الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
المدرسة الوطنية العليا للتكنولوجيات المتقدمة
Ecole Nationale Supérieure des Technologies Avancées

**Département Génie Électrique et Informatique Industrielle**

---

# Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme INGÉNIEUR d'État

Filière :
**Automatique**

Spécialité :
**Automatique et Informatique Industrielle**

Thème :

# Conception et supervision d'une ligne automatisée pour la récupération du contenu des boîtes défectueuses dans une chaîne de production de produits laitiers

Réalisé par :
**HABHOUB Safouane & MESSALI Idir**

**Soutenu le 22 / 06 / 2025**

**Membres du jury :**

| Nom et Prénom | Établissement | Grade | Qualité |
|---|---|---|---|
| M. ZAOUI Abdelhalim | ENSTA | Professeur | Président |
| M. CHERABIT Noureddine | ENSTA | MAA | Promoteur |
| M. DERMOUCHE Reda | ENSTA | MCA | Co-Promoteur |
| M. ABNOUN Hichem | TCHIN LAIT Candia | Expert métier | Co-Promoteur |
| Mme. BOULAAM Karima | ENSTA | MCB | Examinatrice |
| Mme. OUSAADI Zahira | ENSTA | MAA | Examinatrice |

Année universitaire : 2024/2025

بسم الله الرحمن الرحيم

الحمد لله العليم الحكيم، الذي علَّم الإنسان ما لم يعلم، وسخَّر له سبل العلم والفهم، فبفضله تتم النعم، وبتوفيقه تتحقّق الآمال. له الحمد في الأولى والآخرة، وله الشكرُ على ما أنعم وتفضّل.

والصلاة والسلام على المعلّم الأول، سيدنا محمد ﷺ، الذي أضاء الله به طريق العلم والهداية، وبيّن به سبل الرشد والمعرفة، وعلى آله وصحبه ومن سار على دربه واقتفى أثره إلى يوم الدين.

وبعد رحلة من الجدّ والاجتهاد، وسعيٍ متواصل في دروب التعلُّم والبحث، نصل بفضل الله وتوفيقه إلى ختام هذا العمل المتواضع، فإن كان من فضل، فهو فضل الله أولاً وآخراً، نسأله أن يجعل هذا الجهد خالصاً لوجهه الكريم، وأن يجزي كل من أعان وساهم فيه خير الجزاء.

إلى من كانوا السبب بعد الله في ما وصلتُ إليه:

إلى من كانت دعواته تسابق أحلامي، إلى من صنع من العناء راحة، ومن التعب سعادة، إلى من غرس في قلبي الصبر، وفي نفسي الثقة، إلى سندي بعد الله، وموطني الذي ألجأ إليه مهما ضاقت بي السبل: أبي، تاج رأسي، وصاحب الفضل العظيم.

وإلى من كانت دموعها دعاءً، وابتسامتها طريقًا إلى النجاح، إلى من كانت بسمتها دواءً، وصبرها عزاءً، إلى من سهرت لأجل راحتي، وتعبت لتسعدني، إلى من لا أستطيع ردّ فضلها مهما حييت: أمي، نبع الحنان، وروح العطاء.

وإلى إخوتي وأخواتي الأعزاء، يا من كنتم سندي، وكنتم لي أجنحة أطير بها نحو حلمي، كنتم لي القوة حين ضعفت، والفرح حين ضاق صدري.

وإلى كل من رافقني بكلمة أو نصيحة أو وقفة صادقة، إلى أصحابي وأحبتي.

ها أنا اليوم أطوي صفحة من التعب، وأكتب في تاريخي فخرًا لا يُنسى. لم أعد أتساءل عن ملامح الوصول، فقد رأيتُها في عيوني، حيث تلاشت غيوم التعب، وابتسم الأفق بعد عتمة الانتظار. ها هي الخطى التي كانت تتعثر أحيانًا، قد وجدت مستقرها في قمة الإنجاز، وبين طيّات الطريق تنفستُ سلامًا، فرحًا، وامتنانًا. وآخر دعوانا أن الحمد لله رب العالمين.

*Avant tout, je remercie Dieu, le Tout-Puissant, pour m'avoir accordé la force, la patience et la sagesse nécessaires pour mener à bien ce travail. Sa guidance et Sa miséricorde ont été ma lumière tout au long de ce parcours.*

*Je dédie ce projet à* ***mes parents****, pour leur amour inconditionnel, leurs sacrifices silencieux et leur soutien sans faille. Votre confiance et vos prières m'ont accompagné à chaque étape, et c'est grâce à vous que j'ai pu avancer avec détermination.*

*À ma famille, en particulier* ***mes frères et sœurs****, merci pour votre présence bienveillante, vos encouragements constants et votre compréhension durant les périodes intenses de travail. Votre soutien affectueux a été un pilier essentiel dans cette aventure.*

*Je souhaite également exprimer ma profonde gratitude à* ***mes amis****, pour leur accompagnement, leur écoute et leurs encouragements tout au long de ce parcours. Leur présence m'a offert un équilibre précieux et une motivation constante dans les moments les plus exigeants.*

*C'est à travers toutes ces marques de soutien, d'affection et de confiance que j'ai puisé la force d'avancer. Que cette dédicace témoigne de ma profonde gratitude envers chacune de ces personnes spéciales qui ont fait partie de mon parcours. Que leur amour, leur soutien et leur inspiration continuent de guider mes pas vers un avenir prometteur.*

*Idir*

# Remerciement

Nous tenons à exprimer notre sincère gratitude à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce projet de fin d'études.

Nous remercions tout d'abord **M. CHERABIT Noureddine**, enseignant à notre établissement, pour ses orientations méthodologiques, ses remarques constructives et son accompagnement tout au long de notre travail.

Nous exprimons également notre reconnaissance à **M. DERMOUCHE Reda**, pour son suivi rigoureux, sa disponibilité et son soutien constant durant toutes les étapes du projet.

Nos remerciements vont également à **M. ABNOUN Hichem**, notre encadrant industriel, pour la confiance qu'il nous a accordée, sa disponibilité constante et les moyens qu'il a mis à notre disposition tout au long de notre stage. Grâce à son soutien, nous avons pu évoluer dans un environnement professionnel propice à l'apprentissage et à l'innovation.

Nous souhaitons également exprimer notre profonde reconnaissance à **M. DAHANE Mohamed**, ancien technicien au sein de l'entreprise, pour son accompagnement quotidien. Par sa patience, son expertise et sa générosité, il a su nous transmettre des connaissances précieuses. Son implication à nos côtés a été bien au-delà de son rôle : il a été pour nous un véritable guide, comme un parent attentif, toujours soucieux de notre progression et de notre réussite.

Nos remerciements vont aussi à **M. HAMZAOUI Samir**, ingénieur en GEA, qui a validé notre démarche de programmation et nous a encouragés à approfondir ce domaine passionnant. Son regard professionnel nous a permis d'élargir notre vision sur l'univers de l'automatisation industrielle, et son influence a marqué un tournant dans notre compréhension des systèmes.

Nous adressons également notre gratitude à toute l'équipe de SPA Tchin-Lait Candia pour leur accueil chaleureux, leur disponibilité et leur confiance. L'entreprise a non seulement soutenu notre solution, mais elle a également manifesté l'intention de l'implémenter, ce qui constitue pour nous une reconnaissance précieuse de notre travail.

Enfin, nous remercions notre école, pour avoir facilité la phase d'expérimentation et de tests. Les moyens mis à notre disposition nous ont permis de simuler, valider et affiner notre solution dans des conditions optimales.

## ملخص

في إطار مشروع تخرجنا، قمنا بتطوير محطة أوتوماتيكية تسترجع المحتوى الموجود داخل العلب غير المطابقة للمواصفات. يهدف هذا العمل إلى تعويض الطريقة اليدوية التي كانت تُستعمل سابقًا، من أجل جعل العملية أسرع، أنظف، وأكثر دقة وتحكمًا. يعمل النظام بشكل تلقائي باستخدام عدة تجهيزات صناعية يتم التحكم فيها عن طريق جهاز تحكم منطقي مبرمج، مع وجود واجهة تفاعل للإشراف والمراقبة. هذا المشروع مكّننا من تطبيق معارفنا في مجال الأتمتة، والهندسة الميكانيكية، والإشراف الصناعي.



**الكلمات المفتاحية:** محطة أوتوماتيكية - العلب غير المطابقة - الطريقة اليدوية - تجهيزات صناعية - الإشراف الصناعي.



## Résumé

Dans le cadre de notre projet de fin d'études, nous avons développé une station automatisée qui permet de récupérer le produit contenu dans des boîtes de produits laitiers non conformes. Ce travail remplace une méthode manuelle utilisée auparavant, dans le but de rendre le processus plus rapide, plus propre et mieux contrôlé. La solution que nous avons proposée fonctionne de manière automatique grâce à plusieurs équipements pilotés par un automate programmable API, avec une interface IHM pour la supervision. Ce projet nous a permis de mettre en pratique nos compétences en automatisme, en mécanique et en supervision industrielle.



**Mots-clés :** station automatisée -non conformes - méthode manuelle - API - IHM.



## Abstract

As part of our graduation project, we developed an automatic station that collects the content from packages that do not meet quality standards. This work replaces the old manual method to make the process faster, cleaner, and more controlled. The system works automatically using several industrial devices controlled by a programmable logic controller (PLC), with a human-machine interface (HMI) for monitoring and control. This project helped us apply our knowledge in automation, mechanical engineering, and industrial supervision.



**Keywords :** Automatic station -Quality standards - Manual method - PLC - HMI.

# Table des matières

**Introduction générale** **1**

**I Étude de l'existance** **3**
I.1 Introduction . . . 4
I.2 Présentation de l'organisme d'accueil . . . 4
I.2.1 les Organigrammes . . . 4
I.3 Présentation du processus de production . . . 5
I.3.1 Réception des matières premières . . . 6
I.3.2 Préparation du mélange . . . 6
I.3.3 Traitement UHT . . . 7
I.3.4 Conditionnement aseptique . . . 7
I.3.5 Palettisation et Stockage Final . . . 7
I.3.6 Contrôle qualité et stockage . . . 7
I.3.7 Expédition vers les distributeurs . . . 8
I.4 Récupération des boites non conformes . . . 8
I.4.1 Origine et nature des boites non conformes . . . 8
I.4.2 La station de récupération actuelle . . . 8
I.4.3 Données et statistiques sur les produits non conformes . . . 11
I.5 Problèmes actuels rencontrés . . . 12
I.6 Conclusion . . . 12

**II Analyse et conception** **13**
II.1 Introduction . . . 14
II.2 Analyse fonctionnelle du système . . . 14
II.2.1 Expression du besoin . . . 15
II.2.2 Cahier des charges fonctionnel (CCF) . . . 15
II.2.3 Les Diagrammes d'analyse fonctionnelle . . . 16
II.2.4 Choix de la solution technique . . . 17
II.3 Architecture fonctionnelle du projet . . . 18
II.4 Conception de la station . . . 19
II.4.1 Présentation générale du système . . . 20
II.4.2 Étude des sous-systèmes . . . 21
II.5 Choix des matériaux et composants . . . 24
II.5.1 Les Actionneurs . . . 24
II.5.2 Les Capteurs . . . 27
II.6 Conclusion . . . 28

**III Étude et développement de la section électrique du systèmes** **29**
III.1 Introduction . . . 30
III.2 Choix des composants électriques . . . 30
III.2.1 Variateurs de fréquence . . . 30
III.2.2 Driver pour moteur pas à pas . . . 32
III.2.3 Les Electrodistributeurs . . . 33
III.2.4 Autres composants électriques de l'armoire . . . 35
III.3 Conception des schémas électriques sous EPLAN . . . 38
III.3.1 Présentation du logiciel EPLAN Electric P8 . . . 38
III.3.2 Architecture électrique de la station . . . 39
III.3.3 Alimentation électrique de la station . . . 39
III.3.4 Schéma de puissance . . . 40
III.3.5 Schéma de commande . . . 43
III.3.6 Sécurité électrique . . . 47
III.4 l'armoire électrique . . . 47
III.5 Conclusion . . . 48

**IV Programmation de la solution** **49**
IV.1 Introduction . . . 50
IV.2 Choix des logiciels . . . 50
IV.2.1 TIA Portal pour la Programmation . . . 50
IV.2.2 PLCSIM pour la simulation . . . 50
IV.2.3 WinCC pour l'interface homme-machine . . . 50
IV.3 Langages de programmation utilisés . . . 51
IV.3.1 Diagramme Ladder . . . 51
IV.3.2 SCL . . . 51
IV.3.3 Blocs prédéfinis . . . 51
IV.4 Adressage des Entrées et des Sorties (I/O) . . . 52
IV.4.1 Structure matérielle . . . 52
IV.4.2 Répartition des adresses I/O . . . 53
IV.5 Organisation du programme et logique fonctionnelle . . . 55
IV.5.1 Structure des blocs pour la programmation de notre système . . . 55
IV.5.2 Présentation générale du fonctionnement de la ligne . . . 58
IV.5.3 Déroulement du fonctionnement normal – Détail par station . . . 59
IV.6 Interconnexions et extensions . . . 63
IV.6.1 Communication entre automates S7-1200 et S7-1500 – Coordination du transfert du produit récupéré . . . 63
IV.6.2 Intégration du Raspberry Pi 400 et gestion des données . . . 65
IV.7 Test du programme . . . 67
IV.7.1 Mise en ligne du programme et simulation . . . 67
IV.8 Implémentation . . . 67
IV.9 Conclusion . . . 68

**V Supervision et Simulation** **69**
V.1 Introduction . . . 70
V.2 Supervision via IHM . . . 70
V.2.1 Variables IHM . . . 70
V.2.2 Configuration des alarmes sur l'IHM . . . 71
V.2.3 Gestion des événements et traçabilité . . . 72
V.2.4 Gestion des utilisateurs et Droits d'accès . . . 72

V.2.5 Structure générale de l'IHM . . . . . 73
V.3 Supervision via une application mobile . . . . . 80
V.4 Test et Simulation . . . . . 81
V.5 Implémentation . . . . . 82
V.5.1 Implémentation de l'IHM . . . . . 82
V.5.2 Visualisation temps réel de l'application Node-RED . . . . . 82
V.5.3 Vue d'ensemble du câblage du système . . . . . 83
V.6 Conclusion . . . . . 83

**Conclusion et Perspectives** **84**

**Bibliographie** **87**

**Annexe** **89**

# Table des figures

I.1 Organigramme de la direction générale de l'unité de production de Baraki . 5
I.2 Schéma de fonctionnement global du système dans l'unité de production . 6
I.3 l'opération de nettoyage des boîtes accumulées. . . . . 9
I.4 Procédure de coupe des boîtes non conformes. . . . . 10
I.5 Zone au bord du bassin où l'opérateur effectue la coupe manuelle. . . . . 10
I.6 Vue réelle de la station de récupération actuelle. . . . . 11

