Ensuite, nous présenterons les composants matériels essentiels utilisées, notamment les capteurs de température, l'automate Siemens LOGO, ainsi que les relais statiques.

En fin, nous détaillerons le logiciel LOGO! Soft Comfort, qui permet la programmation et le paramétrage de l'automate LOGO.

2.2 Régulation de température :

La régulation de température est un processus automatique qui permet de maintenir une température précise dans un système, en ajustant en permanence l'apport de chaleur pour compenser les variations. Dans l'objectif de maintenir une température stable(consigne) malgré les perturbation, comparaison entre la température mesurée et température souhaité, avec la correction automatique via un système de chauffage/refroidissement.

2.3 Présentation du matériel utilisé :

2.3.1 Capteur de température PT100 :

Une sonde de température PT100 [5] est un ensemble mécanique comprenant un élément sensible, un fil conducteur et une terminaison fil sur bornier ou connecteur.

Les différentes options déterminent de nombreuses variétés selon les besoins et application : support, inox, plastique.

Les raccordements pourront être sur : têtes normalisées, connecteurs Din, miniatures...

Le principe de mesure des capteurs à résistance repose sur la variation de résistance de fils métalliques en fonction de température [6]. Le platine présente une bonne linéarité, précision, stabilité et fiabilité avec l'avantage de pouvoir être tréfilé en fils très fins. C'est pourquoi, le capteur à résistance de platine, désignée par PT, est généralement utilisé en milieu industriel.



Figure 2.1 : Capteur de température PT100

2.3.2 Automate siemens LOGO! et son module analogique :

LOGO est un automate compact de siemens à logique positive, intégrant une unité de commande et d'affichage. Cette unité de commande d'affichage de LOGO permet de créer, de modifier des programmes et de commander des fonctions systèmes.

Le logiciel LOGO Soft Comfort permet de lire, via une interface Ethernet ou un câble, des programmes externes issus d'un module de programmes. Aussi effectuer une simulation de circuits sur ordinateur ou imprimer des plans d'ensemble.

2.3.2.1 Caractéristiques techniques de LOGO [7] :

Tableau 4 : Les caractéristiques techniques de LOGO

Produit	Automate LOGO!
Numéro du produit	LOGO!, 24CE, module logique, affichage PS /I/O :24V/24V/24V trans,8DI (4AI/4DO, mémoire 400 blocs, extensible de manière modulaire, serveur Web intégré Ethernet, journal de données, carte micro-SD standard pour LOGO! SOFT comfort V8 ou version supérieure, projets plus anciens exécutables.
Cycle de vie du produit (PLM)	PM500 : Produit abandonné ou fin du PLM et du support.
Date d'entrée en vigueur du PLM	Fin de vie du produit depuis :01/10/2019
Informations sur le successeur	
Successeur	6ED1052-1CC08-0BA2
Description du successeur	LOGO!, 24CE, module logique, alimentation d'affichage/E/S : trans.24V/24V/24V,8DI(4AI/4DO), mémoire 400 blocs, extensible de manière modulaire, serveur Web intégré Ethernet, journal de données, page Web définies par l'utilisateur, carte micro-SD standard pour LOGO! Soft. Comfort V8.4 ou supérieur,

	projets plus anciens exécutables, connexion au cloud, MQTT dans toutes les unités de base LOGO!8.4
Information complémentaires sur le produit	
EAN	4034106029418
Code UPC	887621847227
Code de marchandise	85371091
LKZ-FDB/ID catalogue	ST9.LOGO!
Groupe de produits	4254
Code de groupe	R111
Pays d'origine	Chine
Conformité aux restrictions de substances selon la directive RoHS.	Depuis : 04/08/2014
Classe de produit	R : un produit standard qui est un article en stock peut être retourné dans le cadre des directives/périodes de retour.
DEEE (2012/19/UE) Obligation de reprise	Non
REACH Art. 33 obligation d'information selon la liste actuelle des candidats	Plomb N° CAS 7439-92-1>0.1%(p/p)



Figure 2.2 : Automate LOGO! Siemens [8]

2.3.3 Relais statique (SSR) :

Un relais statique (SSR) ou contacteur statique est un dispositif de commutation électronique [9] qui utilise un élément de commutation à composants électroniques au lieu d'un contact électromécanique pour établir ou rompre la connexion dans le circuit de charge.

Les SSR (solide state relay) sont conçus pour contrôler des charges électriques CA de grande puissance avec un signal d'entrée de faible tension. Ces composants électroniques permettent de commuter un courant AC ou DC sans mouvements mécaniques.

Ils sont généralement utilisés dans des systèmes dans lesquels les automates ou les microcontrôleurs ne peuvent pas fournir la capacité de gestion de la puissance requise.



Figure 2.3 : Relais statique (SSR) [10]

✦ **Fonctionnement de relais statique :**

Le fonctionnement d'un relais statique utilise des dispositifs à semi-conducteurs tels que des transistors, des thyristors ou des MOSFET au lieu de dispositifs électromécanique comme les relais pour commuter des charges résistives ou des charges inductives de fortes puissances.

✦ **Le pilotage d'un relais statique :**

Les relais SSR sont commandés par une petite tension externe appliquée à leurs bornes de commande. Ce signal peut être une tension alternative ou continue. Un circuit de faible puissance peut être utilisé pour commuter les commandes des alimentations AC ou DC d'une charge de forte puissance.

✦ **Les avantages et les inconvénients d'un relais statique :**

✧ **Les avantages :**

- ✧ Isolation entrée / sortie plus élevée que les relais électromécaniques.
- ✧ Commutation à haute fréquence.
- ✧ Faible consommation d'énergie.
- ✧ Longue durée de vie.
- ✧ Résistance élevée aux chocs, aux vibrations et bruit.
- ✧ Temps d'activation/désactivation rapide.
- ✧ Immunité au bruit élevée en raison de l'absence de contacts.
- ✧ Contrôle de charge résistive et inductive.

✱ **Les inconvénients :**

- ✧ Prix plus élevé.
- ✧ Dissipation thermique élevée.
- ✧ Courant de fuite
- ✧ Moins de rétroaction mécanique.

2.4 Présentation du logiciel LOGO! Soft Comfort :

2.4.1 Fonctionnalités :

LOGO est un automate compact de Siemens à logique positive, intégrant une unité de commande et d'affichage [7]. Cette unité permet de créer et de modifier des programmes et de commandes des fonctions système.

Le logiciel de programmation LOGO soft Comfort permet de lire, via une interface Ethernet ou un câble PC, des programmes externes issus d'un module de programmes. LOGO Soft Comfort nous permet, autre l'élaboration de programmes, d'effectuer une simulation de circuits sur ordinateur ou d'imprimer des plans d'ensemble.

2.4.2 Caractéristiques techniques de LOGO :

Les modules de base existent avec ou sans écran pour 8 entrées TOR dont 4 entrées peuvent être utilisées comme étant analogiques, et 4 sorties TOR.

Les modules d'extension permettent des configurations jusqu'à 24 entrées TOR, 16 sorties TOR, 8 entrées analogiques et 2 sorties analogiques. Le logiciel permet l'utilisation de 8 fonctions de base et 26 fonctions spéciales. La cartouche mémoire permet de sauvegarder les programmes.

2.4.3 Avantage de LOGO :

LOGO permet d'économiser 50% des couts de réalisation en remplaçant les appareils traditionnels, en utilisant des coffrets plus petits et en diminuant les frais de maintenance.

Aussi il nous fait économiser 70% de temps en réduisant le câblage, en proposant des programmes type gratuits, en évitant les interventions avec le passage automatique des heures

2.5 Paramétrage de programmation :

Le mode de programmation de LOGO Soft Comfort démarre avec un schéma de connexions vide.

L'interface pour la création d'un programme de commande occupe la partie majeure de l'écran –encore appelée l'interface de programmation. Les icones et les liens du programme de commande sont disposés sur cette interface de programmation.

Afin de conserver une bonne vue d'ensemble dans les programmes de commande plus conséquents, des barres de défilement sont situées en bas à droite de l'interface de

programmation pour vous permettre de déplacer le programme de commande de manière horizontale et verticale.

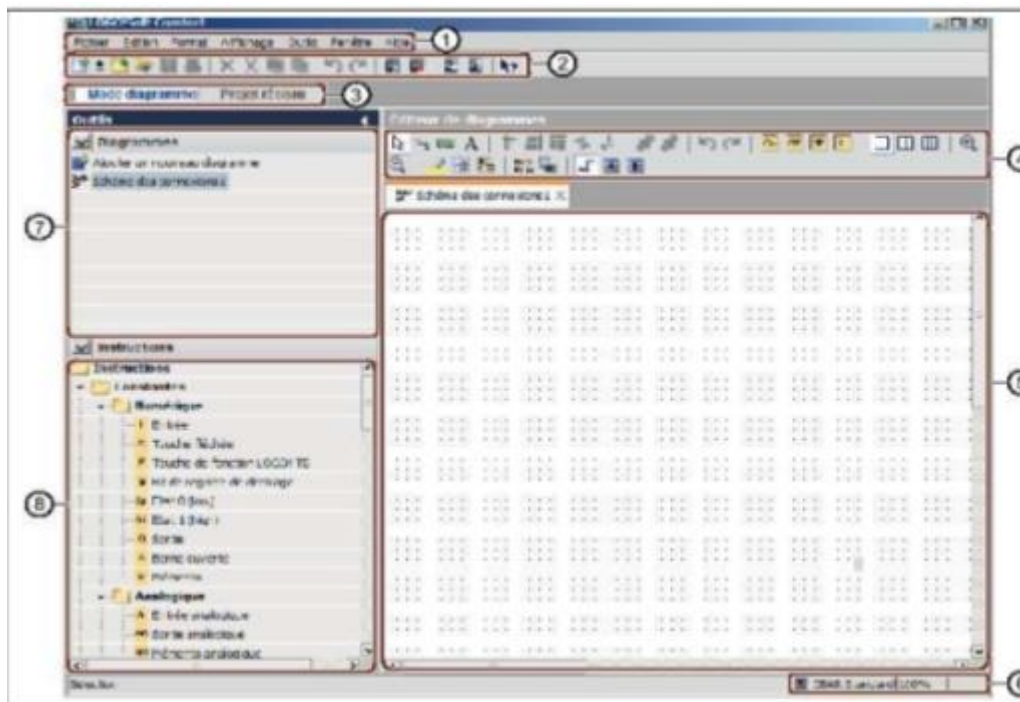


Figure 2.4 : Interface de logiciel LOGO

1-Barre des menus

2-Barre d'outils Standard

3-Barre du mode

4-Barre d'outils Outil

5-Interface de programmation

6-Barre d'état

7-Arborescence des diagrammes

8-Arborescence d'instructions

Interface du projet :

Lorsqu'on démarre le mode projet de LOGO Soft Comfort, l'interface utilisateur vide de LOGO Soft Comfort s'affiche. Après la sélection et l'ajout d'un nouvel appareil dans le projet, LOGO Soft Comfort active le cadre de l'éditeur LOG.

LOGO Soft Comfort affiche une vue de réseau dans l'interface du projet qui montre les appareils et les connexions réseau. L'éditeur LOG affiche les blocs de programme et les opérations logiques du programme de commande. Au départ, le programme de commande est vide.

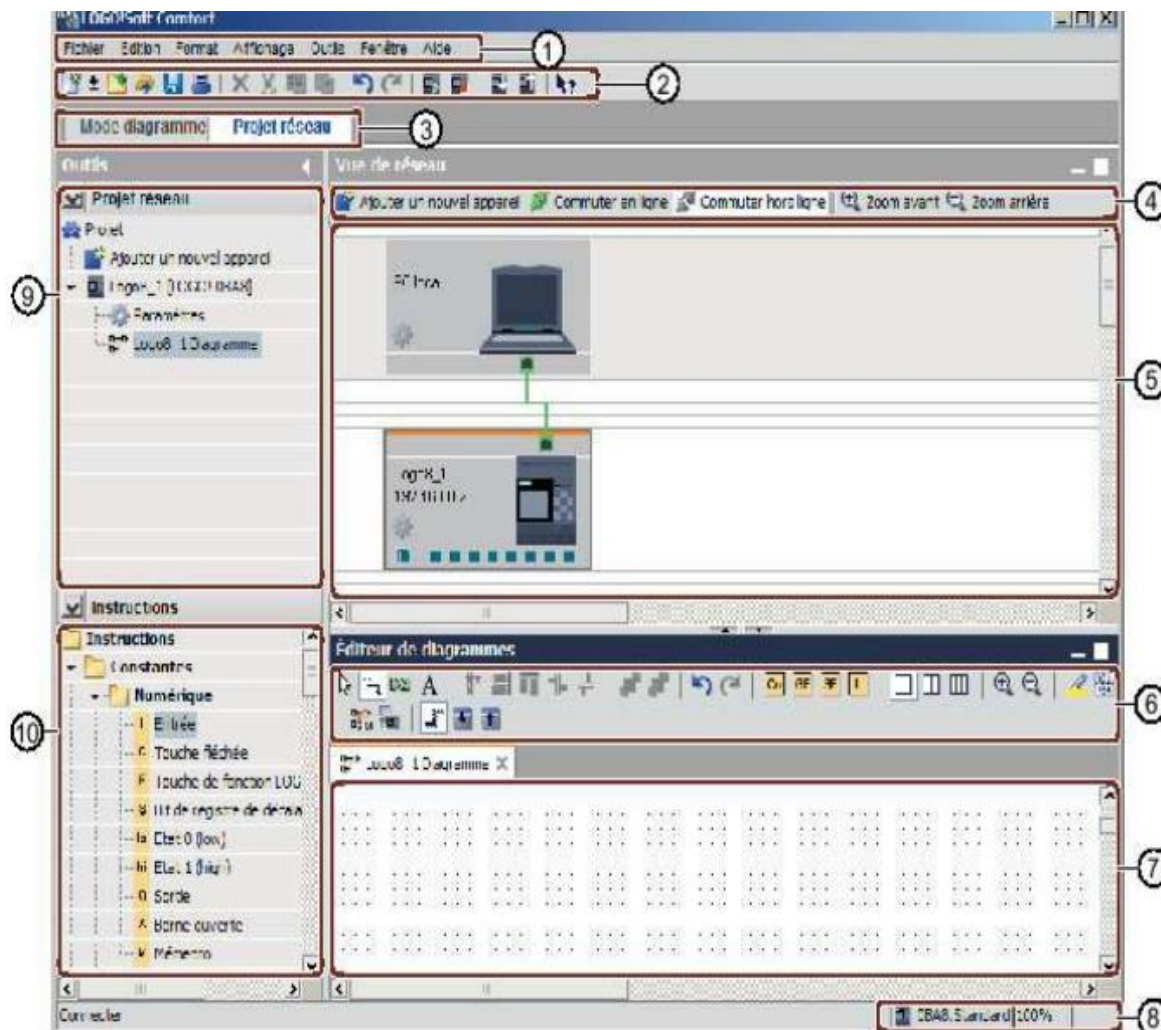


Figure 2.5 : Interface du projet

1-Barre des menus

2-Barre d'outils standard

3-Barre du mode

4-Barre d'outils réseau

5-Vue de réseau

6-Barre d'outils Outil

7-Interface de programmation

8-Barre d'état

9-Arborescence des appareils

10-Arborescence d'instruction

Barre de menus :

La barre de menus se situe tout en haut de la fenêtre de LOGO Soft Comfort. Cette fenêtre de menus nous propose différentes instructions de commande pour étudier et gérer vos

programmes de commande. Cela inclut les paramétrages par défaut et les fonctions de transfert du programme de commande vers LOGO



Figure 2.6 : Icones de la barre des menus

Barre d'outils standard :

La barre d'outils standard apparaît au-dessus de l'interface de programmation. Au départ LOGO Soft Comfort affiche une barre d'outils standard réduite aux fonctions essentielles.

Cette barre, nous permet d'accéder directement aux principales fonctions de LOGO.

Des icônes nous permettent, de créer un nouveau programme de commande ou de charger, enregistrer un programme ou un projet existant alors que d'autres icônes servent à couper, copier et coller des objets, annuler/rétablir la dernière action ou bien encore à lancer le transfert de données depuis ou vers des appareils LOGO.



Figure 2.7 : Barre d'outils standard

Barre d'outils :

La partie supérieure de l'interface de programmation contient la barre d'outils "Outil". L'utilisation des icônes de cette barre d'outils permet de passer entre les différents modes d'édition afin de créer ou d'éditer facilement et rapidement un programme de commande.

Nous pouvons utiliser les icônes pour connecter/commenter/aligner les blocs, annuler/rétablir la dernière action, ajouter des blocs fonctionnels, fractionner des fenêtres, simuler/tester le diagramme en ligne et agrandir/réduire la boîte de paramètres.



Figure 2.8 : Barre d'outils

Barre de simulation :

Cette barre sert uniquement à la simulation de programme de commande.



Figure 2.9 : Barre de simulation

Barre d'état :

La barre d'état se trouve au bord inférieur de la fenêtre du programme. Elle fournit des indications sur l'outil actif, l'état de programme, le facteur d'agrandissement, le numéro de page du programme de commande et l'appareil LOGO sélectionné.



Figure 2.10 : Barre d'état

- 1- Zone d'informations" affiche l'outil actuellement utilisé.
- 2- Avec une info-bulle, LOGO indique quel module LOGO sélectionné.
- 3-Indique le facteur d'agrandissement actuellement paramétré.
- 4-Affiche la page actuelle du programme de commande.

2.6 Conclusion :

L'importance de ce chapitre réside dans la mise en évidence du rôle des différents matériels utilisés, différents outils pour implanter et simuler le programme de l'automate.

En effet, ces outils nous a permis de simplifier le travail demandé à faire, ainsi à amener à automatiser l'application et faciliter son utilisation.

Ce chapitre a permis de comprendre les fondements théoriques et les technologies clés qui seront utilisées pour automatiser le contrôle de température.

CHAPITRE 3

Conception et mise en œuvre du système automatisé

3 Chapitre 3 : Conception et mise en œuvre du système automatisé

3.1 Introduction :

Avant chaque phase d'automatisation d'un système industriel complexe, son étude est primordiale pour obtenir le modèle d'automatisation.

Dans ce chapitre nous sommes intéressés à la programmation de l'installation de tunnel de rétraction. Le travail consiste à réaliser un système de régulation de la température de tunnel de rétraction.

3.2 Cahier des Charges Fonctionnel du Four de la Fardeleuse de Sucre :

3.2.1 Objet du Document :

Ce cahier des charges définit les exigences fonctionnelles et techniques du four utilisé dans la fardeleuse de sucre. Il précise le fonctionnement du système, l'automatisation, la sécurité et la communication des différentes unités constituant l'équipement.

3.2.2 Principales Fonctions :

- **Transport des produits** : via un convoyeur à courroie avec variateur de vitesse.
- **Chauffage** : assuré par quatre zones de chauffage, chacune contrôlée indépendamment.
- **Ventilation** : des soufflantes assurent la distribution uniforme de la chaleur et le refroidissement.
- **Automatisation et contrôle** : un automate LOGO! 24CE gère le fonctionnement du système.
- **Sécurité** : protection contre les surcharges, défauts de température et arrêts d'urgence.

Spécifications Techniques

Alimentation et Protection

- Tension de service : 400V
- Tension de commande : 24V DC
- Fréquence : 50 Hz
- Classe de protection : IP54 (protection contre la poussière et projections d'eau)

Convoyeur à Courroie

- Moteur contrôlé par un convertisseur de fréquence (Sinamics G120C - 0,55 kW)

- Réglage de la vitesse en fonction des besoins du processus
- Surveillance de rotation par un encodeur (capteur de contrôle de rotation sur I7)

Zones de Chauffage

- Quatre zones de chauffage indépendantes
- Régulation de température et contrôle par API, et sondes température PT100
- Activation via contacteurs pour chaque zone
- Surveillance des températures minimales pour éviter les défauts d’emballage

Soufflantes

- Assurent une distribution homogène de la chaleur et le refroidissement des produits
- Protection contre les surchauffes et surcharges (protection moteur sur I1)

Automatisation et Contrôle

- Automate LOGO! 24CE pour la gestion des entrées/sorties
- Supervision via Ethernet
- Arrêt d’urgence et signalisation des défauts

Détail des Entrées/Sorties de l’Automate LOGO! 24CE

Tableau 5 : Entrées Numériques

Entrée (I)	Description
I1	Protection moteur soufflante de chauffage et refroidissement
I2	Surveillance du convertisseur de fréquence
I3	Démarrage convoyeur a courroie
I4	Arrêt convoyeur a courroie
I5	Démarrage chauffage
I6	Arrêt chauffage
I7	Surveillance vitesse convoyeur (encodeur)
I10	Surveillance du convertisseur de fréquence (vitesse > 0)
I12	Fusible chauffage

Tableau 6 : Sorties Numériques

Sorties (Q)	Description
Q1	Commande moteur convoyeur (référence de fréquence)
Q2	Indicateur chauffage en marche
Q3	Signalisation de défaut
Q4	Commande soufflantes
Q5	Chauffage zone 1
Q6	Chauffage zone 2
Q7	Chauffage zone 3
Q8	Chauffage zone 4

3.2.3 Fonctionnement Général :

Gestion du Convoyeur à Courroie

- Le convoyeur transporte les produits dans le four à la vitesse réglée par le variateur Sinamics G120C.
- Capteur de rotation (I7) surveille la vitesse et détecte les anomalies (blocage, glissement).
- Les commandes I3 et I4 permettent un contrôle manuel du convoyeur.

Gestion du Chauffage

- Chaque zone de chauffage est indépendante et activée par A11, A12.
- Les capteurs PT100 surveillent la température des zones pour garantir un chauffage optimal.
- Si la température descend sous une consigne ($A11 < 70^\circ$ ou $A12 < 70^\circ$), une alarme est déclenchée.
- Le chauffage peut être stoppé via I6 en cas de besoin ; Si $A11 \geq 165^\circ$ ou $A12 \geq 165^\circ$.

Gestion des Soufflantes

- Les soufflantes sont activées par la sortie Q4.
- La protection moteur des soufflantes (I1) assure la sécurité du système.
- Elles participent aussi au refroidissement des produits après rétraction du film.

Sécurité et Signalisation

- Un arrêt d'urgence (I5) permet de stopper immédiatement le chauffage en cas de problème.
- Les défauts sont signalés via la sortie Q3 (alarme sonore ou lumineuse).
- Surveillance des fusibles de chauffage (I12) pour éviter les risques électriques.

Exigences en Communication

- Connexion Ethernet pour supervision et intégration avec d'autres systèmes.
- Indicateurs lumineux pour informer l'opérateur de l'état du système.

Sécurité et Conformité

- Classe de protection IP54 (contre poussières et projections d'eau).
- Protection contre surcharges via disjoncteurs et relais thermiques.
- Conformité aux normes électriques industrielles en vigueur.

3.2.4 Fonctionnement détaillé :

Mise en marche du système

Étape 1.1 : Alimentation électrique

Le système est alimenté par une tension de service de 400V et une tension de commande de 24V.

Les disjoncteurs et les relais thermiques sont activés pour protéger le système contre les surcharges.

Étape 1.2 : Initialisation de l'automate LOGO! 24CE

L'automate LOGO! 24CE est mis sous tension et initialise les entrées/ sorties.

La supervision via Ethernet est activée pour permettre le contrôle et la surveillance à distance.

Activation des soufflantes

Étape 2.1 : Activation des soufflantes

Les soufflantes sont activées par la sorties Q4 de l'automate LOGO! 24CE.

Les soufflantes assurent une distribution uniforme de la chaleur dans les zones de chauffages et participent au refroidissement des produits après la rétraction du film ; cette étape est cruciale pour préparer les zones de chauffage avant que les produits ne soient introduits dans le tunnel.

Étape 2.2 : Protection des soufflantes

La protection moteur des soufflantes est surveillée via l'entrée I1.

En cas de surchauffe ou de surcharge, la protection moteur déclenche une alarme via la sortie Q3 (signalisation de défaut).

Démarrage du convoyeur et surveillance du convertisseur de fréquence

Étape 3.1 : Démarrage du convoyeur à courroie

Une fois que les soufflantes sont activées et que les zones de chauffage sont prêtes, le convoyeur à courroie est démarré via la commande I3 (Démarrage convoyeur).

Le moteur du convoyeur est contrôlé par un convertisseur de fréquence I10 (Sinamics G120C-0.55KW), permettant de régler la vitesse en fonction des besoins du processus.

Un encodeur (capteur de contrôle de rotation sur I7) surveille la vitesse du convoyeur et détecte les anomalies (blocage, glissement).

Étape 3.2 : Surveillance du convertisseur de fréquence

Le convertisseur de fréquence est surveillé en permanence via l'entrée I2; Si le convertisseur de fréquence détecte une anomalie (surcharge, défaut de vitesse ...), une alarme est déclenchée via la sortie Q3 (signalisation de défaut).