II.1 Représentation des étapes de l'analyse fonctionnelle . . . . . 14
II.2 Diagramme de la bête à cornes . . . . . 16
II.3 Diagramme pieuvre . . . . . 17
II.4 Architecture fonctionnelle du projet . . . . . 18
II.5 Logo officiel du logiciel SOLIDWORKS. . . . . 19
II.6 Organigramme fonctionnel de la station automatisée de récupération de produit . . . . . 20
II.7 Vue d'ensemble des trois premiers convoyeurs . . . . . 21
II.8 Station de découpe modélisée sous SOLIDWORKS. . . . . 22
II.9 Différentes vues de la station de découpe sous SOLIDWORKS . . . . . 22
II.10 Vue générale de la plateforme tournante (6 bacs de 20 L) . . . . . 23
II.11 Schéma descriptif de la plateforme tournante . . . . . 23
II.12 Vue d'ensemble de systéme sous SOLIDWORKS . . . . . 24
II.13 Moteur SEW Eurodrive . . . . . 25
II.14 Moteur pas à pas . . . . . 25
II.15 Vérin à tige pneumatique (ISO 15552) . . . . . 26
II.16 Vérin linéaire pneumatique . . . . . 26
II.17 Capteur de pH Polilyte Plus . . . . . 27
II.18 Capteur de niveau capacitif . . . . . 27
II.19 Capteur de fin de course industriel . . . . . 28

III.1 Structure et fonctionnement d'un variateur de fréquence . . . . . 31
III.2 Variateurs de fréquence Danfoss VLT FC 302 . . . . . 31
III.3 Connexion entre un API et un moteur pas à pas via un driver . . . . . 32
III.4 Driver TB6600 pour moteur pas à pas . . . . . 33
III.5 Electrodistributeurs 5/2 – 5 orifices, 2 positions . . . . . 33
III.6 PROFIBUS (Process Field Bus) . . . . . 34
III.7 Disjoncteur principal utilisé pour la protection générale de l'installation . 35
III.8 Transformateur utilisé pour l'adaptation de la tension dans l'armoire électrique . . . . . 35
III.9 Disjoncteur moteur assurant la protection contre les surcharges et courts-circuits . . . . . 36
III.10 Fusible de protection entre l'API et le driver du moteur pas à pas . . . . . 36

III.11Fusible de protection entre le driver et le moteur pas à pas . . . . . 36
III.12Contacteur utilisé pour la commande de mise sous tension des équipements 37
III.13Siemens Miniature Relays . . . . . 37
III.14EPLAN Electric P8 . . . . . 38
III.15Schéma de l'alimentation principale en 380 V triphasé . . . . . 40
III.16Schéma de l'alimentation 24 V DC pour les circuits de commande . . . . . 40
III.17Exemple de câblage de puissance d'un moteur triphasé avec variateur . . . 41
III.18Schéma de câblage du variateur de fréquence (EPLAN) . . . . . 42
III.19Câblage des boutons de marche et arrêt d'urgence sur les entrées de l'automate . . . . . 43
III.20Câblage entre l'automate et le driver du moteur pas à pas . . . . . 45
III.21Câblage entre le driver et le moteur pas à pas . . . . . 45
III.22Réseau de commande pneumatique avec électrovannes Y1 et Y2 . . . . . 46
III.23Schéma de l'alimentation pneumatique et commande des vérins . . . . . 46
III.24Vue Vue 3D de l'armoire électrique. . . . . 47
III.25Vue de la Plaque de montage de l'armoire électrique. . . . . 47
III.26Vue 3D de l'armoire électrique. . . . . 48

IV.1 Architecture logicielle du projet dans TIA Portal V16 . . . . . 50
IV.2 Langages de programmation utilisés . . . . . 51
IV.3 Configuration matérielle des modules I/O dans TIA Portal . . . . . 52
IV.4 Schéma de répartition des adresses I/O . . . . . 53
IV.5 Extrait de la table d'adressage des I/O — Station de guidage . . . . . 54
IV.6 Extrait de la table d'adressage des I/O — Station de fixation . . . . . 54
IV.7 Organisation des blocs – TIA Portal . . . . . 55
IV.8 Schéma fonctionnel global du système . . . . . 58
IV.9 Extrait Ladder – Exemple de commande du vérin de sécurité . . . . . 60
IV.10Extrait Ladder – Logique de commande du moteur M1 . . . . . 60
IV.11Extrait Ladder – Logique de comptage des boîtes . . . . . 61
IV.12Extrait Ladder – Commande du moteur pas à pas (déplacement relatif) . . 62
IV.13Configuration de la communication entre les automates S7-1200 et S7-1500 dans TIA Portal . . . . . 64
IV.14Principe de communication mis en place. . . . . 64
IV.15Activation des services SSH et VNC . . . . . 65
IV.16Schéma des tables de la base de données MySQL . . . . . 66
IV.17Mise en ligne du programme dans TIA Portal . . . . . 67
IV.18Configuration des deux automates . . . . . 68
IV.19Réseau Profinet entre les deux automates . . . . . 68

V.1 Exemple de table des variables HMI . . . . . 70
V.2 Extrait de la configuration des alarmes dans TIA Portal. . . . . 71
V.3 Extrait de la configuration des événements dans TIA Portal. . . . . 72
V.4 Extrait de la configuration des événements dans TIA Portal. . . . . 73
V.5 Présentation des vues disponibles dans l'interface HMI . . . . . 73
V.6 Vue d'accueil . . . . . 74
V.7 Vue synoptique . . . . . 74
V.8 Vue de pilotage des moteurs pas à pas . . . . . 75
V.9 Vue Supervision pH . . . . . 75
V.10 Vues de forçage en mode manuel . . . . . 76
V.11 Vue des alarmes . . . . . 77

V.12 Vue de la liste des événements . . . . . 77
V.13 Vue de gestion des utilisateurs . . . . . 78
V.14 Vue de contact et informations sur le projet . . . . . 78
V.15 Vue des paramètres écran . . . . . 79
V.16 Slide-in menu . . . . . 79
V.17 Vue Contextuel . . . . . 80
V.18 Application mobile . . . . . 81
V.19 Simulation du processus sur interface HMI . . . . . 81
V.20 Les déférentes vues de l'IHM implémentée . . . . . 82
V.21 Supervision Node-RED et poste d'implémentation associé. . . . . 82
V.22 Vue globale du câblage du système . . . . . 83

# Liste des tableaux

I.1 Statistiques de production pour l'année 2024 . . . . . 11

II.1 Fonctions principales du système . . . . . 15
II.2 Contraintes fonctionnelles du système . . . . . 16
II.3 Spécifications du moteur Asyn . . . . . 25
II.4 Spécifications du moteur pas à pas 57HS13 . . . . . 25
II.5 Caractéristiques techniques du vérin linéaire . . . . . 26
II.6 Spécifications du capteur de pH . . . . . 27
II.7 Spécifications du capteur de niveau LI5142 . . . . . 27

IV.1 Structure matérielle des modules I/O utilisés . . . . . 52
IV.2 Variables échangées entre le S7-1200 et le S7-1500 . . . . . 63

# Liste des abréviations et acronymes

| | |
|---|---|
| **AC** | Courant Alternatif |
| **AI** | Analog Input (Entrée Analogique) |
| **API** | Automate Programmable Industriel |
| **AQ** | Analog Output (Sortie Analogique) |
| **CCF** | Cahier des Charges Fonctionnel |
| **CRC** | Contrôle de Redondance Cyclique |
| **DB** | Base de Données |
| **DC** | Courant Continu |
| **DI** | Digital Input (Entrée Tor) |
| **DQ** | Digital Output (Sortie Tor) |
| **FBD** | Function Block Diagram |
| **FC** | Fonctions Contraintes |
| **FP** | Fonctions Principales |
| **GLJ** | Générale Laitière Jugurtha |
| **IHM** | Interface Homme-Machine |
| **IP address** | Adresse Internet Protocol |
| **LAN** | Local Area Network (Réseau Local Industriel) |
| **N** | Neutre |
| **NEP** | Nettoyage En Place |
| **PDL** | Poudre de Lait |
| **PE** | Protection Électrique (ou Terre de Protection) |
| **PF** | Produits Finis |
| **pH** | Potentiel Hydrogène |
| **PLC** | Programmable Logic Controller |
| **PLCSIM** | PLC Simulator (Simulateur d'Automate Programmable Industriel) |
| **PROFINET** | Process Field Net (réseau Ethernet industriel Siemens) |
| **SCADA** | Système de Contrôle et d'Acquisition de Données |
| **SCL** | Langage Structuré de Commande |
| **SPA** | Société de Production Alimentaire |
| **SQL** | Structured Query Language (Langage Structuré de Requêtes) |

| | |
|---|---|
| **STL** | Statement List (Liste d'Instructions Structurée) |
| **TIA Portal** | Totally Integrated Automation Portal |
| **TOR** | Tout Ou Rien |
| **UHT** | Ultra Haute Température |
| **WinCC** | Windows Control Center (Centre de Contrôle sous Windows) |

# Introduction générale

Dans l'industrie agroalimentaire, la qualité et la sécurité des produits sont des exigences fondamentales. Face à l'augmentation des volumes de production et à la nécessité de respecter des normes d'hygiène strictes, l'automatisation et la supervision des processus sont désormais essentielles. Ensemble, elles permettent d'améliorer l'efficacité, d'assurer une traçabilité rigoureuse, de maintenir la propreté des installations, et de garantir un suivi en temps réel des équipements [1].
C'est dans ce contexte que s'inscrit notre projet de fin d'études, mené en collaboration avec l'entreprise Tchin Lait Candia, et qui consiste à concevoir et superviser une ligne automatisée et indépendante destinée à la récupération du contenu liquide des boîtes de produits laitiers défectueuses, rejetées en sortie de chaîne principale.

Actuellement, cette tâche est effectuée de manière manuelle, ce qui entraîne des problèmes importants : faible rendement, pénibilité du travail, absence de traçabilité, et risque de contamination.

L'objectif du projet est donc de proposer une solution technique complète, automatisée et supervisée, permettant de récupérer le contenu des boîtes tout en respectant les normes de sécurité alimentaire. Grâce à cette chaîne, il sera désormais possible d'augmenter significativement le taux de récupération des boîtes rejetées, tout en améliorant les conditions de travail des opérateurs en les libérant des tâches répétitives et potentiellement dangereuses liées à la manipulation manuelle des boîtes.

Pour mener à bien ce projet, une approche méthodique et bien structurée a été adoptée. Ce mémoire présente cette démarche à travers cinq chapitres logiquement enchaînés, conçus pour accompagner le lecteur tout au long des différentes étapes du travail. Afin de faciliter la compréhension et la consultation, chaque chapitre est organisé en sections claires et distinctes. :

Le premier chapitre est consacré à **l'étude de l'existant**. Tout d'abord, il présente l'entreprise d'accueil, ses activités et son environnement de production. Il met en lumière le processus actuel de gestion des boîtes non conformes, en soulignant les limites du système manuel en place, notamment en matière de sécurité, d'hygiène et d'efficacité. Cette analyse approfondie permettra de bien comprendre les contraintes du terrain, et de justifier la nécessité de concevoir une solution automatisée et supervisée adaptée.

Dans le deuxième chapitre, « **Analyse fonctionnelle et conception** », nous entreprendrons une démarche méthodique d'analyse des besoins pour formuler un cahier des charges fonctionnel clair. À partir de cela, nous nous étudierons différentes solutions techniques avant de concevoir une architecture globale du système. Ce chapitre comprend aussi la modélisation mécanique de l'ensemble des modules de la chaîne notamment les convoyeurs, la station de découpe et la table tournante à l'aide du logiciel **SolidWorks**, en veillant à respecter les contraintes techniques, fonctionnelles et sanitaires du milieu agroalimentaire.

Le troisième chapitre, consacré à « **L'étude et le développement de la partie électrique** », traite le choix des composants électriques, de la conception de l'armoire de

distribution , ainsi que des schémas de câblage réalisés via le logiciel **EPLAN Electric P8**. Il aborde également les aspects liés à la sécurité électrique, à l'alimentation des équipements et à l'intégration des actionneurs et capteurs, en tenant compte des contraintes de l'environnement de production.

Dans le quatrième chapitre, intitulé « **Programmation de la solution** ». Cela comprend la programmation dans TIA Portal, l'adressage des E/S, la structure du programme, ainsi que la mise en place de la communication entre les automates. Ce chapitre couvre également la création d'une base de données pour l'enregistrement des mesures, et les étapes de simulation et de test avant l'implémentation finale.

Enfin, Le cinquième chapitre, intitulé « **Supervision et simulation** », est consacré au développement et à l'intégration des outils de supervision déployés pour assurer une surveillance en temps réel de la ligne automatisée. Il présente l'interface homme-machine (IHM) développée sous **WinCC** dans **TIA Portal**, qui permet à l'opérateur de visualiser les états des équipements, de contrôler les paramètres, d'interagir avec les actionneurs, de consulter les alarmes et les événements, et de gérer les utilisateurs selon des niveaux d'accès. En complément de cette supervision locale, une application mobile a été conçue avec **Node-RED**, accessible à distance via une connexion sécurisée. Cette interface mobile permet d'accéder aux données du système en temps réel, de visualiser les mesures (telles que le pH et le niveau) et de piloter manuellement certains composants.

# Chapitre I

# Étude de l'existance

# I.1 Introduction

Dans un environnement industriel en constante évolution, il est courant d'intégrer des solutions automatisées pour améliorer les performances. Cette tendance est particulièrement marquée dans le secteur agroalimentaire, où les enjeux de qualité, d'hygiène et de traçabilité sont d'une importance capitale.

L'objectif de ce chapitre est de présenter une vue d'ensemble du processus manuel actuel de retour des produits non conformes dans l'entreprise TCHIN-LAIT Candia, les limites qu'il impose à la productivité et à la qualité des produits, et les raisons pour lesquelles il est nécessaire de mettre en place un système automatisé.

# I.2 Présentation de l'organisme d'accueil

Fondée en 1999 par M. Fawzi Berkati, Tchin-Lait est une société privée algérienne née de la reconversion de l'ancienne limonaderie familiale Tchin-Tchin, établie à l'entrée de Béjaïa. Initialement spécialisée dans les boissons gazeuses pendant plus de 40 ans, l'entreprise s'est orientée vers les produits laitiers pour répondre à la demande croissante du marché algérien.

Grâce à un partenariat avec la marque française Candia, Tchin-Lait a introduit en mai 2001 le premier lait UHT (Ultra Haute Température) en Algérie, marquant une innovation majeure avec des produits à longue conservation. La gamme comprend du lait blanc (entier, demi-écrémé, Viva et Silhouette), du lait chocolaté Candy Chocolat, ainsi que des boissons et jus de fruits sous licence Candia.

Pour renforcer sa capacité de production, Tchin-Lait a racheté en 2015 la Générale Laitière Jugurtha (GLJ) à Baraki (Alger), un site de 30 000 $m^2$ employant plus de 300 personnes. La fusion des deux entités a donné naissance en 2017 à la SPA Tchin-Lait, consolidant ainsi sa position sur le marché national.

Dans le cadre de ses activités, l'organisme d'accueil développe et commercialise une large gamme de produits laitiers répondant aux besoins variés des consommateurs. Parmi les produits proposés, on peut citer notamment

- **Laits blancs**
- **Laits aromatisés**
- **Laits et jus**
- **Boissons aux fruits**

## I.2.1 les Organigrammes

Afin de mieux comprendre la structure de l'entreprise, nous présentons sur la figure I.1 l'organigramme de l'organisation de la production au niveau du site de Baraki. Celui-ci met en évidence les différentes fonctions ainsi que la hiérarchie en place dans le cadre des activités de production.

La Figure I.1 illustre cette structure organisationnelle, permettant d'avoir une vision claire de la répartition des responsabilités au sein de ce site.

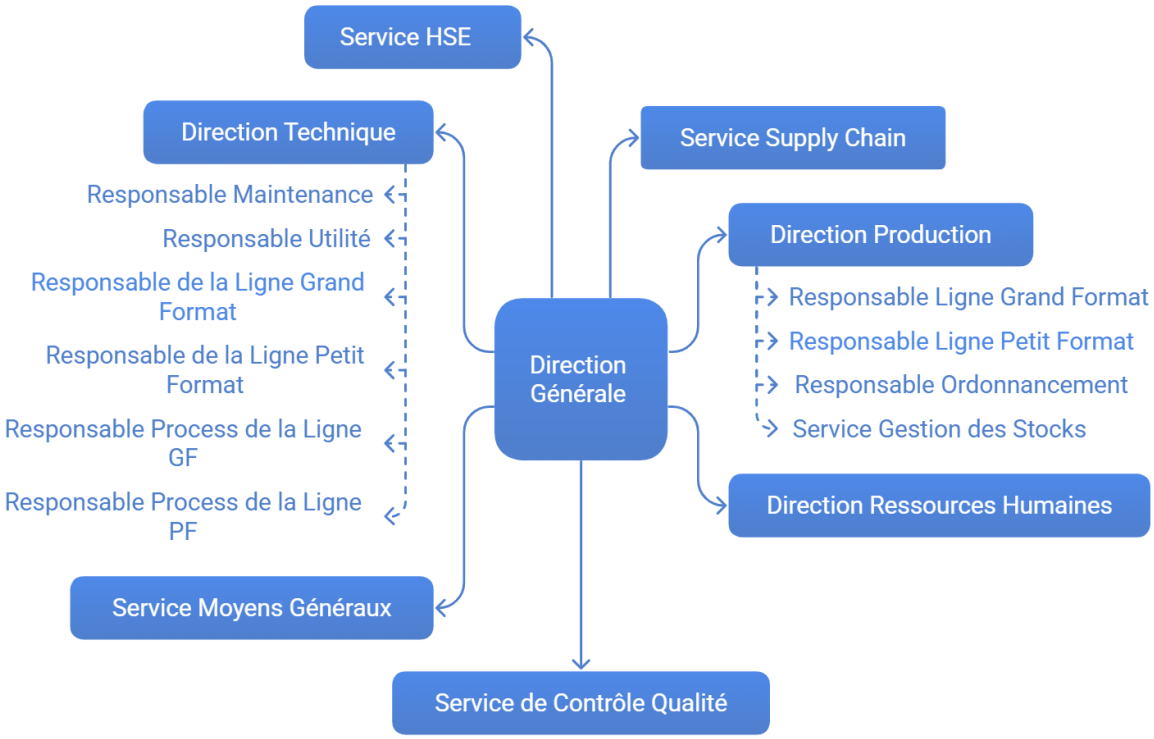



FIGURE I.1 – Organigramme de la direction générale de l'unité de production de Baraki

## I.3 Présentation du processus de production

La production des laits UHT de Tchin-Lait dépend de la maîtrise stricte des 5M (Matériels, Matières, Main-d'œuvre, Méthodes, Milieu) pour garantir la qualité et la sécurité alimentaire. Chaque processus est soumis à des protocoles rigoureux de nettoyage en place et de désinfection, assurant ainsi un environnement en harmonie avec les règles d'hygiène. Cette stratégie complète permet de :

— Optimiser les ressources (eau de process, énergie)
— Minimiser les risques (CCP pour la stérilisation, contrôles visuels)
— Conserver la traçabilité.

La figure I.2, illustre de manière synthétique le fonctionnement global du système de production automatisé, en représentant les principales étapes du processus.

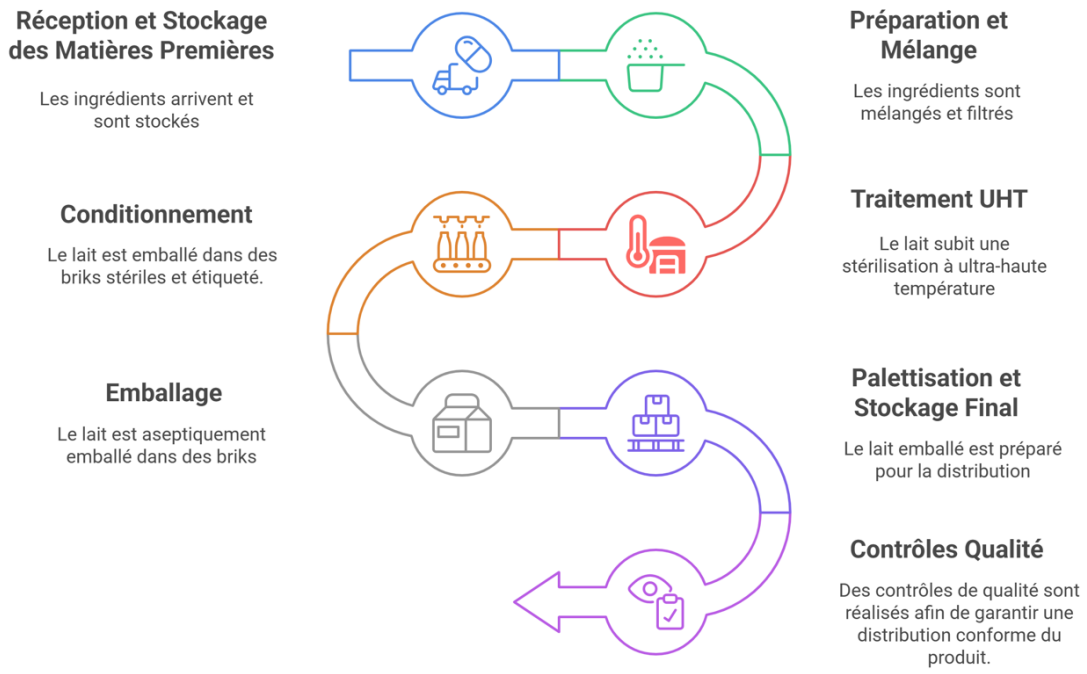



FIGURE I.2 – Schéma de fonctionnement global du système dans l'unité de production

Nous décrirons ci-dessous les étapes clés, depuis la réception des matières premières jusqu'au conditionnement final.

### I.3.1 Réception des matières premières

L'usine reçoit et contrôle les ingrédients de base comme la poudre de lait, le sucre, les arômes et les vitamines. Ces matières premières sont stockées dans des zones spécifiques selon leurs caractéristiques pour en préserver la qualité.

- **Entrée des matières** Poudre de lait (PDL), sucre, cacao, colorants, arômes, vitamines, EMEI et consommables
- **Contrôle qualité** Vérification systématique à la réception
- **Stockage** Conservation dans des conditions contrôlées (température, humidité)

### I.3.2 Préparation du mélange

Les ingrédients sont pesés et mélangés avec de l'eau purifiée selon des recettes précises. Le mélange passe ensuite par une filtration rigoureuse pour éliminer toute impureté avant l'étape d'homogénéisation.

- **Reconstitution**
  - Vidage des sacs de PDL et mélange avec de l'eau de process.
  - Filtration (Filter_FP) pour éliminer les impuretés.
- **Homogénéisation**
  - Préchauffage à 78°C et dégazage sous vide (-0,74 bar).
  - Homogénéisation en deux étapes (200 bar puis 50 bar).
  - Stabilisation des protéines à 95°C pendant 60 secondes

### I.3.3 Traitement UHT

Le mélange subit un traitement thermique ultra-rapide (UHT) à 140-143°C pendant quelques secondes. Ce procédé élimine les micro-organismes tout en préservant les qualités nutritionnelles et gustatives du lait.

- **Stérilisation (CCP 3)**
  - Lait blanc et aromatisé : 140°C pendant 4 secondes.
  - Lait Candy Chocolat : 143°C pendant 15 secondes.
- **Refroidissement (CCP 4)**
  - Refroidissement immédiat après UHT.
- **Stockage Temporaire**
  - Conservation dans des tanks stériles à 19–28°C.

### I.3.4 Conditionnement aseptique

Le lait stérilisé est emballé dans des briks préalablement stérilisés au peroxyde d'hydrogène. Des machines automatiques remplissent, scellent et étiquettent les emballages dans un environnement contrôlé.

- **Préparation des étuis**
  - Dépilage des cartons, stérilisation au peroxyde d'hydrogène et formage des boites.
- **Remplissage**
  - Remplissage aseptique des boites avec le lait UHT.
  - Soudage des sommets et des cornes.
- **Étiquetage**
  - Application d'étiquettes (Logitrack) et banderolage.

### I.3.5 Palettisation et Stockage Final

Avant d'être palettisés et stockés, les produits passent par une étape d'emballage secondaire, essentielle pour assurer leur protection et leur manutention. Cette étape regroupe plusieurs opérations visant à regrouper et conditionner les produits de manière pratique et sécurisée pour le transport. Parmi ces opérations, on distingue notamment :

- **Emballage secondaire**
  - Mise en barquettes (pour les pailles et bouchons) et film rétractable.
- **Palettisation**
  - Arrangement des boites sur palettes en bois avec intercalaires.
  - Banderolage pour stabilisation.
- **Stockage**
  - Transfert vers le magasin des produits finis (PF), prêts pour la distribution.

### I.3.6 Contrôle qualité et stockage

Chaque lot subit des tests microbiologiques et organoleptiques. Les produits conformes sont palettisés, enveloppés dans un film protecteur et stockés dans l'entrepôt à température ambiante avant expédition.

### I.3.7 Expédition vers les distributeurs

Les palettes sont chargées dans des camions pour être livrées aux grossistes et grandes surfaces à travers le pays, garantissant ainsi une large disponibilité des produits.

## I.4 Récupération des boites non conformes

Dans le fonctionnement global du processus de production, certaines stations ont un rôle particulier à jouer dans la manipulation interne des produits. Au cours de la production, il arrive que certaines boites de lait ou de jus soient détournées de la ligne principale pour diverses raisons. Ces unités, qui ne peuvent être intégrées dans le circuit régulier d'expédition aux clients, sont considérées comme non conformes. En fin d'équipement de traite de ces produits, une station de récupération a été implantée en aval de la ligne de conditionnement.

### I.4.1 Origine et nature des boites non conformes

Lors du processus de conditionnement, il peut arriver que certaines boites de lait ou de jus soient écartées de la chaîne principale en raison de défauts constatés lors des différentes étapes de fabrication ou de manipulation. Ces défauts, qu'ils soient de nature mécanique, technique ou hygiénique, rendent les produits inappropriés pour la commercialisation en raison de leur non-conformité aux normes de qualité exigées par l'entreprise.
Les principales causes de non-conformité peuvent être regroupées comme suit :

- Problèmes de forme ou écrasement des boîtes
- Défauts de remplissage (quantité insuffisante ou excessive)
- Erreurs d'étiquetage (étiquette absente, mal placée ou incorrecte).
- Bourrage sur la ligne de production.
- Décalage ou mauvaise fermeture des bouchons.
- Boîtes échantillons extraites de la chaîne pour tests de qualité (bonne fermeture des bouchons, conformité de l'emballage, ou contrôle de la qualité du produit).
- mauvaise application de paille (mal positionnée ou absente)

Ces anomalies peuvent survenir à divers moments de la chaîne de production et concernent à la fois les formats standards et les petits formats. Elles exigent une séparation immédiate des boites concernées pour les empêcher d'atteindre l'étape de palettisation ou d'expédition.

### I.4.2 La station de récupération actuelle

Dans le cadre de la gestion des produits non conformes, l'entreprise est équipée d'une station de récupération manuelle qui est intégrée à la fin de la ligne de production. Cette station est dédiée exclusivement au travail sur les boites qui sont considérées comme non conformes, en vue de récupérer le liquide contenu, pour lequel l'on doit exercer des contraintes d'hygiène et de sécurité.
Le fonctionnement de cette gare repose principalement sur l'intervention humaine. Lorsque une charge de boites est déviée de la ligne maîtresse, un agent polyvalent est chargé de manipuler manuellement les boites accumulées. Avant de procéder à la découpe, il

existe un dispositif de nettoyage par projection (cracheur) des boites afin d'en nettoyer les surfaces, et d'éliminer tout ce qui éventuellement serait un contaminant extérieur ou salissure apparente, afin de garantir un minimum d'hygiène avant ouverture.

La Figure I.3 illustre l'opération de nettoyage effectuée avant leur traitement.



FIGURE I.3 – l'opération de nettoyage des boîtes accumulées.

Après le nettoyage des boîtes, l'opérateur les coupe manuellement en les tirant vers le bord du bassin pour que le liquide s'écoule dedans. Comme cette tâche est répétée plusieurs fois, elle peut fatiguer physiquement et présenter des risques, surtout à cause de la manipulation à la main et de la proximité d'objets coupants.

Les figures I.4 et I.5 illustrent des éléments importants du processus manuel de récupération. La première montre le réservoir utilisé pour collecter le liquide provenant des boîtes non conformes. La seconde met en évidence le bord du bassin, là où l'opérateur manipule manuellement les boîtes. C'est à cet endroit qu'il frappe ou découpe les boîtes pour en extraire le contenu liquide, qui s'écoule ensuite directement dans le réservoir.



FIGURE I.4 – Procédure de coupe des boîtes non conformes.



FIGURE I.5 – Zone au bord du bassin où l'opérateur effectue la coupe manuelle.

Après avoir rempli le bassin, Un second opérateur effectue ensuite une mesure du pH sur un échantillon du produit récupéré, afin de vérifier sa conformité selon les normes internes de qualité.

Le circuit de transfert est constitué d'une seule canalisation, équipée de trois éléments principaux, une vanne de sélection, un filtre et une pompe. Selon le résultat du test :

- Si le produit est non conforme, la vanne de rejet est ouverte, ce qui permet d'évacuer directement le liquide vers le circuit d'élimination, sans qu'il ne passe par le filtre ni par la pompe.
- Si le produit est conforme, la vanne reste fermée, laissant ainsi le liquide passer à travers le filtre, puis être aspiré par la pompe, qui l'achemine ensuite vers la chaîne principale de production pour être réintroduit dans le cycle de conditionnement.

Afin de garantir l'hygiène de la station, un système de Nettoyage En Place (NEP) est intégré au niveau du bassin. Celui-ci est équipé d'un système de fermeture hermétique ainsi que d'une boule de lavage permettant la pulvérisation de solutions de nettoyage (acides, bases ou désinfectants) à l'intérieur du bassin. Cette opération de NEP est essentielle pour éviter toute contamination croisée entre deux cycles de récupération.