Démarrage du chauffage

Étape 4.1 : Activation des zones de chauffage

Une fois que le convoyeur est en marche et que les produits sont en mouvement, le chauffage est activé via la commande I5 (démarrage chauffage).

Les quatre zones de chauffage sont activées indépendamment via A11(zones 1-2) ou A12(zones 3-4); chaque zone est équipée d'un thermorégulateur et d'une sonde PT100 pour réguler la température.

Étape 4.2 : Régulation de la température

Les sondes PT100 surveillent en temps réel la température dans chaque zone; Si la température descend sous une consigne minimal ($A11 < 70^{\circ}$ pour les zones 1-2, $A12 < 70^{\circ}$ pour les zones 3-4), une alarme est déclenchée via la sortie Q3(signalisation de défaut)

Le chauffage peut être arrêté manuellement via la commande I6(arrêt chauffage); Si $A11 \geq 165^{\circ}$, $A12 \geq 165^{\circ}$.

Refroidissement des produits

Après avoir traversé les zones de chauffage, les produits passent dans une zone de refroidissement.

Les soufflantes continuent de fonctionner pour refroidir les produits et solidifier le film plastique rétracté.

Les produits refroidis sont transportés vers la sortie du tunnel par le convoyeur à courroie.

Le convoyeur continue de fonctionner jusqu'à ce que tous les produits quittent le tunnel.

Surveillance et sécurité

Étape 6.1 : Surveillance en temps réel

L'automate LOGO! 24CE surveille en permanence l'état du système via les entrées numériques (I1 à I12) et les entrées analogiques (AI1 et AI2).

La supervision via Ethernet permet de visualiser l'état du système et de détecter les anomalies.

Étape 6.2 : Gestion des alarmes et arrêts d'urgence

Les arrêts d'urgence sont gérés par les entrées I1, I7 et I10

I1 : Protection moteur des soufflantes (surchauffe ou surcharge).

I7 : Surveillance de la vitesse du convoyeur et détection anomalies (blocage, glissement).

I10 : Surveillance du convertisseur de fréquence (vitesse < 0).

Les fusibles de chauffage sont surveillés via l'entrée I12 pour éviter les risques électriques.

En cas de défaut (surchauffe, blocage de convoyeur) une alarme est déclenchée via la sortie Q3 (signalisation de défaut)

Un arrêt d'urgence peut être déclenché manuellement via un bouton d'arrêt, pour stopper immédiatement le chauffage et le convoyeur.

Arrêt du système

Arrêt du convoyeur

Le convoyeur est arrêté via la commande I4.

Le convertisseur de fréquence est désactivé, et le moteur du convoyeur s'est arrêté.

Arrêt des zones de chauffage

Les zones de chauffage sont désactivées via la commande I6.

Les thermorégulateurs et les sondes PT100 sont mis hors tension.

Arrêt des soufflantes

Les soufflantes sont désactivées via la sortie Q4.

La protection moteur est vérifiée pour s'assurer qu'il n'y a pas de surchauffe ou de surcharge.

L'automate LOGO! 24CE est mis hors tension après l'arrêt complet du système, et la supervision via Ethernet est désactivée.

- Ce cahier des charges définit toutes les exigences nécessaires pour assurer le bon fonctionnement, la fiabilité et la sécurité du four de la fardeleuse de sucre. Il garantit une gestion optimisée des zones de chauffage, du convoyeur et des soufflantes, avec un contrôle précis grâce à l'automate LOGO! 24CE et une communication Ethernet pour la supervision.

3.3 Le GRAFCET :

3.3.1 Définition :

Le GRAFCET (Graphe Fonctionnel de Commande par Etapes et transition), est un diagramme fonctionnel dont le but, est décrire graphiquement, suivant un cahier des charges, les différents comportements de l'évolution d'un automatisme séquentiel. [11]

Il est parfois simple à utiliser et rigoureux sur le plan formel et constitue un outil unique de dialogue entre toutes les personnes collaborant à la conception, à l'utilisation ou à la maintenance de la machine à automatiser

3.3.2 Les concepts de base d'un GRAFCET :

Le GRAFCET se compose d'un ensemble

- D'étapes auxquelles sont associées des actions (activités).
- De transitions auxquelles sont associées des réceptivités.
- Des liaisons orientées reliant les étapes aux transitions et les transitions aux étapes.

* Etape

Une étape est une situation dans laquelle les variables d'entrée et de sortie de la partie commande restent inchangées. Autrement dit, l'étape représente un état du système dans lequel les informations d'entrée (consignes et comptes rendus) et les informations de sortie (ordres et visualisations) de la partie commande restent identiques à elles-mêmes.

L'étape est représentée par un carré repéré numériquement. Les actions associées sont marquées en clair dans un rectangle à droit du carrée représentant l'étape.

La situation initiale d'un système automatisé est indiquée par une étape dite étape initiale et représentée par un double carré.

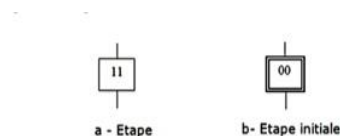


Figure 3.1 : Représentation d'une étape de grafcet

* Actions associées aux étapes

D'une façon générale dans un GRAFCET une action est associée à chaque étape, mais on peut rencontrer aussi une même action associée à plusieurs étapes, ou plusieurs actions associées à la même étape.

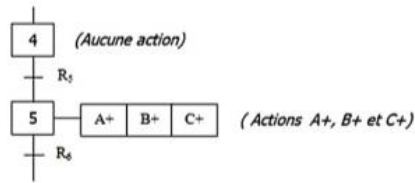


Figure 3.2 : Représentation normalisée des actions de grafcet [12]

* Transition

Elle est située entre deux étapes consécutives ; elle indique l'évolution d'une étape vers l'étape suivante.



Figure 3.3 : Transition de grafcet [12]

A chaque transition est associée une condition logique appelée réceptivité.

La réceptivité qui est une information d'entrée (expression logique) est fournie par :

- L'opérateur : pupitre de commande.
- La partie opérative : états des capteurs.
- D'autres systèmes : dialoguent entre systèmes.
-

* Liaisons orientées

Elles relient les étapes aux transitions et les transitions aux étapes. Elles sont normalement orientées de haut vers le bas.

Une flèche est nécessaire dans le cas contraire ou pour une meilleure compréhension.

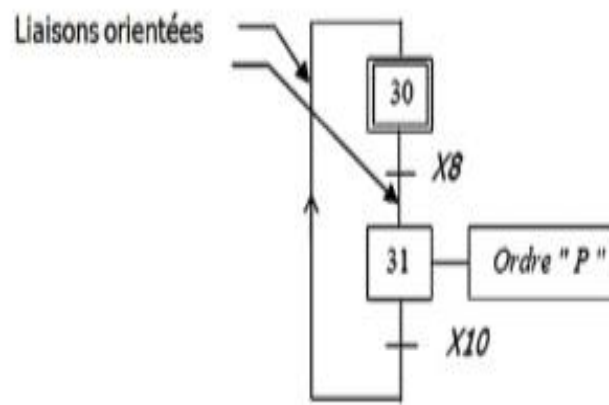


Figure 3.4 : Liaisons orientées de grafcet [12]

Différents points de vue d'un GRAFCET

La représentation d'un système automatisé par un grafcet prend en compte le "point de vue" selon lequel l'observateur s'implique au fonctionnement de ce système.

On distingue trois "point de vue" :

✦ . GRAFCET du point de vue système

C'est un graphe qui décrit le fonctionnement global du système. Il traduit le cahier des charges sans préjuger de la technologie adoptée. Il permet de dialoguer avec des personnes non spécialistes (fournisseurs, décideurs ...) son écriture, en langage clair, permet donc sa compréhension par tout le monde. [13]

✦ GRAFCET du point de vue partie opérative

Dans ce type de grafcet on spécifie la technologie de la partie opérative ainsi que le type de ses informations reçues (ordres) et envoyées (comptes rendus) [13]. L'observateur de ce point de vue étant un spécialiste de la partie opérative, la partie commande ne l'intéresse que par ses effets.

✦ GRAFCET du point de vue partie commande

Ce grafcet est établi en spécifiant la technologie des éléments de dialogue :

- Entre le PC et PO.
- Entre PC et opérateur.
- Entre PC et autre système.

C'est un grafcet établi par un spécialiste, c'est la version qui lui permet d'établir les équations et éventuellement les schémas de réalisation (électrique, pneumatique ...).

3.4 GRAFCET du four :

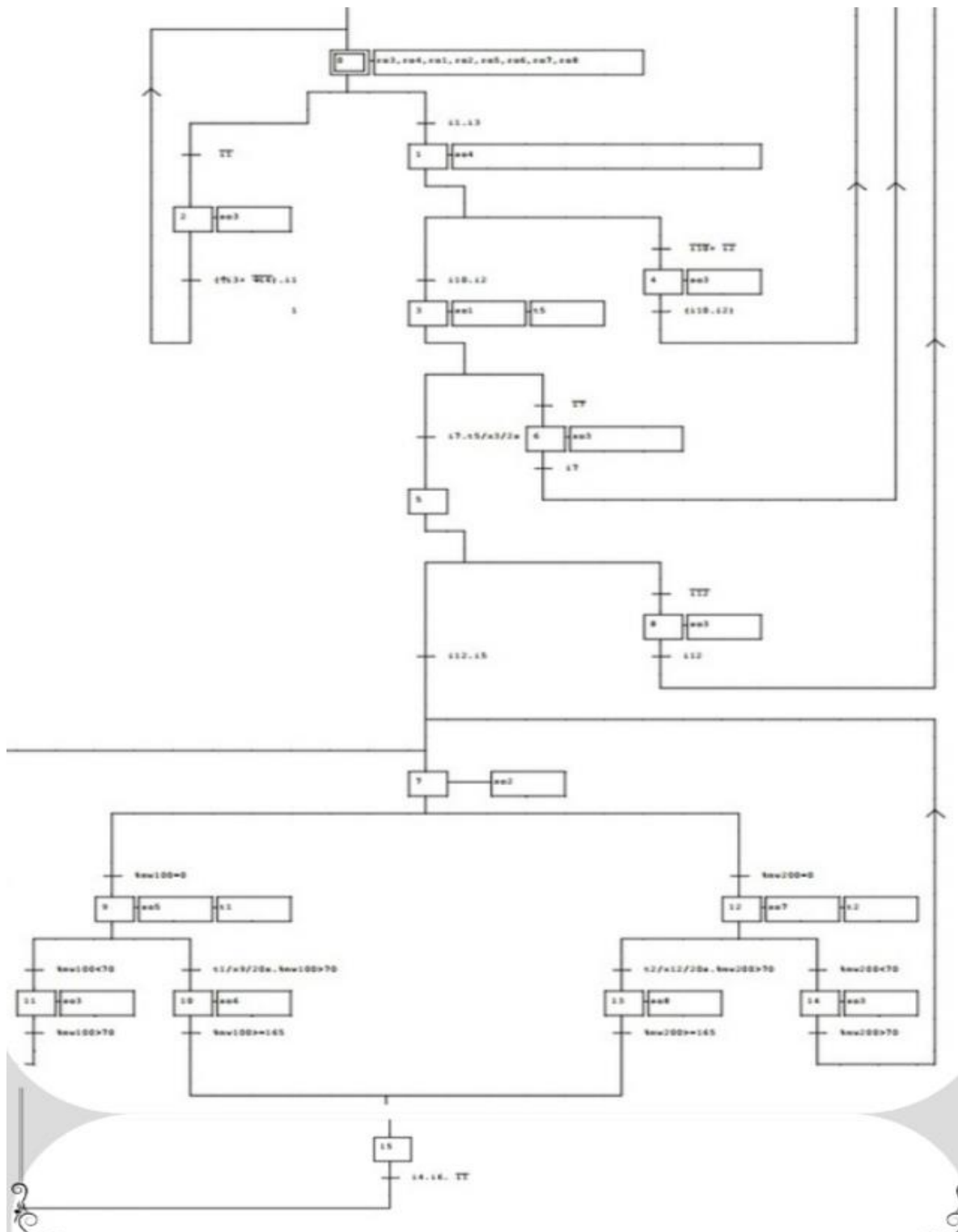


Figure 3.5 : GRAFCET finale du four.

3.5 Schéma fonctionnel et câblage du système :

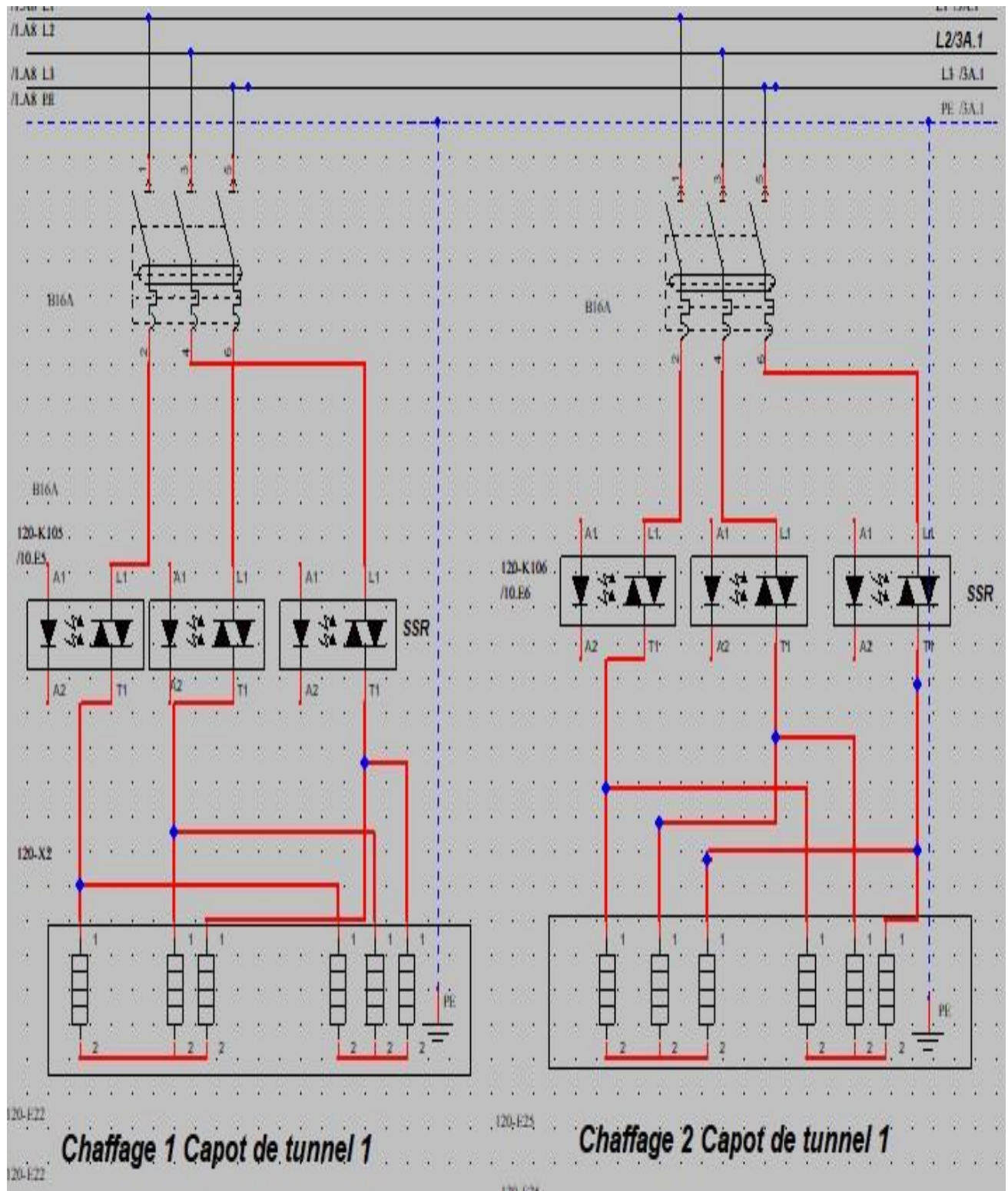


Figure 3.6 : Liaison entre automate, capteurs et actionneurs (partie 1)

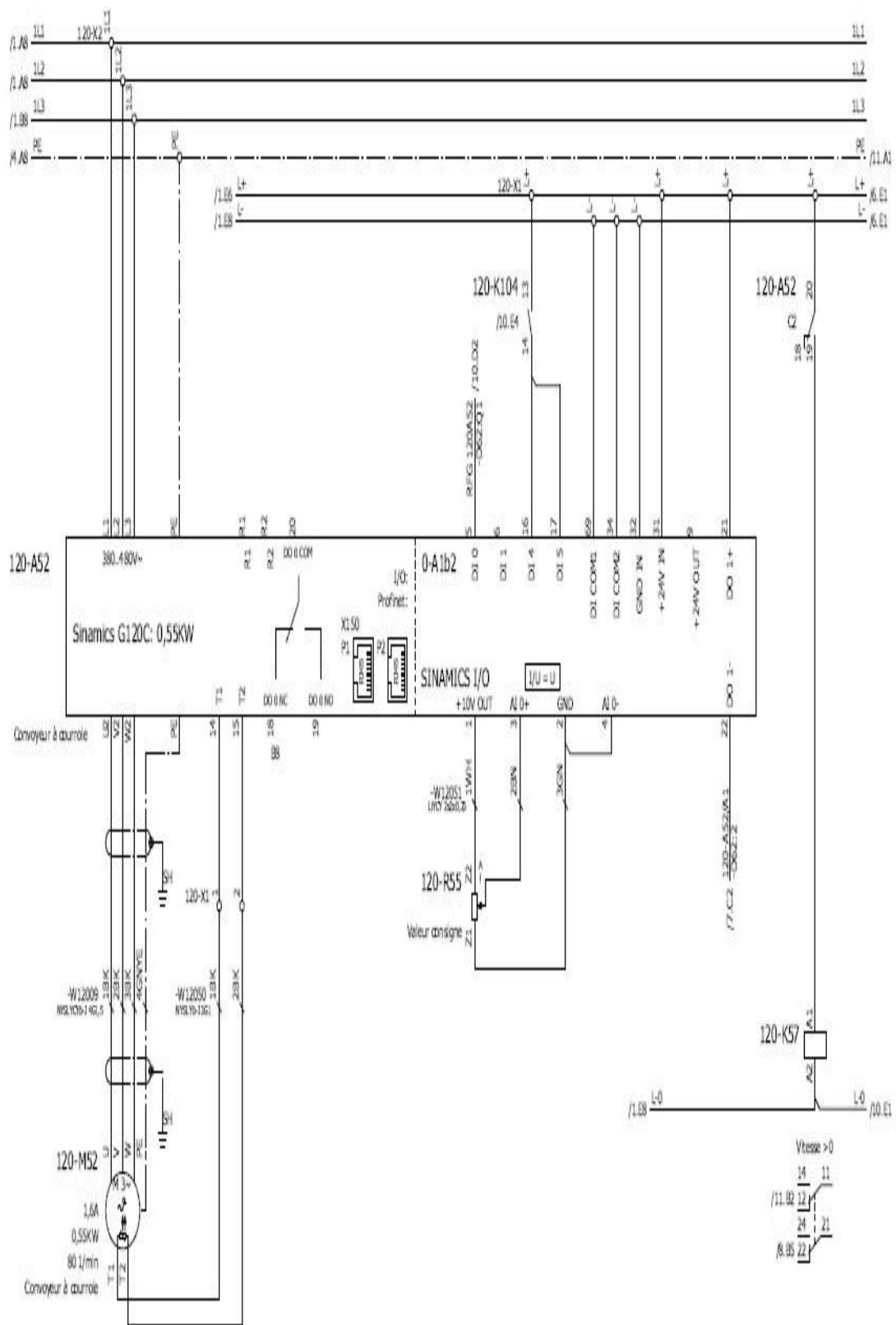


Figure 3.7 : Liaison entre automate, capteurs et actionneurs (partie 2)

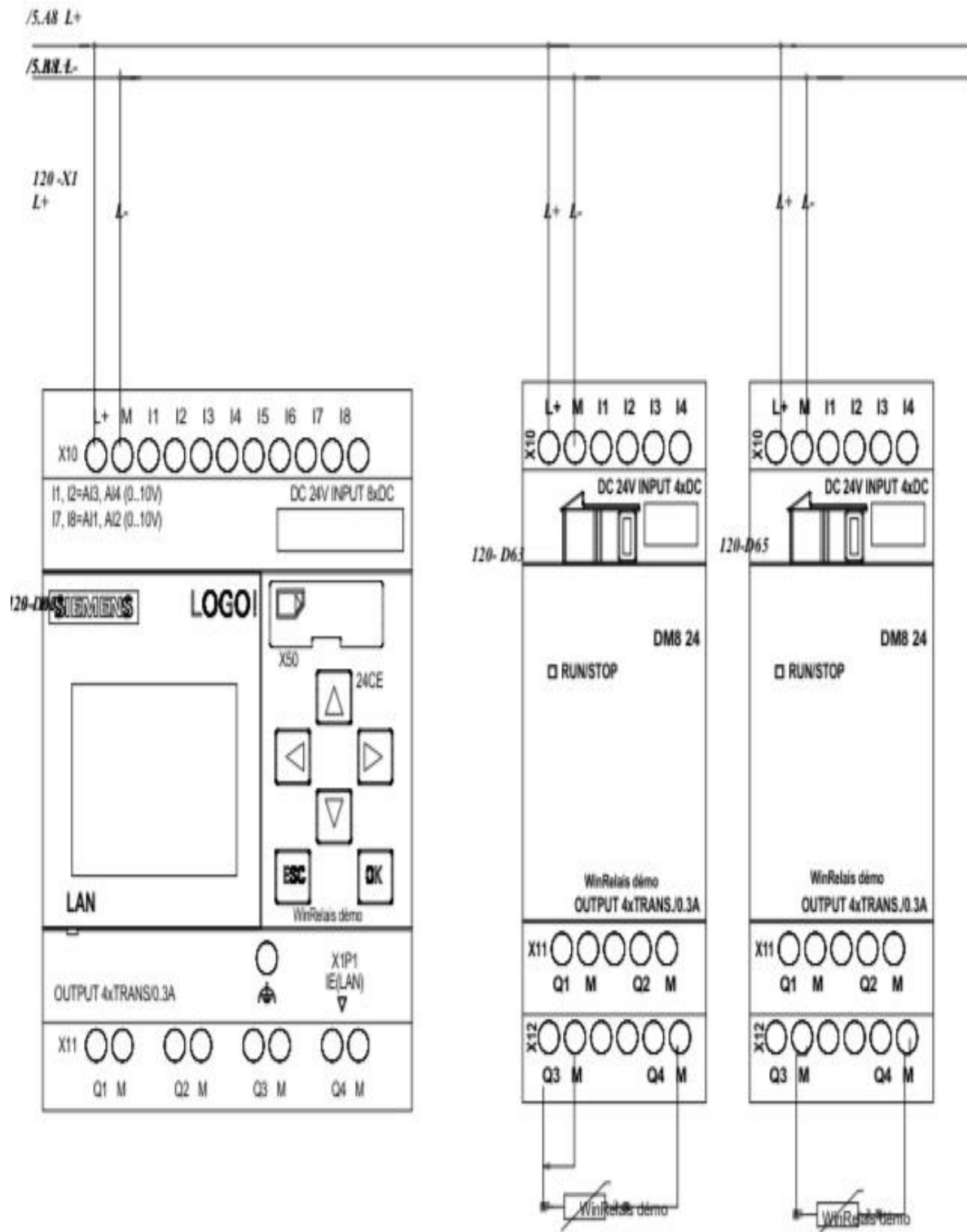


Figure 3.8 : Liaison entre automate, capteurs et actionneurs (partie 3)