La Figure I.6 représente le bassin de récupération ainsi que les canalisations associées, illustrant le cheminement du liquide selon qu'il soit accepté ou rejeté.




FIGURE I.6 – Vue réelle de la station de récupération actuelle.

### I.4.3 Données et statistiques sur les produits non conformes

Les données présentées ci-dessous dans la table I.1 sont issues des relevés internes fournis par l'entreprise, portant sur une période représentative de l'activité de production. Elles concernent, d'une part, le nombre total de boîtes non conformes détectées en sortie de la chaîne principale, et d'autre part, le nombre de boîtes effectivement traitées et récupérées au sein de la station manuelle de récupération.

Ces informations permettent d'évaluer l'efficacité actuelle du système de traitement des non-conformités, ainsi que les pertes potentielles liées aux produits non récupérés. Le tableau I.1 résume les résultats des observations et travaux d'analyse réalisés dans ce cadre [2].

TABLE I.1 – Statistiques de production pour l'année 2024

| Format | Volume | Période | Conformes | Non conformes | Récupérées | Taux récup. (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Grand | 1 L | Mois | 4 215 934 | 37 521 | 30 000 | $\approx 80\%$ |
| | | Année | 56 451 043 | 524 995 | 420 000 | $\approx 80\%$ |
| | 0.5 L | Mois | 5 187 936 | 49 804 | 35 000 | $\approx 70\%$ |
| | | Année | 59 426 215 | 511 065 | 36 000 | $\approx 70\%$ |
| Petit | 200 mL | Mois | 8 619 920 | 101 715 | 45 000 | $\approx 45\%$ |
| | | Année | 100 831 446 | 988 148 | 44 500 | $\approx 45\%$ |
| | 125 mL | Mois | 8 396 893 | 102 442 | 5 000 | $\leq 0,05\%$ |
| | | Année | 110 180 037 | 1 134 857 | 56 000 | $\leq 0,05\%$ |

## I.5 Problèmes actuels rencontrés

Dans le cadre du processus de traitement des boites non conformes, l'entreprise utilise une station de récupération manuelle qui permet d'extraire le liquide des boites de jus rejetées de la ligne principale.

Ce processus dépend fortement de l'intervention humaine, notamment pour la manutention, le nettoyage, la découpe manuelle des boites et le contrôle de la qualité. Ce processus pose plusieurs problèmes :

- **Fatigue physique accrue** Les opérateurs réalisent des mouvements fréquents et répétés, ce qui peut générer des troubles musculo-squelettiques et dégrader leur performance à long terme.
- **Risques** Le cassage manuel des boites expose les travailleurs à des risques de blessures, notamment par la manipulation d'outils tranchants dans des conditions humides.
- **Conditions d'hygiène insuffisantes** Le contact direct avec les mains et les surfaces non nettoyés ne respecte pas les normes sanitaires de l'industrie alimentaire, même si les boites sont nettoyées avant d'être manipulées.
- **Faible productivité** le temps pour chaque boite est encore important, lié au travail humain, ce qui limite toute récupération globale.
- **Contrôle qualité tardif** Le test de pH n'est effectué qu'une fois que le réservoir de 500 litres est plein. Lorsque le produit est finalement jugé non conforme, l'ensemble du lot est gaspillé, ce qui entraîne une perte massive. Outre son manque d'efficacité, ce mode de fonctionnement retarde l'identification des non-conformités ainsi que la possibilité de réagir immédiatement en cas de problème.

## I.6 Conclusion

À la suite de l'étude du système de récupération des boîtes non conformes, plusieurs insuffisances sont apparues : les conditions de travail, la productivité faible, la traçabilité absente et le contrôle qualité tardif. Compte tenu des faiblesses constatées, l'automatisation de cette chaîne devient indispensable, l'installation d'une station automatisée intégrant les technologies adéquates apparaissant comme une évolution à apporter à ce processus, indispensable pour sa modernisation, essentielle pour sa sécurité, souhaitable pour l'obtention d'un bon niveau d'hygiène et opportune pour la gestion des produits non conformes.

# Chapitre II

# Analyse et conception

# II.1 Introduction

À la suite de l'étude de l'existant présentée dans le chapitre précédent, qui a permis d'analyser en détail le processus de production actuel et d'identifier les boîtes de produits non conformes rejetées en sortie de chaîne pour diverses raisons (non-respect des normes, erreurs de conditionnement, défauts visuels, etc.), il a été mis en évidence que ces boîtes sont aujourd'hui traitées manuellement dans un processus de récupération peu efficace et non optimisé.

Ce second chapitre continue cette analyse en inscrivant cette démarche dans une approche méthodique d'analyse fonctionnelle et de conception d'une station automatisée de récupération. Il s'agit de remplacer le système manuel peu performant, à savoir la récupération manuelle, par un système automatisé de récupération convenant à la fois à un mode de travail hygiénique et à cette récupération rapide respectant les caractéristiques spécifiques du secteur agroalimentaire.

# II.2 Analyse fonctionnelle du système

Pour répondre aux limites identifiées dans le système actuel, une démarche d'analyse fonctionnelle s'impose afin de formaliser précisément le besoin de l'entreprise et poser les bases d'une solution automatisée adaptée. Cette méthode permet de traduire les attentes des utilisateurs sous forme de fonctions, afin d'orienter le développement d'une réponse technique cohérente et performante [3].

Comme illustré dans la figure II.1, l'analyse fonctionnelle se structure en deux volets complémentaires :

— **L'analyse fonctionnelle externe**, qui part des demandes utilisateur pour identifier les besoins et les traduire en *fonctions de service* (ou fonctions principales), décrivant ce que le système doit faire sans imposer de solution technique ;

— **L'analyse fonctionnelle interne**, qui décline ces fonctions de service en *fonctions techniques*, puis en *solutions concrètes* à mettre en œuvre lors de la conception et la réalisation du système.

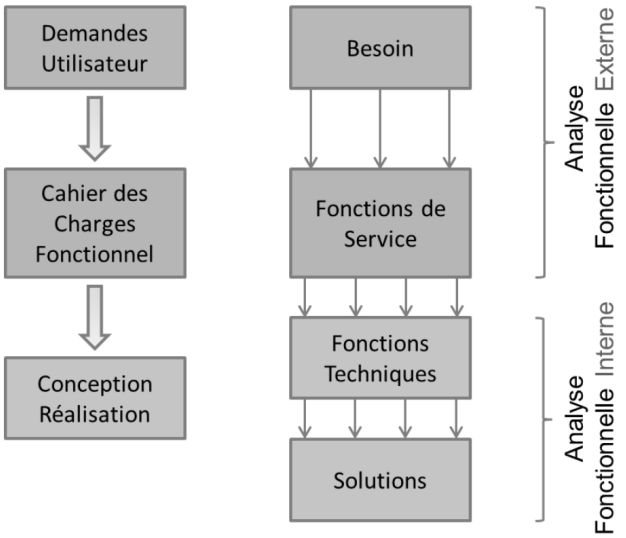



FIGURE II.1 – Représentation des étapes de l'analyse fonctionnelle

### II.2.1 Expression du besoin

La société qui est à l'origine de ce projet est la société Tchin-Lait Candia (Beraki) qui fabrique des produits laitiers et du jus. Actuellement, elle utilise un système manuel pour la récupération du contenu produit des boîtes non conformes en sortie de la chaîne principale. Cette manœuvre est exécutée par un ou plusieurs opérateurs et elle pose d'importantes limites.

D'abord, est lente et peu efficace, et génère un faible rendement et une forte variabilité selon les opérateurs. Ensuite, les conditions de travail sont difficiles : répétition des gestes, contact direct avec le produit, risque de blessure lors de la découpe manuelle. Enfin, cette opération ne peut répondre ni à des normes d'hygiène, ni à celles de traçabilité.

Face à ces constats, on sent chez l'entreprise le besoin d'un profond changement dans le processus de récupération, en concevant une station automatisée destinée à remplacer complètement cette récup manuel. Les principaux objectifs présentés sont :

— récupérer efficacement le liquide contenu dans les boîtes non conformes,

— automatiser l'ensemble des étapes : transport, découpe, vidange et évacuation,

— améliorer les conditions de travail en supprimant les gestes répétitifs et dangereux,

— assurer une traçabilité et une supervision du processus,

— intégrer le système dans l'espace existant de production.

Enfin, nous pouvons formuler **la problèmatique** du projet comme suit : comment créer une station automatisée capable de vider le contenu liquide des boites défectueuses de manière sûre, hygiénique, efficace et en harmonie avec le contexte industriel actuel.

### II.2.2 Cahier des charges fonctionnel (CCF)

Le cahier des charges fonctionnel définit l'ensemble des fonctions que le système doit assurer pour répondre aux besoins exprimés, tout en respectant les contraintes liées à son environnement d'exploitation. Il se compose des fonctions principales, qui traduisent les services attendus du système , et des fonctions contraintes, qui précisent les exigences à respecter [3]. L'ensemble de ces fonctions oriente les choix techniques et garantit la cohérence globale de la solution proposée.

**Fonctions principales (FP)** Les fonctions principales décrivent les besoins essentiels que le système doit satisfaire pour accomplir sa mission : récupérer, analyser et orienter les produits contenus dans les boîtes non conformes. Elles guident le choix des solutions techniques tout en assurant la conformité aux objectifs de performance et d'usage [4]. Ces fonctions sont résumées dans le tableau II.1.

Table II.1 – Fonctions principales du système

| **Réf.** | **Fonction** | **Critères de performance** |
|---|---|---|
| FP1 | Transporter les boîtes automatiquement | Temps de cycle $< 30$ s par boîte |
| FP2 | Orientation des boîtes | Guidage précis – arrêt automatique ajustable |
| FP3 | Découper la boîte sans abîmer le contenu | Découpe nette, sans éclaboussures |
| FP4 | Extraire le liquide des boîtes non conformes | Taux de récupération $\geq 95\%$, pas de fuite |
| FP5 | Évacuer les boîtes vidées | Rejet dans un bac dédié |
| FP6 | Test de conformité (pH) | La mesure du pH doit être automatique et fiable, avec une précision minimale de $\pm 0.05$. |

**Fonctions contraintes (FC)** Les fonctions contraintes définissent les limites et obligations à respecter lors de la conception du système. Elles concernent notamment la sécurité, l'hygiène, l'ergonomie, l'environnement de travail et la compatibilité avec les installations existantes. Ces contraintes doivent être prises en compte pour garantir la faisabilité et la durabilité du projet [4]. Ces contraintes sont présentées dans le tableau II.2.

TABLE II.2 – Contraintes fonctionnelles du système

| Réf. | Contrainte | Justification / Origine |
|---|---|---|
| FC1 | Respect des normes d'hygiène | Contact alimentaire avec le liquide récupéré |
| FC2 | Intégration dans l'espace de production | Encombrement limité à 20 $m^2$ |
| FC3 | Sécurité des opérateurs | Doit être équipé de capteurs et d'un arrêt d'urgence |
| FC4 | Coût global raisonnable | Budget imposé par l'entreprise |
| FC5 | Maintenance simple | Temps d'arrêt minimal, accès facile aux composants |

## II.2.3 Les Diagrammes d'analyse fonctionnelle

Dans le cadre de la démarche d'analyse fonctionnelle, il est essentiel d'identifier et de caractériser les besoins auxquels le système doit répondre. Afin de structurer cette réflexion, deux outils graphiques ont été mobilisés : le diagramme « bête à cornes » et le diagramme de pieuvre. Ces représentations permettent d'une part de formaliser le besoin exprimé en définissant clairement l'utilisateur, la matière d'œuvre et le but recherché ; et d'autre part, de représenter les interactions fonctionnelles entre le système étudié et son environnement. Elles constituent une étape fondamentale pour aboutir à un cahier des charges fonctionnel cohérent et complet [4].

### II.2.3.1 Diagramme de la bête à cornes

Le diagramme de la bête à cornes est un outil de l'analyse fonctionnelle qui permet de formuler clairement le besoin auquel le système doit répondre. Il structure les attentes de l'utilisateur en répondant à trois questions essentielles : Qui a besoin du système ? Sur quoi agit-il ? Dans quel but ? [5].
Le schéma suivant illustre cette démarche appliquée à notre système comme le montre la figure II.2.

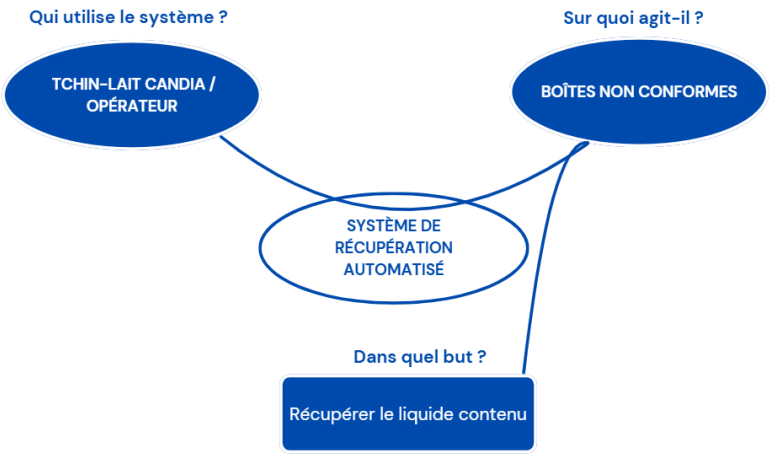



FIGURE II.2 – Diagramme de la bête à cornes

### II.2.3.2 Diagramme pieuvre

Le diagramme pieuvre permet d'identifier les interactions entre le système étudié et son environnement. Il met en évidence les fonctions principales et contraintes, en illustrant les relations entre le système et les éléments externes (utilisateur, énergie, produits, environnement, etc.) [6]. La figure II.3 présente le diagramme pieuvre associé à notre système :

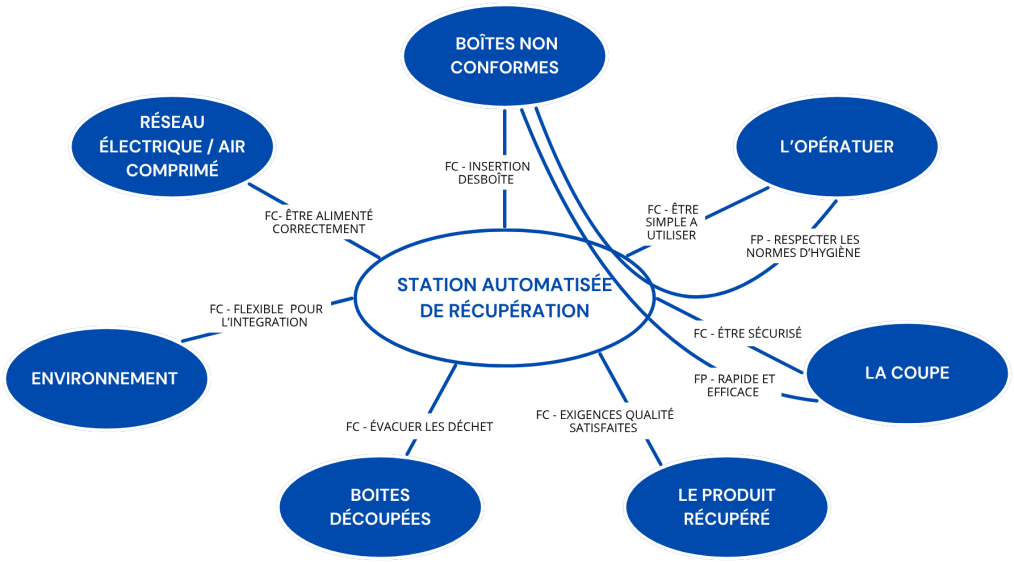



FIGURE II.3 – Diagramme pieuvre

## II.2.4 Choix de la solution technique

Afin de concevoir une station automatisée efficace pour la récupération des produits contenus dans les boîtes non conformes, plusieurs solutions techniques ont été envisagées. L'objectif était de garantir un fonctionnement automatique, hygiénique, sûr et compatible avec les contraintes de l'environnement industriel de l'entreprise Tchin-Lait Candia Beraki.