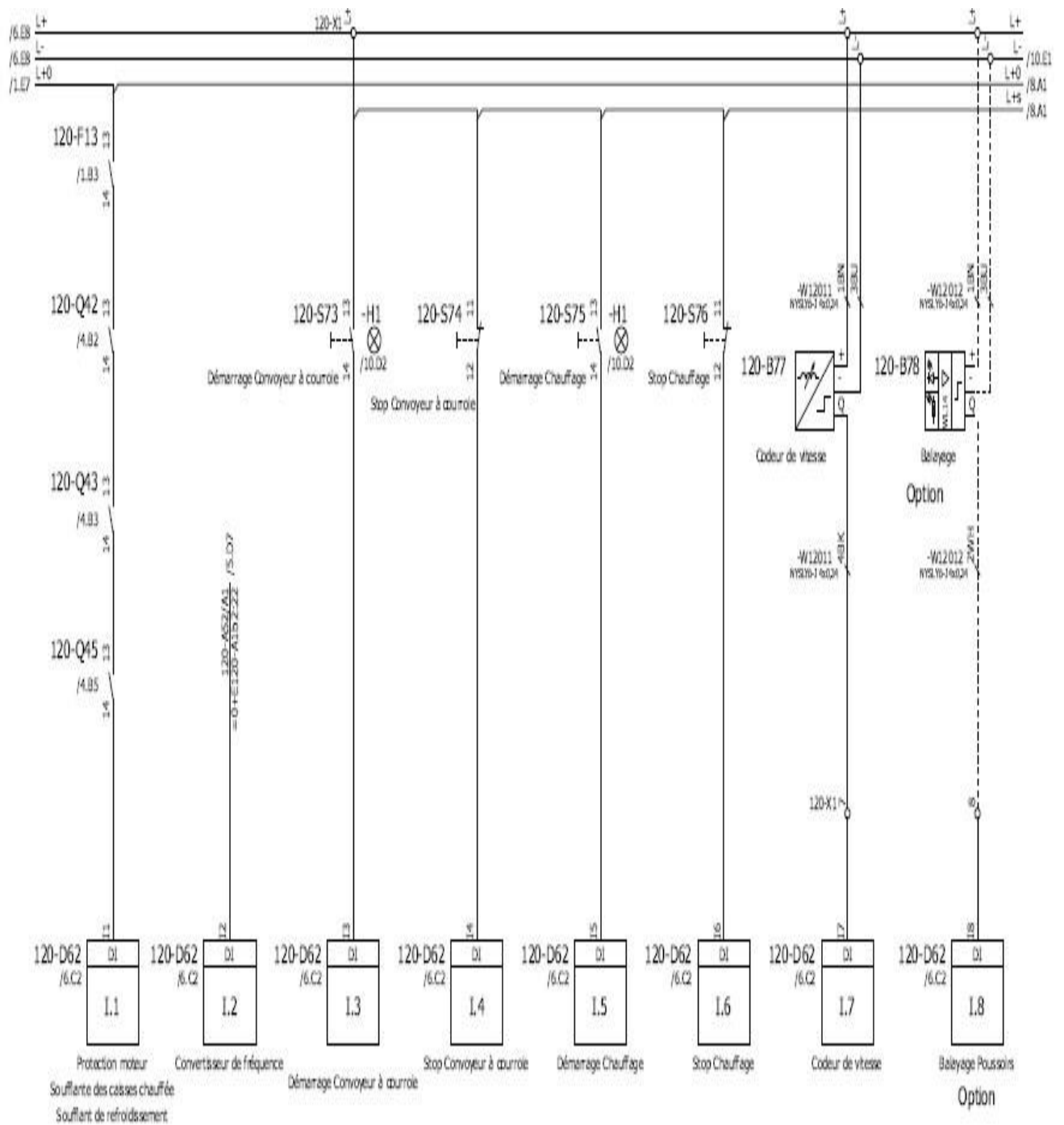


Figure 3.9 : Liaison entre automate, capteurs et actionneurs (partie 4)



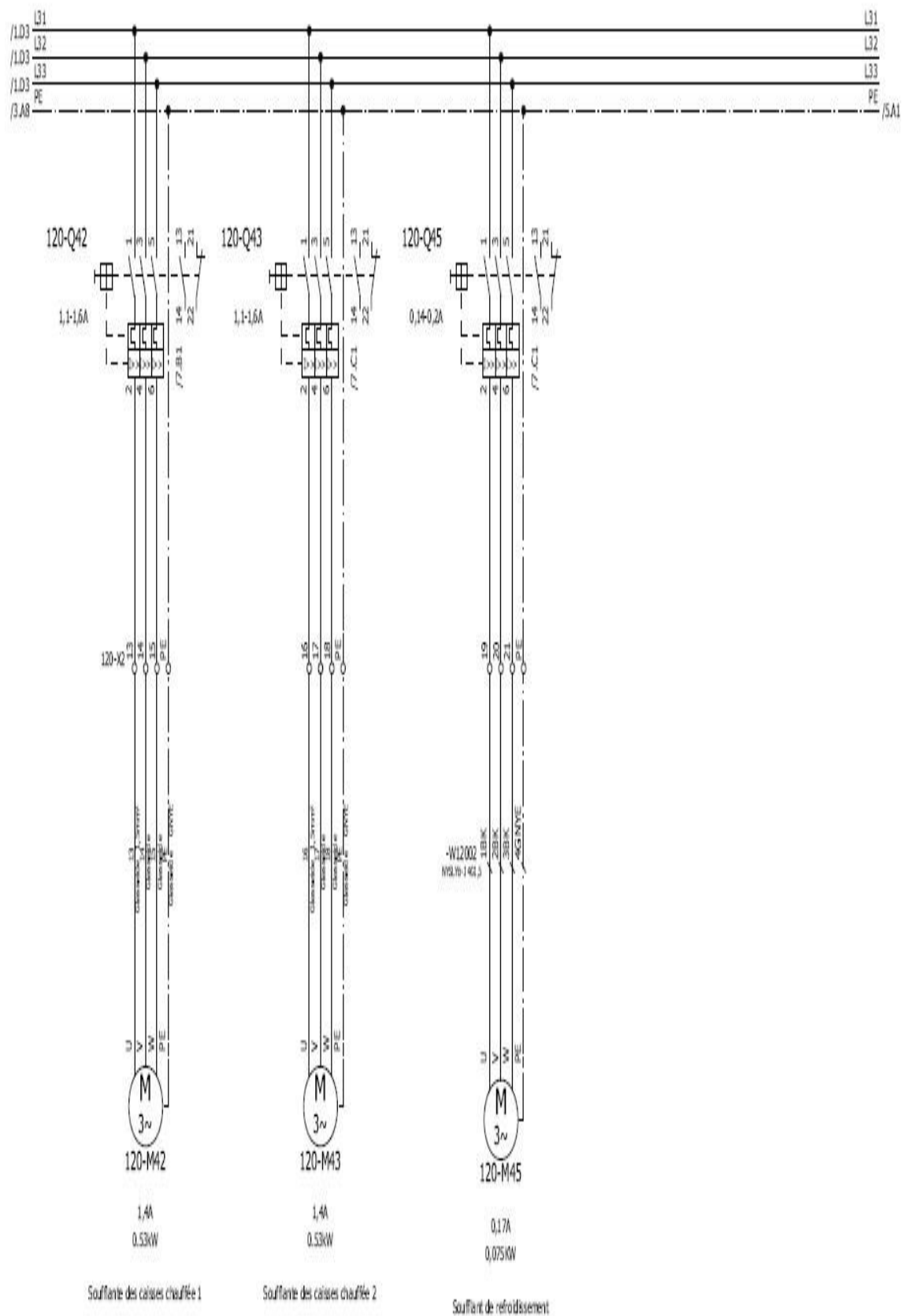


Figure 3.11 : Liaison entre automate, capteurs et actionneurs (partie 6)

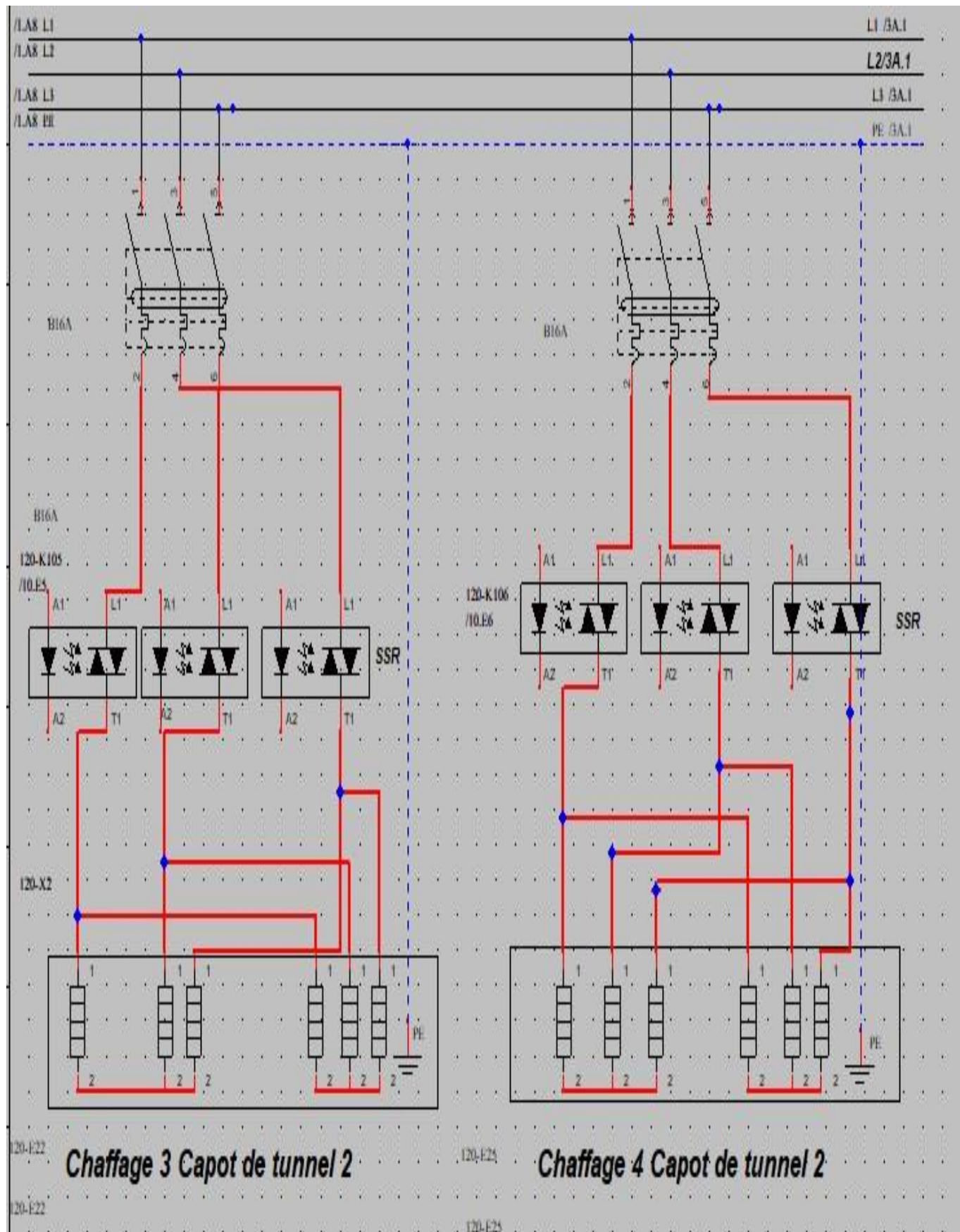


Figure 3.12 : Liaison entre automate, capteurs et actionneurs (partie 7)

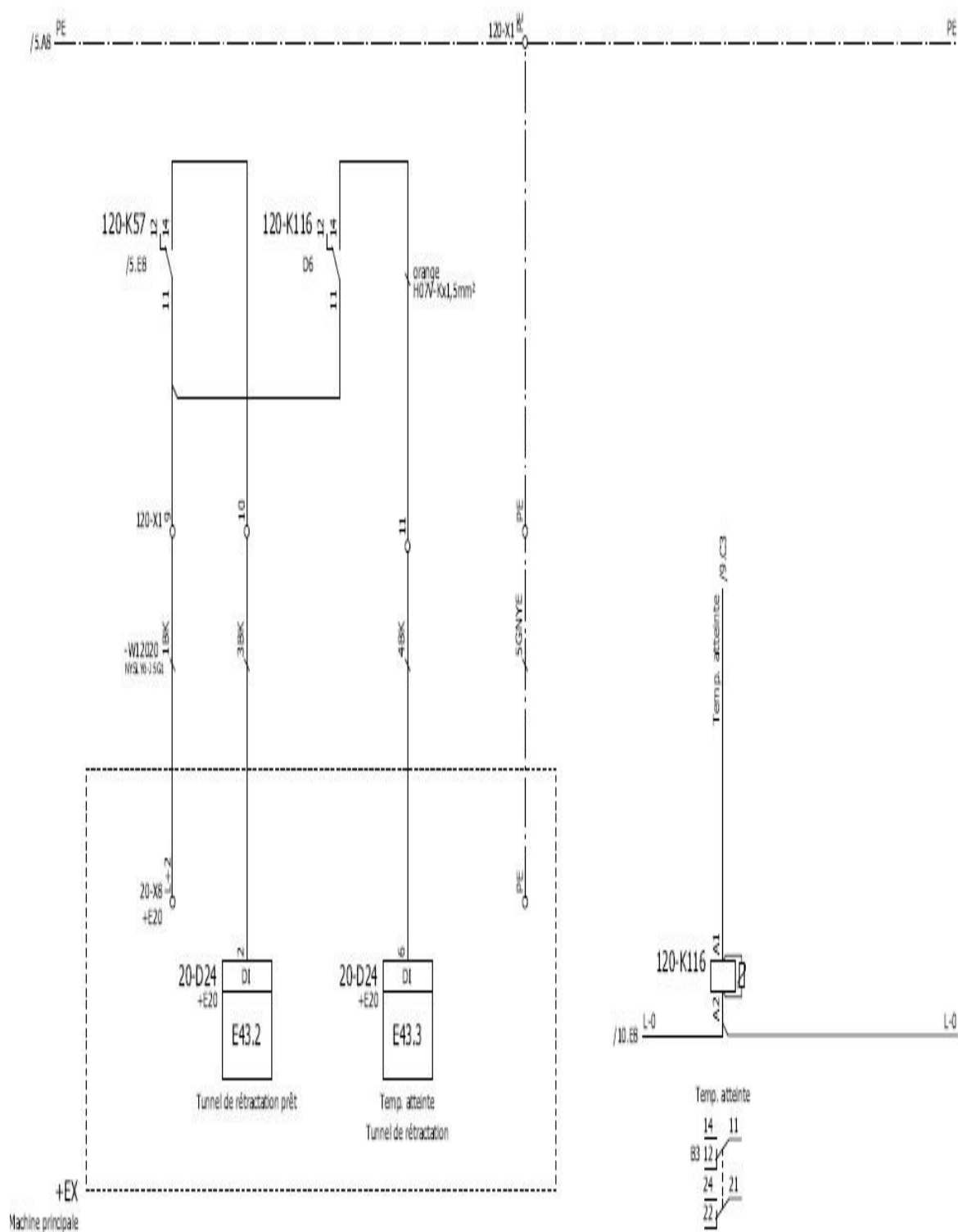


Figure 3.13 : Liaison entre automate, capteurs et actionneurs (partie 8)

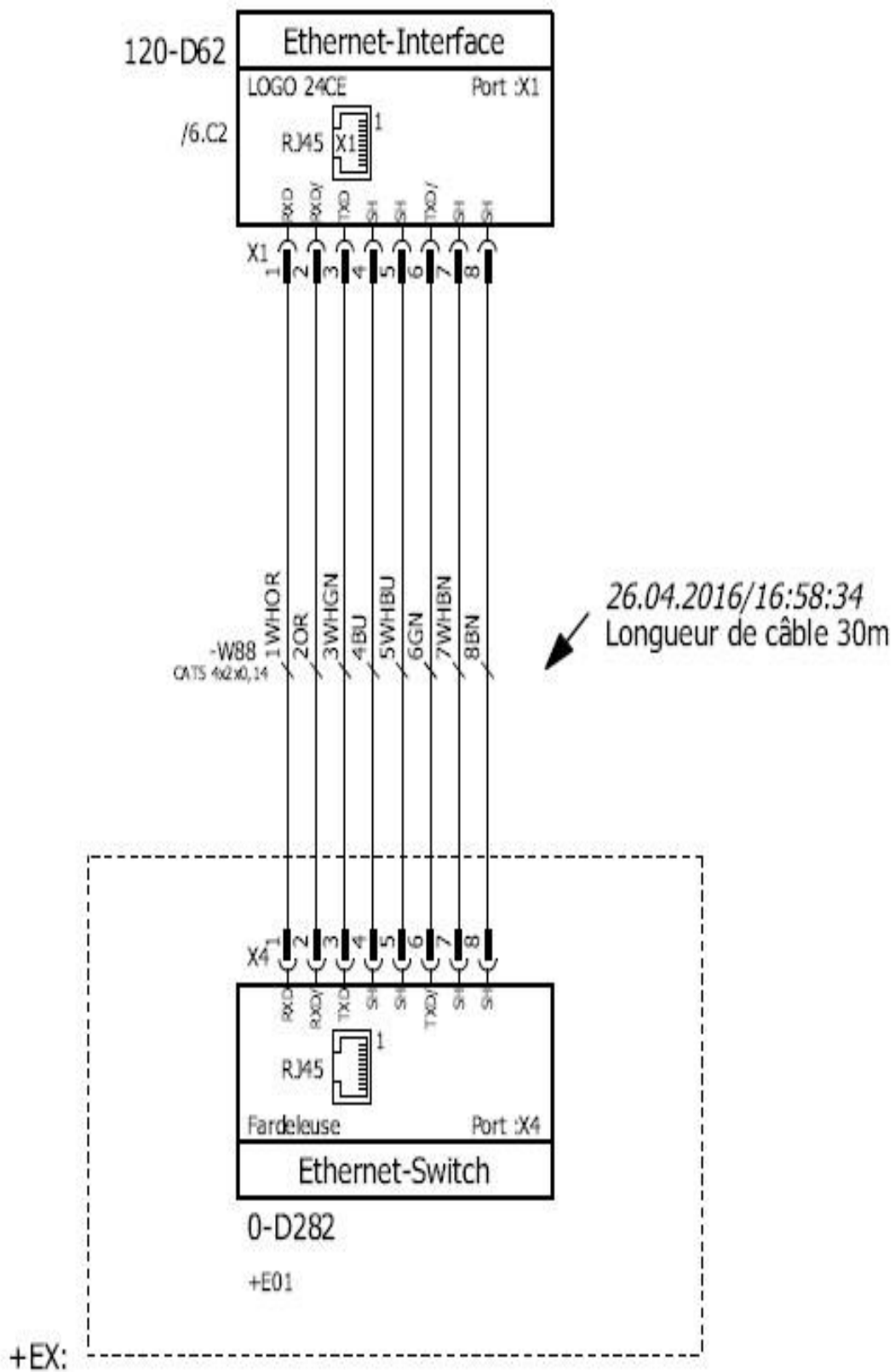


Figure 3.14 : Liaison entre automate, capteurs et actionneurs (partie 9)

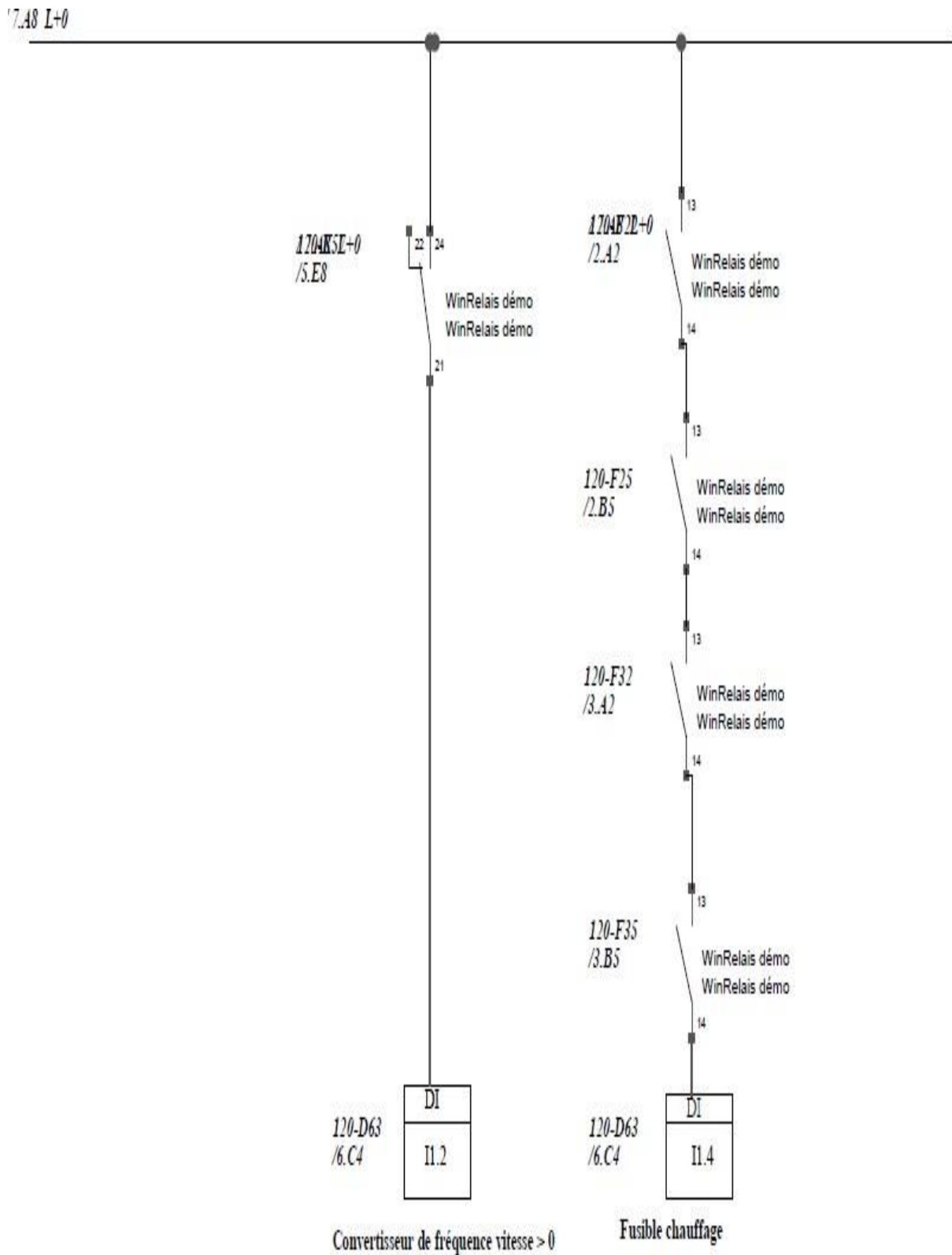


Figure 3.15 : Liaison entre automate, capteurs et actionneurs (partie 10)

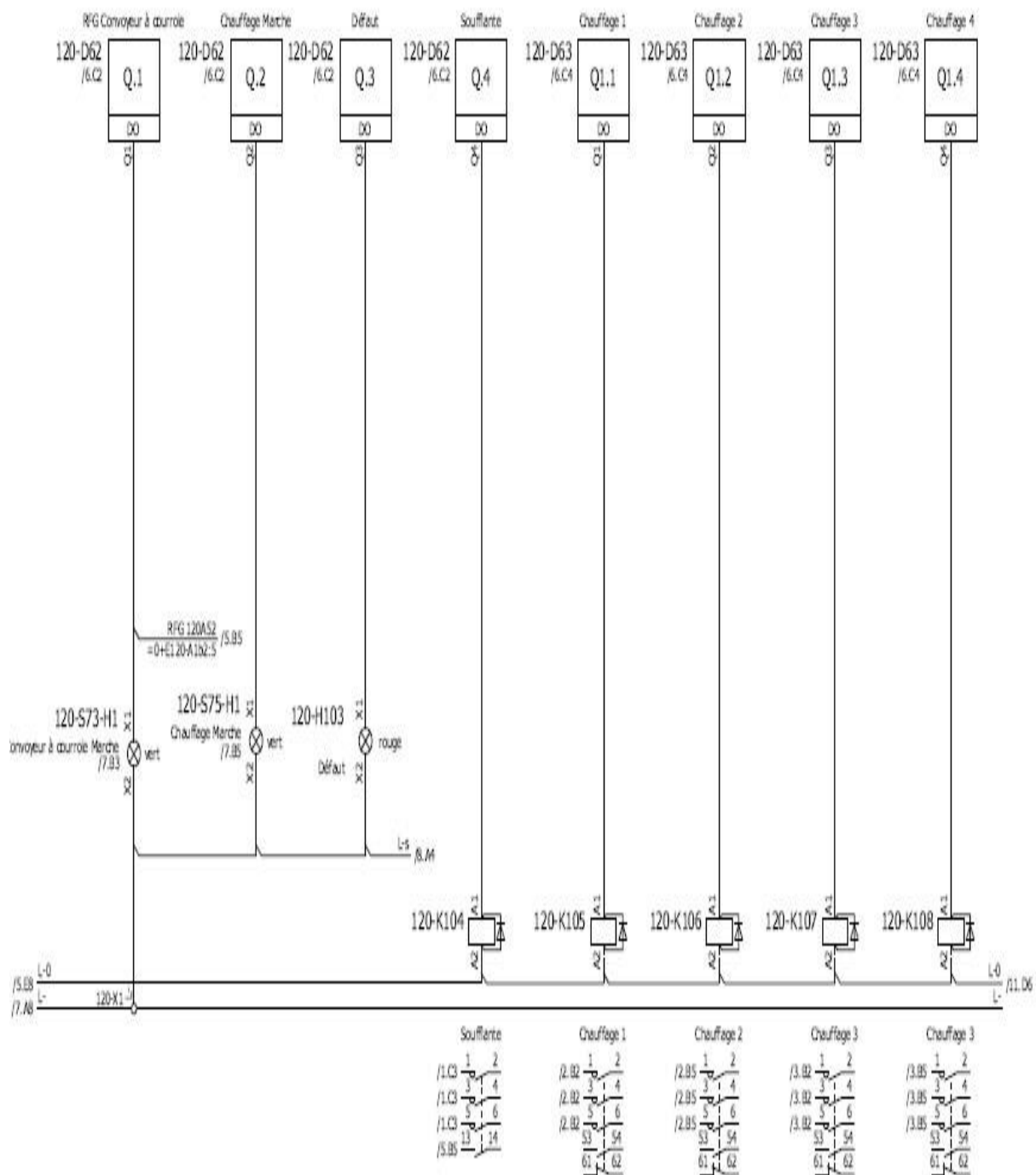


Figure 3.16 : Liaison entre automate, capteurs et actionneurs (partie 11)