**Étude des différentes alternatives :**

Lors de la phase d'analyse des solutions possibles pour la récupération du produit contenu dans les boîtes non conformes, plusieurs approches ont été envisagées.

Dans **un premier temps**, une possibilité était de recourir à un système de pressage s'inspirant des presses industrielles, capable d'appliquer la force nécessaire pour assurer un éclatement total des boîtes, Cette méthode offrait l'avantage d'une extraction rapide du liquide,sans nécessiter de découpe mécanique, ce qui était supposé en faciliter l'exécution. Mais cette solution posait un problème hygiénique majeur, l'écrasement aboutissait à un effondrement des boîtes et à un contact direct entre le produit et l'encre, présente sur l'enveloppe extérieure. Un risque de contamination du liquide le rendait présumé non conforme à l'exigence sanitaire du secteur agroalimentaire.

**Une deuxième alternative** est alors explorée : le couplage d'un petit moteur à un disque rotatif tranchant monté sur un vérin linéaire, pour agir comme une sorte de mini tronçonneuse, permettant ainsi de réaliser des coupes nettes et régulières dans le matériau en fonction des nécessités des boîtes.

Ce dispositif a montré de bonnes performances techniques, en matière de qualité de coupe, mais souffrait de deux défauts significatifs : d'un côté un temps de cycle plus long à respecter en raison du temps de rotation et d'enfoncement du disque, de l'autre une plus grande complexité mécanique avec un entretien plus fréquent et une maintenance plus délicate, rien de ce qui ne cadre avec les objectifs du projet.

**Finalement,** la solution sélectionnée repose sur une approche combinée qui s'articule autour d'un compactage partiel, uniquement pour stabiliser la boîte, et d'une découpe centrale par lame fixe entraînée par un vérin linéaire qui porte une lame.

**Comparaison et justification de la solution retenue :** Pour garantir le respect de la conformité sanitaire du produit tout en assurant un traitement efficace, la solution retenue s'appuie sur une solution combinée : un compactage partiel des boîtes à vocation uniquement stabilisation, et une découpe centrale contrôlée.

Ce choix présente plusieurs avantages :

— Préservation de l'hygiène, en évitant le contact du produit avec l'extérieur souillé de la boîte,

— Coupe propre et dirigée, facilitant l'écoulement total du liquide,

— Adaptabilité, avec un mécanisme de coupe ajustable selon la taille des boîtes,

— une maintenance accessible et un coût raisonnable.

En somme, cette solution s'est imposée comme la plus fiable et la plus conforme aux exigences du projet, tant en matière de qualité que d'automatisation.

## II.3 Architecture fonctionnelle du projet

L'architecture fonctionnelle du système présenter dans la figure II.4 est organisée selon une structure hiérarchique en quatre niveaux, représentée sous forme pyramidale. Cette organisation permet de clarifier la répartition des fonctions entre les différents sous-systèmes, du niveau opérationnel (terrain) jusqu'au niveau décisionnel (management). Chaque couche communique avec la couche adjacente selon un mode de communication spécifique et un rôle bien défini.

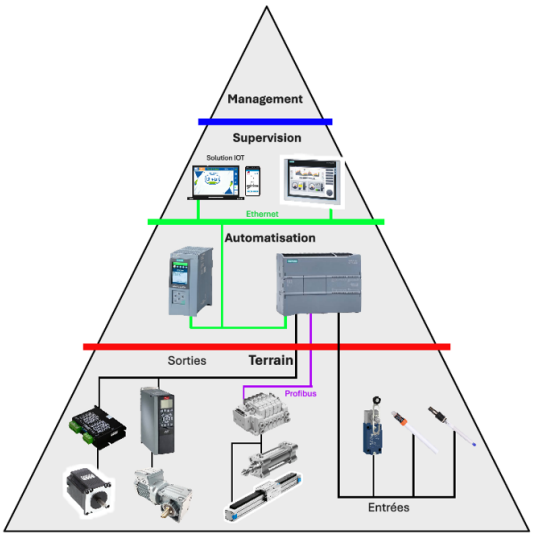



FIGURE II.4 – Architecture fonctionnelle du projet

**1. Niveau terrain** Le niveau terrain regroupe l'ensemble des capteurs et actionneurs physiques connectés au système. Il s'agit notamment :

- des capteurs analogiques et TOR (niveau, pH, fins de course, détecteurs de présence) ;
- des moteurs (asynchrones et pas à pas) et de leurs drivers ;
- des électrovannes pilotant les vérins pneumatiques.

Ces éléments permettent de collecter les données du processus et d'exécuter les actions physiques sur la machine. Ils sont reliés à l'automate via les entrées et sorties numériques et analogiques.

**2. Niveau automatisation** Ce niveau constitue le cœur du système. Il est assuré par l'automate Siemens `S7-1215C`, chargé du traitement des signaux, de la prise de décision logique et du pilotage des actionneurs. Il est également responsable de la communication avec les autres équipements (comme les variateurs ou l'IHM) et de l'exécution séquentielle des cycles automatisés.

**3. Niveau supervision** Ce niveau est représenté par l'interface homme-machine (IHM), qui permet à l'opérateur de surveiller le fonctionnement du système, d'ajuster les paramètres, de lancer des cycles et de visualiser les états des entrées/sorties. L'IHM est connectée à l'automate via une liaison `Ethernet`, ce qui permet un échange rapide et efficace des données.

**4. Niveau management** Le niveau management n'est pas entièrement implémenté dans le cadre du présent projet, mais il peut accueillir à terme des outils de traçabilité, de reporting ou d'interconnexion. Ce niveau permet de superviser l'ensemble du processus de manière globale, à l'échelle d'une unité de production.

## II.4 Conception de la station

Pour répondre aux besoins de récupération automatisée des produits contenus dans les boîtes non conformes, une conception méthodique et modulaire de la station a été élaborée. Cette conception vise à optimiser les flux, garantir la qualité du produit récupéré et minimiser l'intervention humaine. Elle s'appuie sur une analyse fonctionnelle précise et intègre des solutions techniques adaptées aux contraintes spécifiques du projet.
Pour assurer la précision et la fiabilité de cette conception, le logiciel **SOLIDWORKS** a été utilisé. Ce puissant outil de modélisation 3D permet non seulement de construire virtuellement la chaîne dans ses moindres détails, mais aussi de visualiser son fonctionnement global avant la phase de fabrication. Grâce à **SOLIDWORKS**, il est possible d'anticiper et de corriger les éventuelles incompatibilités mécaniques ou problèmes d'intégration, ce qui réduit considérablement les risques d'erreurs lors de la réalisation physique.




FIGURE II.5 – Logo officiel du logiciel SOLIDWORKS.

### II.4.1 Présentation générale du système

Le système développé a pour objectif d'automatiser la récupération des produits contenus dans les boîtes non conformes issues de la chaîne principale de production.

Après un nettoyage manuel initial, les boîtes sont prises en charge par un ensemble de convoyeurs permettant leur acheminement vers une station de découpe. À la sortie de cette station, le produit est récupéré, analysé, puis orienté soit vers une réintégration dans le processus, soit vers un rejet contrôlé. L'architecture du système est resumé sur la figure II.6

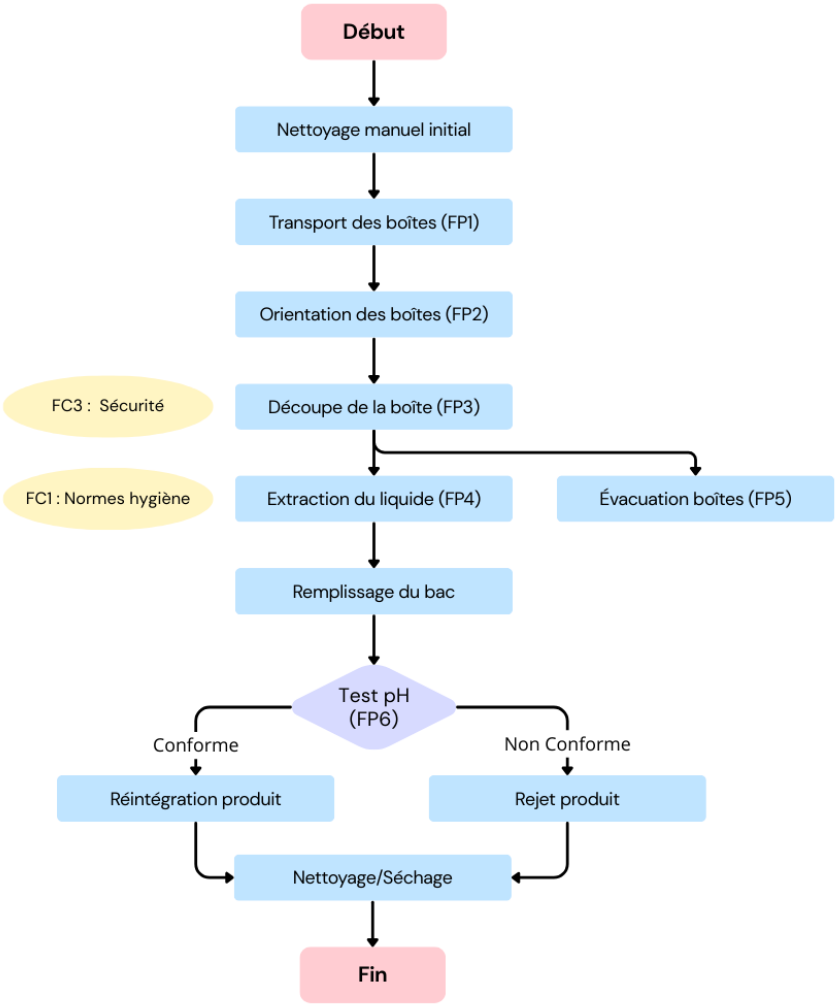



FIGURE II.6 – Organigramme fonctionnel de la station automatisée de récupération de produit

Le système est structuré autour de plusieurs modules :

— Ensemble de convoyeurs d'alimentation et d'orientation ,
— Station de compactage et de découpe ,
— Station de test et de récupération du produit,
— Supervision et contrôle automatisés.

Cette solution permet d'assurer une récupération efficace, rapide et fiable, limitant autant que possible les interventions humaines au strict nécessaire.

### II.4.2 Étude des sous-systèmes

La station automatisée est composée de plusieurs sous-systèmes fonctionnels qui interagissent pour assurer la récupération, l'analyse et le tri des produits issus des boîtes non conformes. Chaque sous-système joue un rôle bien défini dans la chaîne globale, depuis l'acheminement initial des boîtes jusqu'à la supervision finale. L'étude détaillée de ces modules permet de mieux comprendre leur structure, leur fonctionnement, ainsi que leur intégration dans l'ensemble du système.

#### II.4.2.1 Module d'alimentation et d'orientation – Convoyeurs

Ce module gère le transport initial des boîtes depuis la zone opérateur jusqu'à la station de découpe. Il se compose de trois convoyeurs successifs représenté dans la figure II.7 :

— **Convoyeur 1** : assure la prise en charge des boîtes. Il fonctionne à faible vitesse pour absorber un flux dense de boîtes tout en évitant les blocages et les accumulations.

— **Convoyeur 2** : légèrement plus rapide, il crée un espacement entre les boîtes pour améliorer le contrôle du flux.

— **Convoyeur 3** : placé perpendiculairement, il oriente les boîtes dans une position précise en vue de la découpe. Il est équipé de guides et d'un système d'arrêt ajustable.

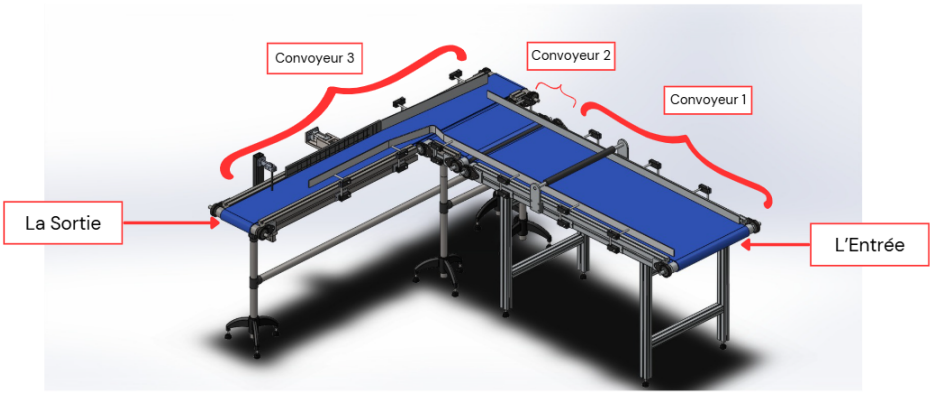



FIGURE II.7 – Vue d'ensemble des trois premiers convoyeurs

#### II.4.2.2 Station de compactage et de découpe

Cette station permet la préparation des boîtes par compactage, suivie d'une découpe centrale afin d'assurer l'écoulement complet du liquide.

— **Structure** : un châssis en acier inoxydable supporte les vérins, les guides et les outils de coupe.

— **Vérins de compactage** : réduisent le volume des boîtes avant découpe, facilitant l'écoulement du produit.

— **Vérin linéaire + lame** : effectue une coupe nette au centre de la boîte. Le mécanisme est ajustable selon le format de la boîte (petit ou grand).

— **Cuvette de récupération** :installée sous la zone de découpe, elle canalise le liquide vers la vanne de remplissage.

Les figures II.8 et II.9 présentent la station de découpe modélisée sous SOLIDWORKS. La figure 1.8 montre une vue générale de l'ensemble, tandis que la figure 1.9 propose deux vues détaillées illustrant la disposition des vérins et de la lame utilisés pour la découpe des boîtes.