3.6 Programmation :

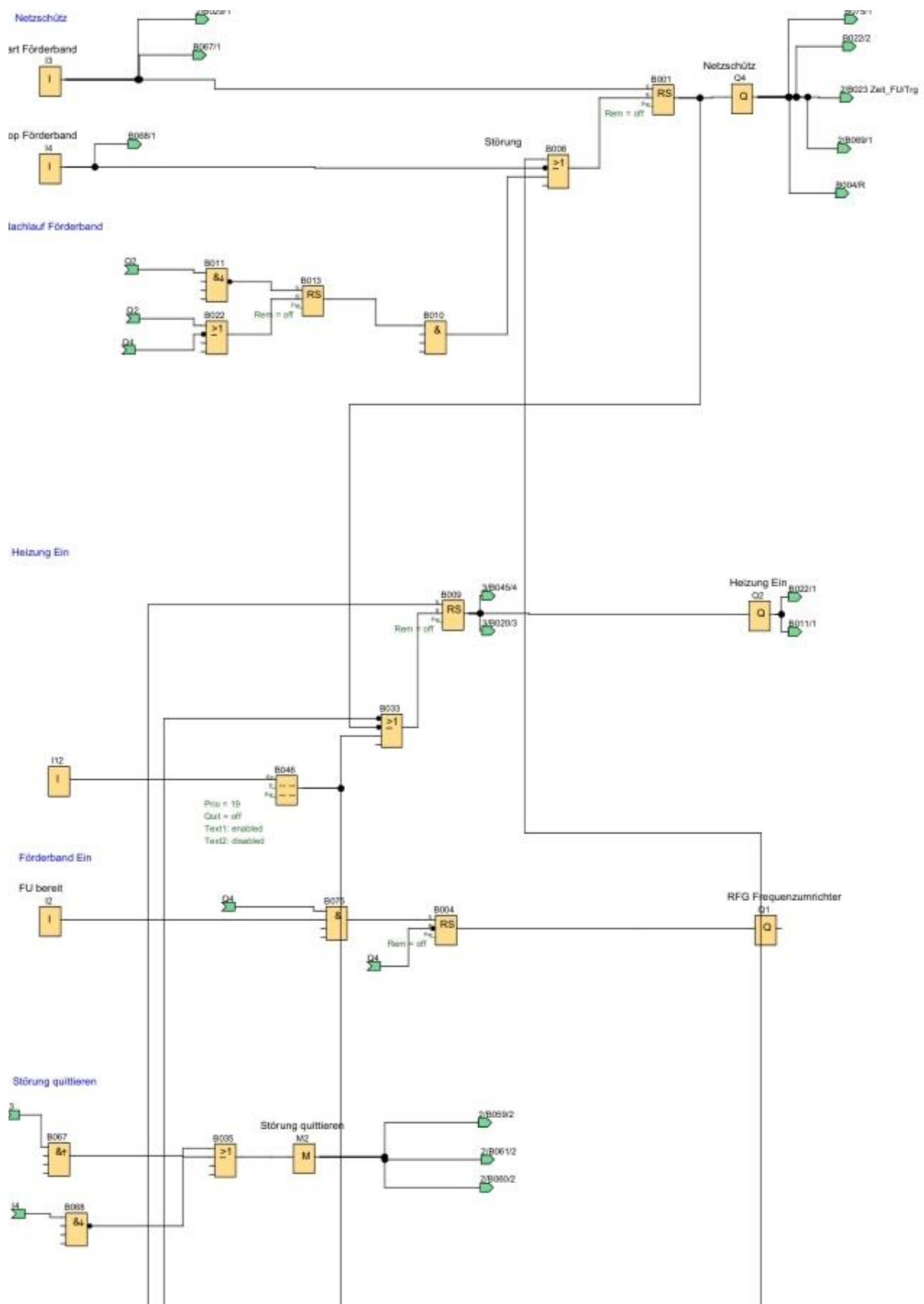


Figure 3.17 : Schéma de programmation du four (partie 1)

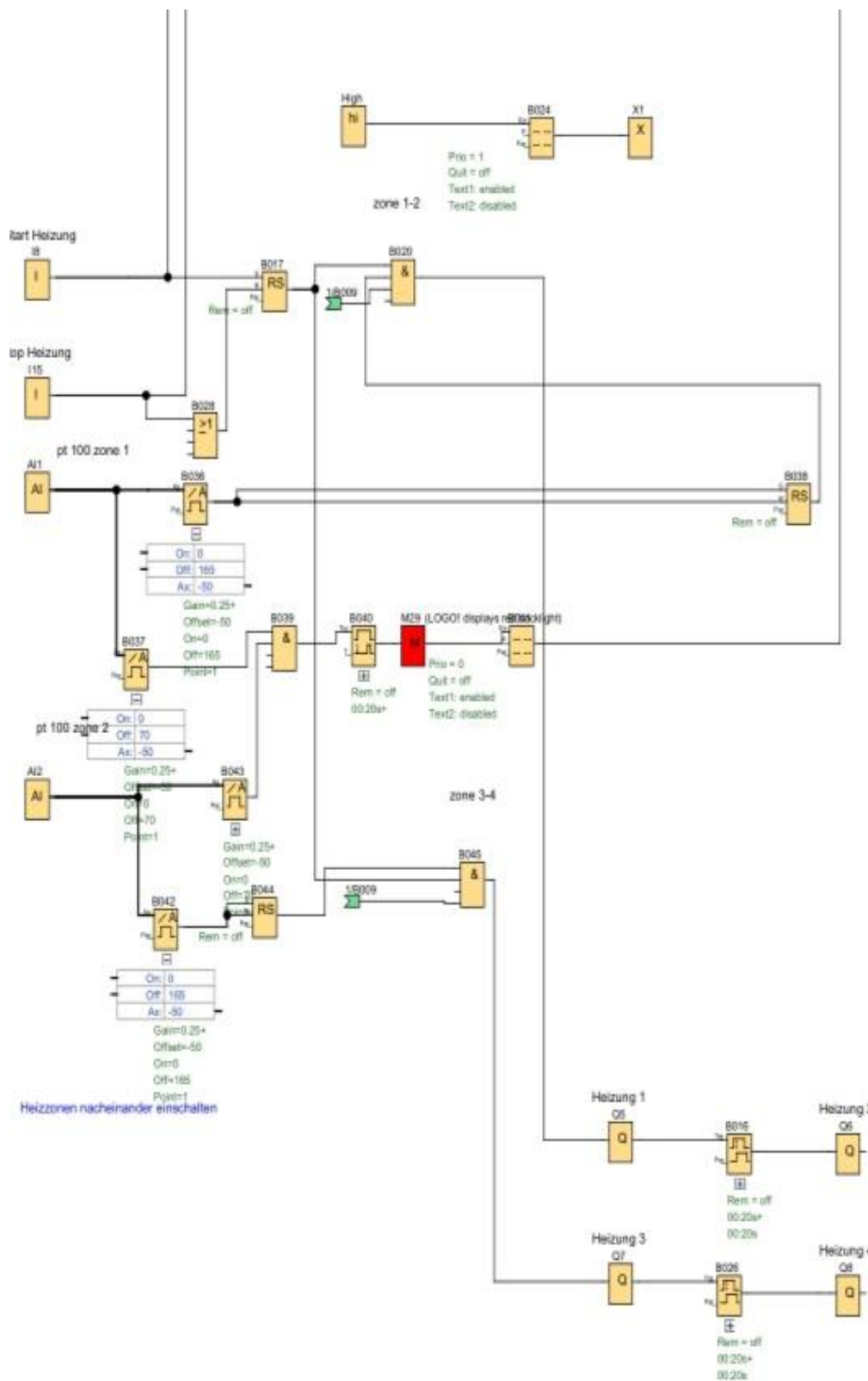


Figure 3.18 : Schéma de programmation du four (partie 2)

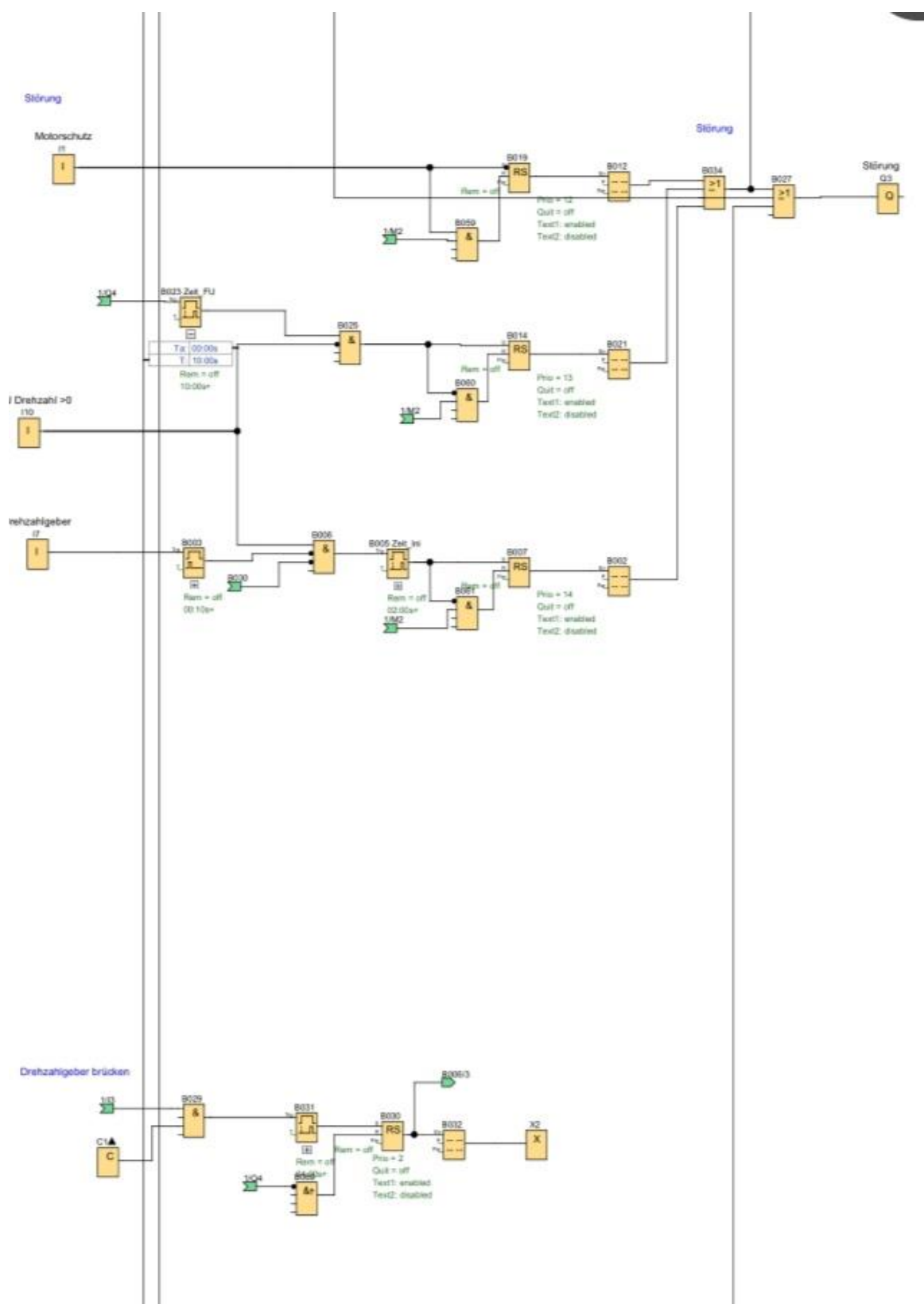


Figure 3.19 : Schéma de programmation du four (partie 3)

3.7 Analyse des performances du système automatisé :

Cette analyse porte sur deux versions d'un programme de commande d'un four industriel à tunnel de rétraction, élaboré à l'aide du logiciel **LOGO ! Soft Comfort** de Siemens.