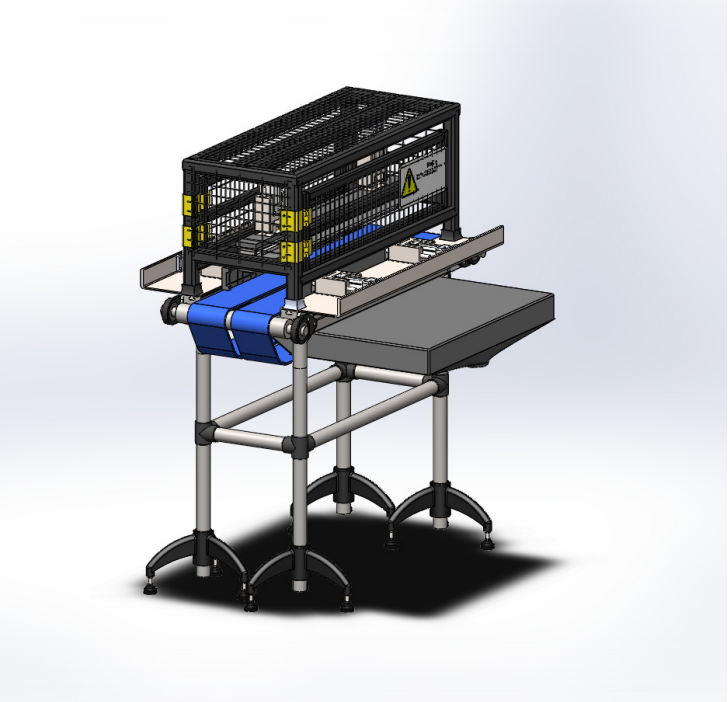
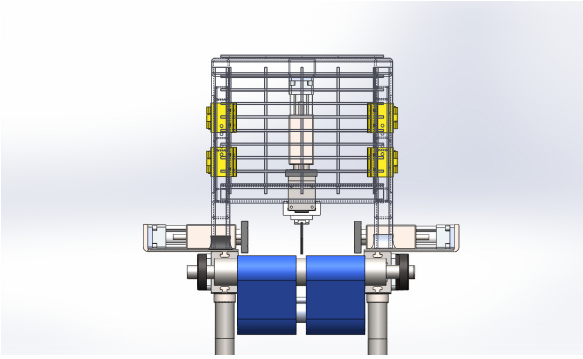
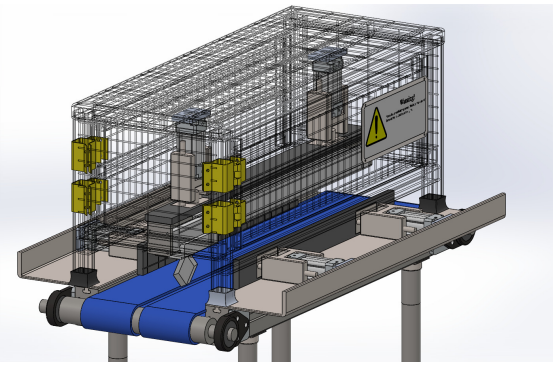


FIGURE II.8 – Station de découpe modélisée sous SOLIDWORKS.



(a) Vue de face de la station de découpe.



(b) vue de côté de la station de découpe.

FIGURE II.9 – Différentes vues de la station de découpe sous SOLIDWORKS

#### II.4.2.3 Station de récupération – Plateforme tournante

La plateforme tournante est constituée de six positions réparties selon les étapes du cycle de récupération du produit comme illustré dans les figures II.10 et II.11 :

1. **Remplissage** : le liquide s'écoule dans le bac via une vanne commandée. Un capteur de niveau vérifie en temps réel que le bac est correctement rempli. Lorsque le niveau requis est atteint, la vanne se ferme automatiquement.

2. **Test de pH** : le pH du produit est analysé afin d'évaluer sa conformité. Selon le résultat, le contenu du bac est soit réintégré dans le circuit de production, soit dirigé vers le rejet.
3. **Récupération de produit conforme** : si le produit est conforme, la vanne s'ouvre pour permettre sa réintégration dans le circuit.
4. **Rejet de produit non conforme** : si le produit n'est pas conforme, la vanne de la position 3 n'a pas été ouverte. Elle s'ouvre à ce moment pour diriger le produit vers le système de rejet.
5. **Nettoyage du bac** : lavage automatique.Pour ce faire, une boulle de lavage est introduite dans la cuve au moyen d'un vérin, ce qui facilite l'injection à haute pression d'eau et de produits de nettoyage. Cet équipement garantit un nettoyage efficace et uniforme des surfaces intérieures du réservoir avant de passer à l'étape suivante.
6. **Séchage** : Le processus de séchage du bac est initié automatiquement suite à l'étape de nettoyage, à l'aide d'un vérin qui abaisse une boule de soufflage pour projeter de l'air sous pression à l'intérieur du bac

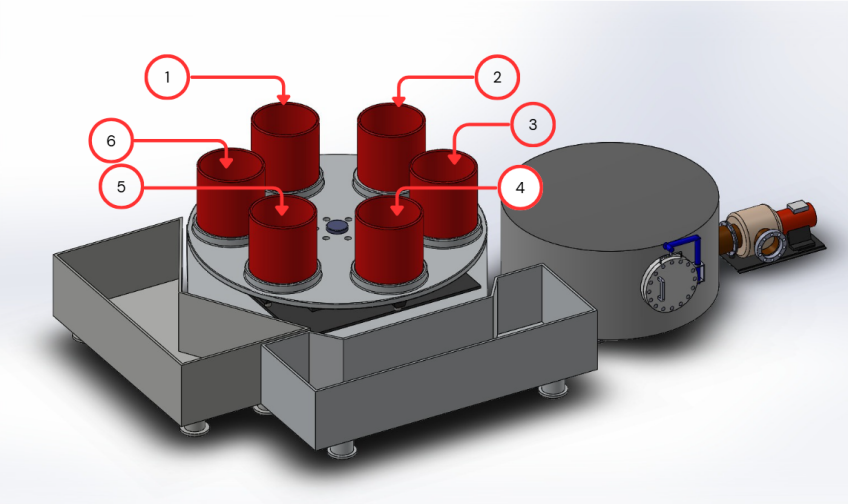



FIGURE II.10 – Vue générale de la plateforme tournante (6 bacs de 20 L)

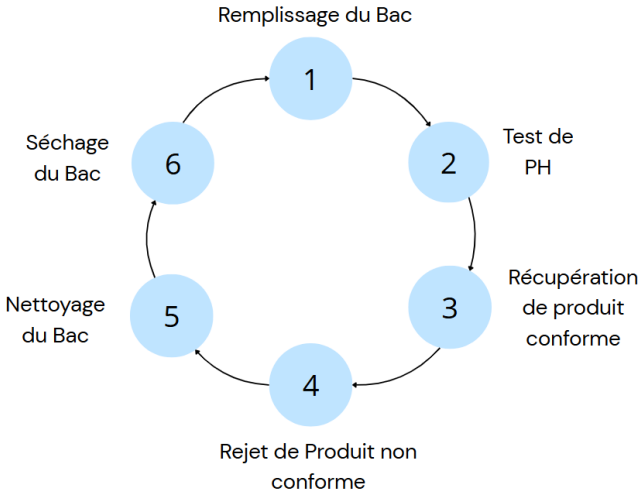



FIGURE II.11 – Schéma descriptif de la plateforme tournante

Après avoir étudié en détail chaque sous-système composant la station, la figure II.12 présente la vue d'ensemble de l'ensemble des modules assemblés, illustrant leur intégration et leur interaction au sein du système complet.

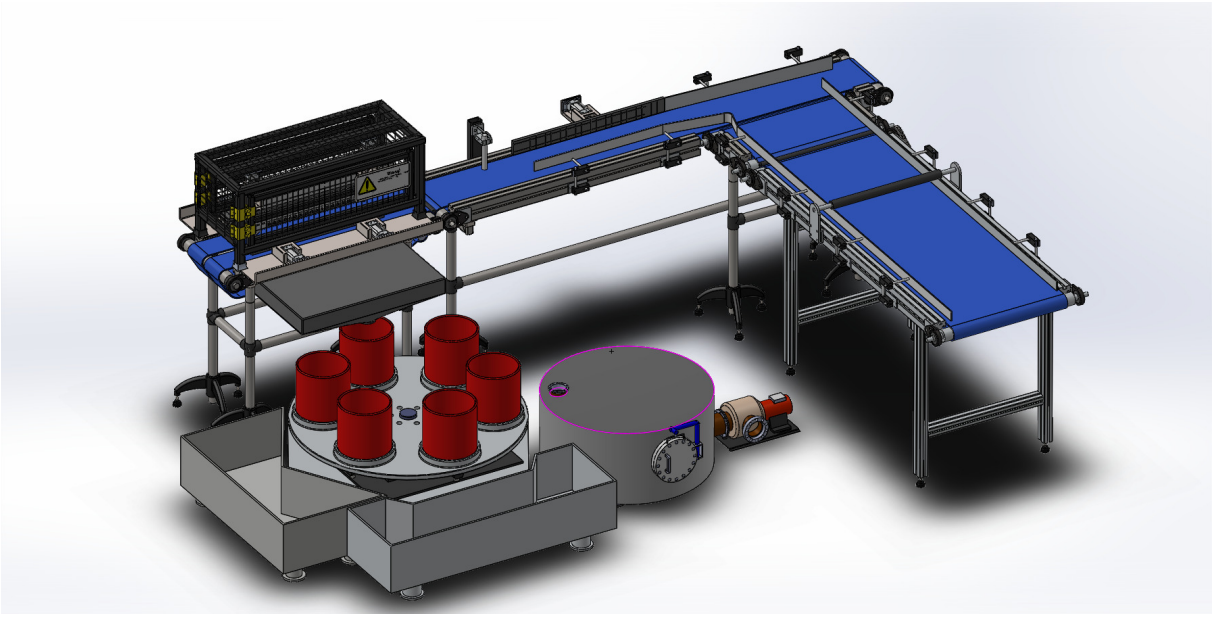


FIGURE II.12 – Vue d'ensemble de systéme sous SOLIDWORKS

## II.5 Choix des matériaux et composants

Cette partie a pour objectif de présenter et justifier les composants matériels retenus pour la réalisation de la chaîne automatisée. Le choix de chaque élément est guidé par l'analyse fonctionnelle, les contraintes techniques du système et les critères de performance.

### II.5.1 Les Actionneurs

L'actionneur est défini comme un dispositif assurant la conversion d'une forme d'énergie en un mouvement ou une force mécanique. Il est un élément fondamental pour de nombreux systèmes automatisés et ce, dans des domaines multiples : l'automatisme, la robotique, les énergies renouvelables ou l'industrie manufacturière. Son rôle est de contrôler ou d'agir dans un processus automatisé. Différentes formes existent sous des fonctions et pour des environnements variés [7].

#### 1. Les Moteurs

Dans le cadre de notre système automatisé, deux types de moteurs ont été sélectionnés en fonction des besoins fonctionnels de chaque module : un moteur asynchrone triphasé pour les déplacements continus et un moteur pas à pas pour les positionnements précis.

— **Moteur asynchrones avec réducteur :** Le choix du moteur asynchrone a été porté sur le modèle WA20 DT63L4 de SEW Eurodrive , pour sa robustesse et sa compatibilité avec les variateurs de fréquence [8]. Dans notre système, trois moteurs de ce type sont utilisés, chacun étant dédié à l'entraînement d'un des trois premiers convoyeurs. Cette configuration permet un contrôle indépendant et précis du déplacement des boîtes tout au long du processus de traitement.

Le tableau II.3 montre les principales caractéristiques techniques du moteur asynchrone utilisé dans notre système afin d'expliquer ses performances et justifier son choix.

TABLE II.3 – Spécifications du moteur Asyn

| **Caractéristique** | **Détail** |
|---|---|
| Référence | W20-DT63L4B03 |
| Puissance nominale | 0,25 kW |
| Tension d'alimentation | 220/380 V AC |
| Courant nominal | 1,25 A / 0,73 A |
| Vitesse nominale | 1600 tr/min |
| Poids approximatif | 9,5 kg |
| Type de réducteur associé | Réducteur à roue et vis sans fin |
| Rapport de réduction utilisé | 1 :10 |
| Couple en sortie | 15 Nm |



FIGURE II.13 – Moteur SEW Eurodrive [8]

— **Moteur pas à pas :** Le moteur pas à pas 57HS13 a été retenu pour ce projet en raison de sa précision de positionnement, sa simplicité de commande et sa robustesse. Grâce à sa structure interne à aimant permanent et à ses pas bien définis, ce type de moteur permet un contrôle angulaire précis sans nécessiter de système de retour (boucle ouverte). Le modèle 57HS13, de taille NEMA 23, offre un bon compromis entre couple, encombrement et coût, ce qui le rend particulièrement adapté aux applications d'automatisation légère comme les systèmes de rotation ou de positionnement utilisés dans ce projet [9], ce moteur est utilisé pour entraîner le quatrième convoyeur, qui nécessite un déplacement précis des boîtes, ainsi que la table tournante.

TABLE II.4 – Spécifications du moteur pas à pas 57HS13

| **Caractéristique** | **Détail** |
|---|---|
| Type | Pas à pas bipolaire |
| Angle de pas | 1,8° (200 pas/tr) |
| Précision angulaire des pas | ±5% (Pas entier, à vide) |
| Couple de maintien | 1,8 Nm |
| Courant nominal | 4,0 A/phase |
| Tension d'alimentation | 12–48 V DC |
| Dimensions du cadre | 57 x 57 mm |
| Poids | 1,2 kg |



FIGURE II.14 – Moteur pas à pas

**2. Les Vérins :**

Deux types de vérins pneumatiques ont été sélectionnés en fonction des besoins spécifiques de chaque opération : un vérin linéaire sans tige utilisé exclusivement pour le mécanisme de coupe, et des vérins à tige assurant à la fois le compactage des boîtes et la sélection de la forme souhaitée. Les caractéristiques techniques et le choix des modèles seront détaillés dans les sections suivantes.

— **Vérin à tige :** Le vérin à tige, conforme à la norme ISO 15552 [10], est un actionneur pneumatique fiable, résistant à la corrosion et facile à entretenir, ce qui le rend particulièrement adapté aux environnements industriels exigeants comme l'agroalimentaire.

Dans notre projet, ce type de vérin est utilisé pour plusieurs fonctions essentielles. Il permet d'actionner les compacteurs de fixation afin de maintenir les boîtes en place pendant les opérations de découpe, et il est également responsable du déplacement vertical de la lame selon le type de produit à traiter.

Ses caractéristiques sont résumées dans le tableau ci-dessous et illustrées par la figure II.15.