Ces programmes contrôlent un système de chauffage à zones multiples couplé à un convoyeur et intègrent des fonctions de sécurité, de régulation thermique et de supervision.

Deux versions sont étudiées :

- **Programme initiale (avant amélioration) :** Version fonctionnelle de base.
- **Programme optimisé (après amélioration) :** Version enrichie avec sécurité, ergonomie et logique avancée.

3.8 Fonctionnement du programme avant amélioration :

✱ **Commande chauffage :**

- Activation des zones de chauffage sans temporisation réelle entre elles
- Contrôle simple basé sur un seuil thermique global

✱ **Commande de convoyeur :**

- Démarrage si le variateur de fréquence est prêt (entrée I2)
- Aucun délai ou sécurité complémentaire au démarrage

✱ **Surveillance thermique :**

- Présence d'une entrée analogique pour température mais traitement limité
- Seuil à 70°C utilisé uniquement pour interdire ou autoriser le chauffage

✱ **Sécurité :**

- Basée sur des relais mémoire simples (contacteurs)
- Pas de gestion poussée des erreurs ni de messages explicites

✱ **Interface utilisateur :**

- Absence d'affichage ou de supervision visuelle
- Réinitialisation manuelle rudimentaire (appui sur bouton uniquement)

3.9 Fonctionnement du programme après amélioration :

✱ **Commande chauffage :**

- Activation séquentielle des 4 zones de chauffage avec temporisation de 20 secondes entre chaque zone (1et2, 3et4)
- Régulation précise avec consigne de température et mesure la température avec l'utilisation des PT100 :
- Chauffage autorisé si $T < 70^{\circ}\text{C}$
- Chauffage arrêté si $T > 165^{\circ}\text{C}$

✱ **Commande de convoyeur :**

- Conditionné par l'état du variateur (I2) et une temporisation de 10 secondes (B023) pour éviter les démarrages brusques.

✱ **Surveillance thermique :**

- Utilisation de deux capteurs analogiques (AI1 et AI2)

- Traitement par blocs Analog Threshold Trigger (B036 à B043) pour convertir la tension en température
- ✱ **Affichage des valeurs mesurées :** Sous forme de texte
- ✱ **Sécurité :**
 - Détection de défauts électriques via des blocs Message Textes (B024, B046, etc)
 - Activation d'un voyant d'erreur M29 (rétroéclairage rouge de l'écran LOGO !)
 - Gestion de la priorité des erreurs pour savoir lesquelles traiter en premier
 - Dans le cadre de la régulation thermique de four, les relais statiques (SSR) constituent un élément clé de la chaîne de commande, remplaçant avantageusement les contacteurs classiques.
- ✱ **Interface utilisateur et supervision :**
 - Présence d'un écran LOGO ! avec messages dynamiques (états, alarmes, température)
 - Messages personnalisés selon les cas : Température < 70°C, Erreur de variateur de fréquence, Surcharge thermique, etc.
 - Réarmement conditionnel via une commande spécifique (M2), seulement après suppression de la cause de l'erreur.

3.10 Comparaison technique :

Tableau 7 : Comparaison technique

Élément	Avant amélioration	Après amélioration
Zones de chauffage	Activation directe	Séquencée avec temporisation
Surveillance température	Consigne simple	Double Consignes (PT100) + traitement analogique
Commande convoyeur	Sur I2 Uniquement	I2+ Temporisation de sécurité
Messages utilisateurs	Absent	Messages claires et affichés
Rétroéclairage écran	Inexistant	Activé en cas d'erreur
Réinitialisation des défauts	Simple bouton	Conditionnée par L'état des capteurs
Diagnostic d'erreurs	Non intégré	Intégré, avec priorités Et textes explicites
Lisibilité du programme	Structure Dispersée	Logique modulaire e Et lisible

3.11 Conclusion :

Ce chapitre a été consacré à la conception et à la mise en œuvre du système automatisé de régulation thermique pour le four de fardeleuse, à travers une démarche structurée, nous avons élaboré un cahier des charges fonctionnel, modélisé le comportement du système via un GRAFCET, permettant de visualiser les séquences de fonctionnement et les transitions. Puis réalisé les schémas électriques, incluant le câblage des capteurs PT100, des relais statiques (SSR) et de l'automate. Une programmation sous l'automate LOGO ! Soft Comfort, intégrant :

- Une régulation pour un contrôle stable des températures
- Des sécurités redondantes (surchauffe, défaut de soufflant or de convoyeur)
- Une interface opérateur avec affichage des alarmes et des consignes

Cette phase de conception a permis de valider la faisabilité technique de la solution.

Le passage du programme initial à sa version améliorée représente une évolution significative en termes de sécurité, de fiabilité et d'ergonomie.

Le nouveau programme est mieux structuré, maintenance plus rapide grâce aux messages et diagnostics affichés, et garantit une meilleure protection du matériel et des opérateurs, il facilite la supervision par les opérateurs, sa structure logique est plus claire, modulaire et évolutive, adaptée à l'automatisation industrielle moderne.

Malheureusement, je n'ai pas eu l'occasion de tester le système, principalement en raison de plusieurs obstacles rencontrés au sein de l'entreprise. Parmi les plus importants on note le manque d'équipements techniques mis à notre disposition, la mise en place de ces équipements nécessite des investissements coûteux qui obligent des frais supplémentaires.

Conclusion Générale

Conclusion Générale :

Ce travail a porté sur l'étude, la conception et la mise en œuvre d'un système automatisé de régulation thermique pour un four de fardeleuse utilisé dans le conditionnement de sucre au sein de l'entreprise Cevital. Dans l'objectif de résoudre les limitations des systèmes de régulation classiques, notamment en termes de précision, de sécurité, de maintenance et d'efficacité énergétique.

Après une analyse détaillée du processus industriel existant, des problèmes ont été identifiés tels que la surchauffe, l'usure prématurée des composants, le manque de supervision et l'absence de régulation. Pour y remédier, une solution basée sur l'automate programmable Siemens LOGO ! 24CE, accompagnée de capteurs PT100 et de relais statiques (SSR), a été proposée.

Le projet a permis de :

Mettre en place un système de contrôle de température précis et sécurisé réparti sur quatre zones de chauffage.

Intégrer une supervision via Ethernet avec messages d'état et d'erreur pour l'opérateur.

Structurer la programmation selon des logiques modulaires et évolutives (GRAFCET).

Optimiser la maintenance et la réactivité en cas de défauts via un affichage dynamique.

Ce projet illustre parfaitement comment l'automatisation industrielle, couplée à des technologies modernes, peut transformer un processus traditionnel en un système plus fiable et plus économique. Les résultats obtenus confirment non seulement la fiabilité technique de la solution proposée, mais aussi son impact positif sur la productivité et la durabilité des installations de Cevital. Ce travail représente donc une avancée concrète vers une automatisation intelligente, conforme aux standards modernes de l'industrie 4.0, où, la digitalisation et l'innovation technologique deviennent des leviers incontournables pour renforcer la compétitivité des entreprises algériennes sur le marché international.

Malheureusement, je n'ai pas eu l'opportunité de tester le système, en raison de plusieurs obstacles rencontrés au sein de l'entreprise. Parmi les plus importants on note le manque d'équipements techniques mis à notre disposition, la mise en place de ces équipements nécessite des investissements coûteux qui obligent des frais supplémentaires.

Si l'on m'offrait l'opportunité de contribuer à l'amélioration du système, je proposerais plusieurs solutions.

- La mise en place d'une plateforme de supervision (SCADA ou HMI) permettrait d'assurer un suivi en temps réel des paramètres critiques, tels que la température des zones, l'état des équipements et les alarmes.
- L'enregistrement des données de fonctionnement sur carte SD offrirait une base solide

pour l'analyse des performances et la maintenance préventive.

- La conception d'un banc d'essai didactique à échelle réduite constituerait une solution pratique pour valider le programme et former les opérateurs.
- Le renforcement des dispositifs de sécurité, notamment par l'ajout de détecteurs thermiques, d'alarmes sonores/visuelles et d'un système de hiérarchisation des défauts, contribuerait à améliorer la fiabilité et la sécurité globale de l'installation.

Références Bibliographiques

- [1] Site internet <https://www.cevital-agro-industrie.com> (consulté 10/02/2025)
- [2] Fiche Technique de l'automate –cevital B&B MAF manuel d'utilisation pour Fardeleuse SBP 6-54 + STU 540L, A-114866, Germany, 02-2014
- [3] Rahmani, « cours schéma et appareillage » université de Bejaia 2018
- [4] Livre-blanc-produit-régulation Innovating Energy Technology
- [5] Georges Asch et collaborateurs, « Les capteurs en instrumentation industrielle » édition Dunod 1999
- [6] Généralités D-610.01-FR-AA 19-10-2020
- [7] Aide en ligne LOGO ! Soft Comfort, France, 2022
- [8] Manuel de LOGO ! 6ED 1052-1CC01-0BA8
- [9] Site internet <https://www.Ceduc.relais.com> (consulté 04/03/2025)
- [10] Site internet <https://www.gavazziautomate.com> (consulté 20/03/2025)
- [11] S. Moreno : E-Peulot, Le GRAFCET. « Conception-Implantation dans les automats programmables industriels ». Casteilla, Paris,2009
- [12] C. Merlaud, J. Perrin, J. Trichard, J. Dumery, F. Binet, « Automatique et informatique industrielle », éditeur. Nathan, France, 12-11-2004
- [13] J.C Bossy, P. Faurgere, C. Merlaud, « Le GRAFCET Sa pratique et ses application », édition Casteilla, France, 1985

Résumé

Ce travail porte sur l'automatisation du contrôle de température d'un four de fardeleuse dans l'unité de conditionnement de sucre du groupe industriel Cevital.

Le système existant, reposant sur les contacteurs simples et des régulateurs classiques, présentait plusieurs limitations : manque de précision thermique, risques des surchauffes, arc électrique et l'absence de supervision centralisée.

Pour y remédier, une solution basée sur l'amélioration d'un automate LOGO !24CE, couplée à des capteurs de température PT100 pour une mesure précise et des relais statiques (SSR) pour une commutation sans usure mécanique. Le travail comprend l'analyse du processus qui a été basée sur l'étude des défauts du système actuel et des besoins en régulation thermique pour garantir une rétraction uniforme du film ; la conception d'un système automatisé via un GRAFCET pour visualiser les séquences de fonctionnement, élaboration d'un cahier des charges et réaliser des schémas électriques intégrant capteurs, actionneurs et l'automate ; la programmation de l'automate avec utilisation du logiciel LOGO ! Soft Comfort pour développer une régulation simplifiée, plus l'intégration de temporisations entre les zones de chauffage et de sécurités (surchauffe, défaut de convoyeur or soufflant), ajout d'une interface opérateur avec affichage des alarmes et des températures ; et la validation de système par des tests, confirmant une meilleure stabilité thermique (consigne $\pm 5^{\circ}$) avec une réduction des pannes et une optimisation énergétiques.

Les résultats démontrent que l'automatisation améliore non seulement la qualité du produit fini, mais aussi la durabilité des équipements et la sécurité des opérateurs.

ملخص

يركز هذا العمل على أتمته التحكم في درجة حرارة فرن آلة التغليف في وحدة تعبئة السكر بمجموعة سيفيتال الصناعية. النظام الحالي، يعتمد على موصلات بسيطة ومنظمات تقليدية، يعاني من عدة قيود منها : الافتقار الى الدقة ومخاطر ارتفاع درجة الحرارة وغياب الاشراف المركزي.

لمعالجة هذه المشكلة تم تطوير حل يعتمد على تحسين جهاز LOGO !24CE مقترنا بأجهزة استشعار درجة الحرارة و SSR للتبديل دون تآكل ميكانيكي.

يتضمن العمل تحليل العملية التي كانت تعتمد على دراسة عيوب النظام الحالي والاحتياجات في التنظيم الحراري لضمان انكماش موحد للغلاف وتصميم نظام موحد عبر GRAFCET لتصوير تسلسلات التشغيل وتطوير المواصفات وانتاج المخططات الكهربائية، بالإضافة الى دمج التأخيرات الزمنية بين مناطق التدفئة والسلامة وإضافة واجهة مشغل مع عرض الإنذارات ودرجات الحرارة، التحقق من صحة النظام من خلال الاختبارات، مما يؤكد الاستقرار الحراري مع انخفاض الأعطال وتحسين استهلاك الطاقة.