Tableau : Caractéristiques du vérin pneumatique à tige

| **Caractéristique** | **Détail** |
|---|---|
| Norme | ISO 15552 |
| Alésage (Ø piston) | 63 mm |
| Course | 100 mm |
| Diamètre de tige | 20 mm |
| Pression de service | 1 à 10 bar |
| Vitesse de déplacement | 50 à 1000 mm/s |
| Amortissement | Pneumatique, réglable |
| Force théorique à 6 bar (extension) | 1870 N |
| Force théorique à 6 bar (rétraction) | 1580 N |



FIGURE II.15 – Vérin à tige pneumatique (ISO 15552)

— **Vérin linéaire :** Le vérin linéaire **Festo DGPL-KF-GK/-GV**, équipé d'un guidage à recirculation de billes a été choisi pour sa grande précision de déplacement, sa robustesse et sa capacité à encaisser les efforts transversaux et les couples. Le guidage intégré haute performance permet d'obtenir un mouvement linéaire fluide, stable et parfaitement aligné, adapté à tous les processus où la précision mécanique est requise[11]. Dans le cadre de notre projet, ce vérin est utilisé pour assurer le déplacement horizontal de la lame de découpe, permettant ainsi un mouvement contrôlé et répétable lors de l'ouverture des boîtes.

TABLE II.5 – Caractéristiques techniques du vérin linéaire

| **Caractéristique** | **Détail** |
|---|---|
| Type | Vérin pneumatique à double effet |
| Amortissement | Pneumatique réglable des deux côtés |
| Course | 1000 mm |
| Diamètre du piston | 32 mm |
| Pression de service | 2 à 8 bar (0.2 à 0.8 MPa) |
| Force théorique à 6 bar | 483 N (avance et recul) |



FIGURE II.16 – Vérin linéaire pneumatique

### II.5.2 Les Capteurs

Un capteur est un dispositif permettant de détecter une grandeur physique (comme la température, la pression, la lumière ou la position) et de la convertir en une autre grandeur, le plus souvent électrique, afin de la rendre exploitable. Il constitue l'élément de base de tout système de mesure ou de contrôle, en transformant une information physique en un signal utilisable pour le traitement, la surveillance ou la commande d'un processus.

#### 1. Capteur de pH

Le capteur de pH Polilyte Plus, conçu pour les environnements industriels, offre une mesure précise grâce à sa technologie à double jonction Single Pore, tout en évitant les colmatages. Sans maintenance et compatible avec les équipements standards [12], il est utilisé dans notre projet pour analyser le pH du liquide contenu dans les fûts en position 2 sur la table tournante, afin de déterminer la qualité du produit.

TABLE II.6 – Spécifications du capteur de pH

| **Caractéristique** | **Détail** |
|---|---|
| Type | Électrochimique |
| Plage de mesure | 0 à 14 pH |
| Précision | ±0.1 pH |
| Sortie | Signal analogique (0–5 V ou 4–20 mA) |
| Température de fonctionnement | 0–135 °C |
| Pression max | Jusqu'à 6 bar |
| Technologie de jonction | Double jonction Single Pore |
| Référence interne | Everef-L (longue durée) |



FIGURE II.17 – Capteur de pH Polilyte Plus

#### 2. Capteur de niveau

Le capteur de niveau permet de détecter la présence ou l'absence de liquide dans les bacs de test. Cette information est essentielle pour déclencher les analyses (niveau, pH) uniquement si le volume est suffisant. Le capteur retenu est de type capacitif, sans contact avec le liquide [13]. Il est utilisé notamment pour vérifier que le bac en position 1 contient suffisamment de liquide avant d'effectuer la mesure du pH.

TABLE II.7 – Spécifications du capteur de niveau LI5142

| **Caractéristique** | **Détail** |
|---|---|
| Principe de mesure | Capacitif |
| Sortie | Signal analogique 4–20 mA |
| Alimentation | 10–30 V DC |
| Plage de mesure | Jusqu'à 2 mètres |
| Matériau de la sonde | Acier inoxydable, plastique alimentaire |
| Température de fonctionnement | -25 °C à +85 °C |
| Indice de protection | IP67 |
| Type de montage | Filetage G1/2 ou G3/4 standard |
| Fabricant | IFM Electronic |



FIGURE II.18 – Capteur de niveau capacitif

### 3. Capteurs de fin de course

Le capteur de fin de course est un dispositif électromécanique permettant de détecter la position finale atteinte par un élément mobile (des vérins). Fonctionnant en tout ou rien, il nécessite un contact physique avec l'objet à détecter, ce qui actionne un contact électrique via un mécanisme interne .Ils jouent un rôle essentiel dans la synchronisation des actions de la chaîne automatisée, notamment pour :

- Assurer que les vérins ont atteint leur position avant de passer à l'étape suivante,
- Garantir la sécurité des mouvements mécaniques,
- Éviter les collisions ou les erreurs de timing.

Ces capteurs sont robustes, simples à intégrer, et très répandus dans les systèmes industriels automatisés [14].



FIGURE II.19 – Capteur de fin de course industriel

## II.6 Conclusion

Le travail d'analyse fonctionnelle approfondie et de démarche comparative des solutions techniques a permis de définir une architecture cohérente et bien structurée pour la station automatisée. En tenant compte des exigences d'hygiène, de sécurité, de performance et d'ergonomie, la solution retenue s'est révélée être la plus adaptée à la réponse aux besoins exprimés par l'entreprise.

La conception du système décomposée en modules logiques et fonctionnels offre une bonne modularité, une maintenance facilitée et une intégration harmonieuse dans l'intégration dans l'environnement de production existant. Ce travail constitue donc une bonne base pour la phase d'après sur la mise en œuvre, la programmation et tests de validation de l'ensemble de la chaîne automatisée.

# Chapitre III

# Étude et développement de la section électrique du systèmes

# III.1 Introduction

Ce chapitre est consacré à la conception électrique de la station automatisée de récupération de produits contenus dans des boîtes non conformes. Faisant suite à la phase de conception mécanique et fonctionnelle, cette étape vise à garantir un câblage structuré, une commande fiable et une alimentation sécurisée de l'ensemble des actionneurs, capteurs et organes de puissance. L'ensemble des travaux de conception a été réalisé à l'aide du logiciel professionnel **EPLAN Electric P8**, qui a permis de produire des schémas complets, normalisés et exploitables en atelier. Ce chapitre présente ainsi le choix des composants électriques, la conception des circuits de puissance et de commande, ainsi que les aspects liés à la sécurité électrique de l'installation.

# III.2 Choix des composants électriques

Le choix des composants électriques représente une étape prioritaire dans la conception d'un système automatisé. Chaque dispositif et outil doit remplir des contraintes techniques précises du type puissance, nombre d'entrées/sorties, communication avec d'autres appareils, sécurité, fiabilité, maintenance. Dans le projet en cours, les dispositifs retenus sont compatibles avec l'environnement de développement, disponibles dans l'industrie et intégrés dans l'architecture générale du système.

## III.2.1 Variateurs de fréquence

**a. Définition et rôle** Un variateur de fréquence est un dispositif électronique permettant de contrôler la vitesse de rotation et le couple d'un moteur asynchrone triphasé, en agissant sur la fréquence et l'amplitude de la tension d'alimentation. Ce type d'appareil est largement utilisé dans les installations industrielles pour optimiser les performances des moteurs, réduire les chocs mécaniques, limiter les consommations d'énergie et prolonger la durée de vie des équipements [15].

**b. Structure et Fonctionnement d'un variateurs de fréquence** Le variateur de fréquence se divise en deux parties principales :

- **La partie commande** Elle repose sur un microcontrôleur qui assure la gestion des signaux d'entrée et de sortie, tout en pilotant la partie puissance.
- **La partie puissance** Elle se compose de trois éléments fondamentaux :
  - **Le redresseur** : Il convertit la tension alternative sinusoïdale en une tension continue redressée à l'aide d'un pont de diodes.
  - **Le filtre** : Principalement constitué d'un condensateur, il permet de lisser la tension redressée en atténuant les ondulations résiduelles.
  - **L'onduleur** : Composé d'interrupteurs électroniques tels que des transistors, il transforme la tension continue en une tension alternative à fréquence variable, en utilisant la technique de la Modulation à Largeur d'Impulsion (MLI).

La figure III.1 illustre l'architecture générale d'un variateur de fréquence.

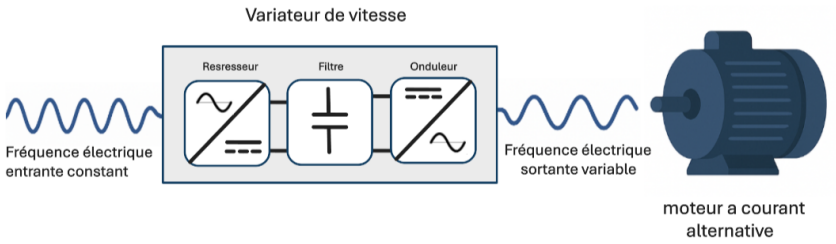



FIGURE III.1 – Structure et fonctionnement d'un variateur de fréquence

**c. Choix du modèle Danfoss VLT FC 302** Le variateur sélectionné pour cette application est le **Danfoss VLT FC 302**, qui présente de nombreuses fonctionnalités adaptées aux environnements industriels. Ce modèle offre :

- Une régulation vectorielle sans capteur, assurant un contrôle fluide du couple et de la vitesse ;
- Des bornes paramétrables en entrées/sorties pour un câblage flexible ;
- Des protections intégrées contre les surintensités, surtensions et surchauffes ;
- La possibilité de configurer des rampes d'accélération et de décélération personnalisées.

Le `FC 302` est utilisé dans cette station pour le contrôle des moteurs des convoyeurs et autres entraînements mécaniques. Il est commandé par l'automate à travers un relais d'interface pour l'ordre de démarrage, et une sortie analogique pour la consigne de vitesse. Cette solution permet un démarrage progressif des moteurs, une adaptation dynamique à la charge et une gestion optimisée de la consommation électrique [16].




FIGURE III.2 – Variateurs de fréquence Danfoss VLT FC 302

### III.2.2 Driver pour moteur pas à pas

Dans le cadre du projet, la précision de la rotation de la plateforme tournante affectée au tri des bacs de récupération est assurée par un moteur pas à pas associé à un driver spécifique. Il a été choisi d'utiliser le modèle **TB6600**, un driver à commande numérique fiable basée sur des signaux logiques standards, .

Ce driver OP s'alimente sous une tension continue de 12 V à 36 V, le courant de sortie étant réglable jusqu'à 4 A/phase ce qui le rend apte à piloter une large gamme des moteurs pas à pas à rotor pas à pas bipolaires notamment ceux de type NEMA 17 ou NEMA 23. Le driver dispose d'une interface de commande standard avec des signaux logiques de type **STEP**, **DIR** et **ENABLE,** faciles à piloter avec les sorties TOR de l'automate Siemens S7-1215C.assurant ainsi un contrôle précis de la vitesse et de la position de rotation de la plateforme [17].

**a. Caractéristiques techniques principales**

- Résolution maximale de **6400 pas par tour**, avec subdivision en 8 pas constants (micro-pas) pour une meilleure précision ;
- **Fréquence de réponse jusqu'à 200 kHz**, permettant un fonctionnement rapide et fluide ;
- **Réduction automatique de courant** après 1,5 s d'inactivité, pour limiter l'échauffement moteur ;
- Entrées opto-isolées et protection intégrée contre les surintensités, surchauffes (alarme à 80 °C) et mauvaises connexions moteur ;
- Signal d'entrée compatible 5 V sans résistance limitatrice, et déclenchement à front montant (rising edge).

**b. Principe de fonctionnement** Le pilotage du moteur s'effectue par l'envoi d'impulsions de commande (`STEP`) depuis l'automate. Chaque impulsion provoque un déplacement angulaire correspondant à un micro-pas du moteur, dont la valeur dépend de la résolution configurée. Le sens de rotation est défini par le niveau logique du signal `DIR`, tandis que l'activation du mouvement est conditionnée par le signal `ENABLE` [17].

Le schéma ci-dessous (Figure III.3) illustre la logique de fonctionnement :

- `ENABLE = 1` : le driver active la puissance vers le moteur ;
- `DIR = 0` : sens horaire ; `DIR = 1` : sens antihoraire ;
- `STEP` : chaque front montant correspond à un déplacement d'un micro-pas.

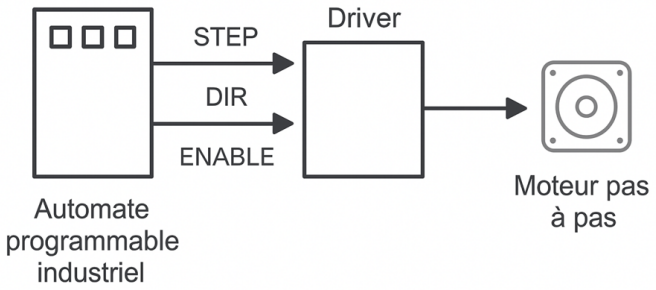



FIGURE III.3 – Connexion entre un API et un moteur pas à pas via un driver

Grâce à cette commande simple mais efficace, le système peut contrôler avec précision la position de la table tournante, en assurant un positionnement fiable des bacs successifs. De plus, la fonction de réduction automatique de courant permet de limiter l'échauffement du moteur lorsqu'il est à l'arrêt, tout en maintenant le couple de maintien.

La figure III.4 présente le driver numérique TB6600 utilisé pour le pilotage des moteurs pas à pas dans le système automatisé.




FIGURE III.4 – Driver TB6600 pour moteur pas à pas

### III.2.3 Les Electrodistributeurs

Un électrodistributeur permet de commander un vérin pneumatique en orientant le passage de l'air comprimé dans les différents orifices du distributeur. Le modèle **SMC SY3000**, que nous utilisons, est un distributeur 5/2 (5 orifices, 2 positions) commandé électriquement. Il est compact, rapide et parfaitement adapté à une intégration dans une île pneumatique communicante) [18].



FIGURE III.5 – Electrodistributeurs 5/2 – 5 orifices, 2 positions

Pour notre projet, ces électrodistributeurs sont commandés via un module déporté Profibus-DP (Decentralized Peripherals), permettant à l'automate de gérer les actions des vérins avec une haute réactivité.

### a. Transfert des données via PROFIBUS

Le protocole **PROFIBUS** (Process Field Bus) est un bus de terrain numérique conforme à la norme `IEC 61158`, permettant des échanges rapides et fiables entre un automate programmable et des périphériques déportés tels que des modules d'entrées/sorties ou des îlots d'électrovannes [19].




FIGURE III.6 – PROFIBUS (Process Field Bus)

Le système repose sur une **architecture maître-esclave** dans laquelle l'automate (maître) interroge successivement chaque esclave selon un cycle d'échange cyclique. Ce mode de fonctionnement garantit un pilotage déterministe des actionneurs à travers des communications sérielles de type `RS-485`.

Les données sont encapsulées dans des trames structurées comportant :

— L'adresse de l'esclave concerné (1 octet) ;
— Un champ de contrôle déterminant le type de commande (lecture/écriture) ;
— Une zone de données utiles (n octets) contenant les ordres ou les états ;
— Un champ de vérification d'erreurs de type CRC (Cyclic Redundancy Check).

Chaque cycle d'échange s'effectue en quelques millisecondes (typiquement inférieur à 10 ms), ce qui permet un contrôle quasi temps réel des électrovannes et des actionneurs pneumatiques. Les îlots de distribution sont identifiés individuellement par leur adresse logique sur le réseau et traitent les trames qui leur sont destinées. En retour, ils transmettent les états de leurs voies et les signaux de diagnostic.

Le protocole supporte jusqu'à **126 nœuds** et des vitesses de communication configurables entre **9,6 kbps** et **12 Mbps**. Il offre également une **robustesse élevée face aux perturbations électromagnétiques** et un **système de contrôle d'erreur intégré**, assurant une transmission fiable et sécurisée dans les environnements industriels.

### III.2.4 Autres composants électriques de l'armoire

L'armoire électrique intègre plusieurs composants auxiliaires indispensables au bon fonctionnement, à la protection et à la sécurisation de l'ensemble du système automatisé. Les composants présentés ci-dessous ont été sélectionnés en conformité avec les normes industrielles et selon les besoins spécifiques du projet.

**a. Disjoncteur principal** Il assure la protection générale de l'installation contre les courts-circuits et les surcharges. C'est le point de coupure principal permettant de couper l'alimentation générale de toute la station. La figure III.7 illustre un exemple de disjoncteur principal utilisé dans l'installation [20].




FIGURE III.7 – Disjoncteur principal utilisé pour la protection générale de l'installation

**b. Transformateur abaisseur** Ce transformateur est utilisé pour convertir une tension de 380V en 24V. Cette tension passe ensuite par un onduleur, qui fournit du courant continu (DC) utilisé pour alimenter les capteurs et les équipements de commande de la station. En plus de cette fonction, il renforce la sécurité électrique du système en assurant une séparation entre le réseau principal et le circuit interne. La figure III.8 illustre un exemple de Transformateur utilisé dans l'installation[20] .



FIGURE III.8 – Transformateur utilisé pour l'adaptation de la tension dans l'armoire électrique

**c. Disjoncteurs moteurs** Chaque moteur de la station est protégé individuellement par un disjoncteur moteur. Ils offrent une protection thermique et magnétique adaptée aux caractéristiques de chaque moteur.La figure III.9 illustre un exemple de disjoncteur moteur utilisé dans l'installation [20].




FIGURE III.9 – Disjoncteur moteur assurant la protection contre les surcharges et courts-circuits

**d. Fusibles de protection** Placés en amont de composants sensibles ou de circuits à faible courant, les fusibles assurent une protection contre les surintensités et facilitent le diagnostic de panne.Les figures III.10 et III.11 illustre un exemple de Fusibles de protection utilisé dans l'installation [20].




FIGURE III.10 – Fusible de protection entre l'API et le driver du moteur pas à pas



FIGURE III.11 – Fusible de protection entre le driver et le moteur pas à pas

**e. Contacteurs** Utilisés pour la commutation de puissance des moteurs ou variateurs, les contacteurs assurent un contrôle robuste des éléments de puissance. Ils sont pilotés par des relais ou l'automate [20].

La figure III.12 illustre un exemple de contacteur utilisé dans l'installation.




FIGURE III.12 – Contacteur utilisé pour la commande de mise sous tension des équipements

**f. Relais d'interface** Permettent d'interfacer les sorties de l'automate avec les organes de puissance ou les signaux de commande. Ils jouent également un rôle de sécurisation dans certaines logiques de commande [21] .

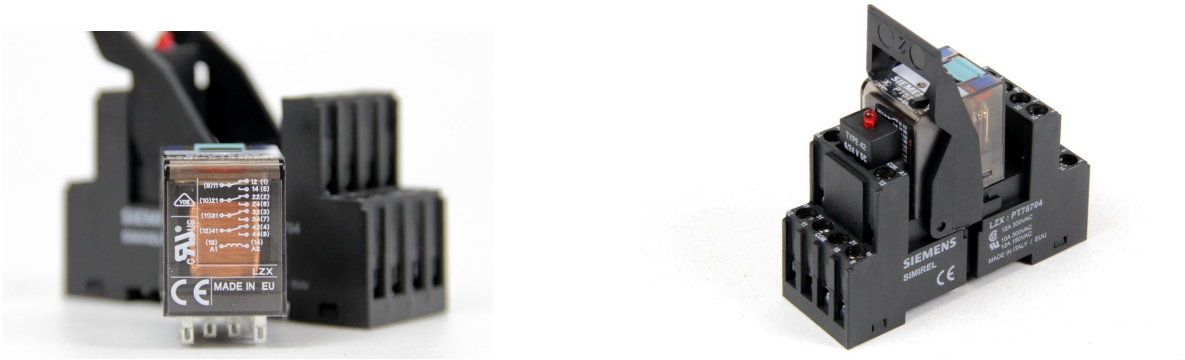



FIGURE III.13 – Siemens Miniature Relays

**g. Borniers de raccordement (quantité variable)** Assurent la connexion entre les différents composants, facilitent le câblage et la maintenance. Ils sont organisés par fonction (puissance, commande, entrées/sorties...).

**h. Voyants et boutons de commande** Installés en face avant, les voyants permettent de signaler l'état du système (marche, défaut, urgence). Les boutons poussoirs (BP marche, arrêt, sélecteur) offrent à l'opérateur un contrôle local sécurisé.

L'ensemble de ces composants a été intégré selon un plan de câblage précis établi dans le logiciel EPLAN, garantissant lisibilité, sécurité et évolutivité.

## III.3 Conception des schémas électriques sous EPLAN

Dans le cadre de la réalisation de la station automatisée, la conception des schémas électriques a été effectuée à l'aide du logiciel EPLAN Electric P8, un outil professionnel dédié à la conception et à la documentation des systèmes électriques industriels.

### III.3.1 Présentation du logiciel EPLAN Electric P8

EPLAN Electric P8 est un logiciel de conception assistée par ordinateur (CAO) dédié à l'ingénierie électrique. Il permet d'automatiser les processus de conception, en s'adaptant aussi bien aux méthodes manuelles qu'aux approches standardisées. Bien plus qu'un simple outil de création de schémas et de diagrammes électriques, il offre une solution complète pour le développement et la documentation des projets électriques industriels [22].

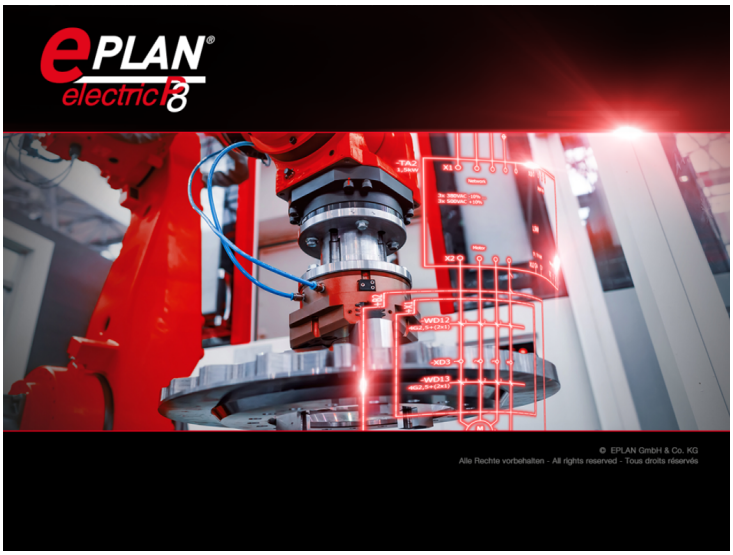



FIGURE III.14 – EPLAN Electric P8

Grâce à ses fonctionnalités avancées et à sa flexibilité, EPLAN Electric P8 présente de nombreux atouts qui en font un outil incontournable pour la conception d'installations électriques complexes, notamment dans des projets industriels comme le nôtre. Parmi ses principaux avantages, on peut citer :

— La possibilité de générer automatiquement des schémas de câblage, des plans d'implantation et des dossiers techniques normalisés.

— Une continuité de données optimale entre les différentes disciplines de l'ingénierie (électrique, automatisme, hydraulique, pneumatique).

— L'intégration d'interfaces standardisées permettant l'importation et l'exportation de données vers d'autres logiciels de conception ou de gestion.

— La création d'un jumeau numérique en 3D, utile pour la fabrication et le montage d'armoires électriques, notamment celles en acier inoxydable.

— Une base de données centralisée favorisant la réutilisation des composants et la standardisation des projets.

### III.3.2 Architecture électrique de la station

L'architecture électrique de la station automatisée de récupération des produits contenus dans les boîtes non conformes repose sur une structure centralisée, conçue pour assurer l'alimentation, la protection, la commande et la communication entre les différents sous-systèmes électromécaniques.

L'installation est alimentée par une source triphasée 380 V destinée aux équipements de puissance, ainsi qu'une alimentation 24 V DC utilisée pour les circuits de commande. Tous les composants sont intégrés dans une armoire électrique unique, regroupant l'ensemble des équipements nécessaires au bon fonctionnement du système.

L'armoire électrique est structurée autour des blocs fonctionnels suivants :

— Le **circuit de puissance**, qui regroupe les disjoncteurs, contacteurs, variateurs et moteurs triphasés utilisés pour les modules à forte consommation électrique ;

— Le **circuit de commande**, qui comprend les capteurs, boutons poussoirs, sélecteurs de mode et les signaux logiques raccordés aux entrées de l'automate ;

— Le **réseau de communication**, basé sur le protocole `PROFIBUS`, permettant la liaison entre l'automate et les modules d'électrovannes pneumatiques déportées ;

— Le **système pneumatique**, intégrant les îlots d'électrovannes et les vérins pilotant les actions mécaniques nécessaires à la récupération ou au rejet des produits ;

— Le **centre de traitement**, assuré par l'automate Siemens `S7-1200`, chargé de gérer l'ensemble des signaux et des commandes selon le programme de contrôle développé.

Chaque composant est référencé, numéroté et positionné selon les normes de câblage et de documentation industrielle. Le projet a été intégralement conçu sous le logiciel `EPLAN Electric P8`, avec une organisation hiérarchique des pages permettant une lecture claire et fonctionnelle : alimentation générale, puissance, commande, entrées/sorties, communication.

Cette architecture permet d'assurer une exploitation fiable, un entretien facilité et une évolution modulaire du système. Les détails de chaque sous-système sont développés dans les sections suivantes, à travers les différents schémas électriques générés.

### III.3.3 Alimentation électrique de la station

Avant de détailler les différents circuits, il est essentiel de présenter l'alimentation globale de la station automatisée.

#### 1. Alimentation principale 380V

La station est alimentée en triphasé 380V AC à partir du réseau industriel interne de l'entreprise. Cette alimentation est protégée par un disjoncteur principal et distribuée vers les variateurs de vitesse et autres équipements de puissance. Une illustration de cette distribution est présentée sur une page dédiée du schéma électrique conçu sous EPLAN.

La figure III.15 représente Le schéma de l'alimentation principale en 380 V triphasé illustre la distribution de l'énergie électrique vers les différents composants de la station.

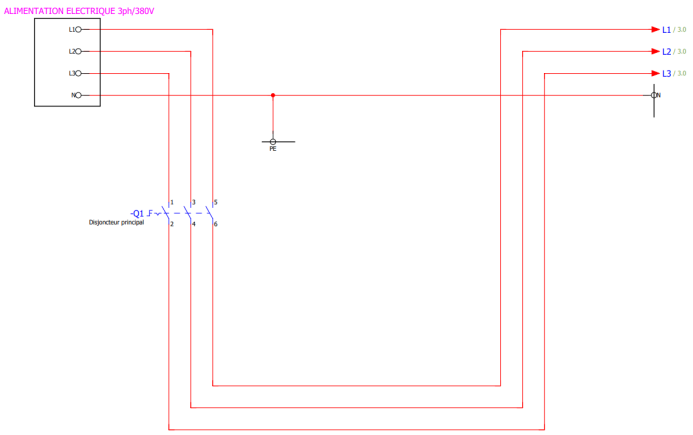



FIGURE III.15 – Schéma de l'alimentation principale en 380 V triphasé

### 2. Alimentation 24V DC pour les équipements de commande

Pour les équipements de commande et de signalisation (automate, capteurs, boutons, voyants...), une alimentation stabilisée en 24V DC est utilisée. Un bloc d'alimentation à découpage convertit le 380V AC en 24V DC et distribue l'énergie à travers des borniers vers les différents composants, Comme illustré dans la figure III.16.

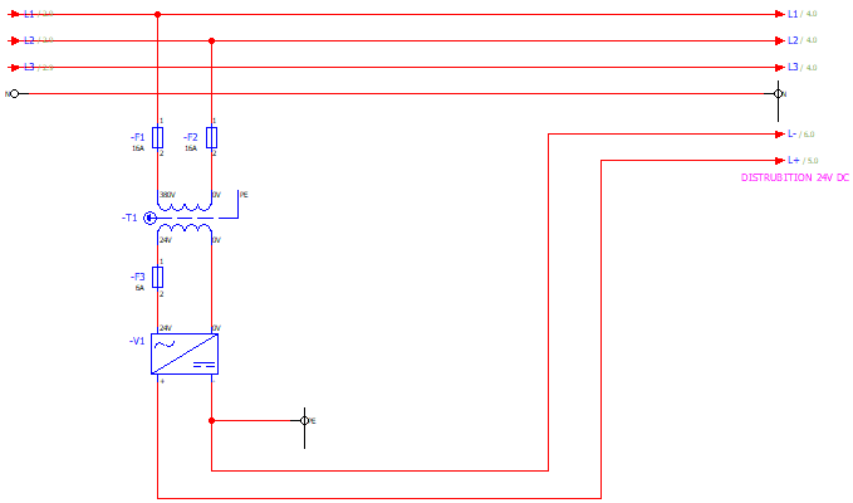



FIGURE III.16 – Schéma de l'alimentation 24 V DC pour les circuits de commande

## III.3.4 Schéma de puissance

Le schéma de puissance constitue la partie du circuit électrique destinée à l'alimentation des composants nécessitant une puissance élevée, tels que les moteurs triphasés. Il assure le transport, la protection et la conversion de l'énergie électrique, depuis le réseau d'alimentation jusqu'aux bornes des actionneurs. Ce schéma intègre l'ensemble des éléments nécessaires à un fonctionnement sécurisé et performant du système : disjoncteurs, contacteurs, variateurs de fréquence, mises à la terre, etc.

**Démarrage du moteur triphasé**

Le cheminement de l'énergie débute à la source d'alimentation et suit les étapes suivantes jusqu'à l'alimentation du moteur :

- **Alimentation** : Le circuit commence par les trois phases du réseau triphasé 380 V (L1, L2, L3), qui représentent la source d'énergie principale du système.
- **Disjoncteur moteur** : Le courant traverse un disjoncteur de protection contre les surintensités et les courts-circuits. Celui-ci permet de couper simultanément les trois phases en cas de défaillance.
- **Contacteur** : Situé en aval du disjoncteur, ce contacteur est commandé par l'automate. Il autorise ou non l'alimentation du variateur de fréquence et participe activement à la sécurité du démarrage.
- **Variateur de fréquence** : Alimenté par les phases du réseau via ses bornes d'entrée (91, 92, 93), il convertit la tension fixe en une tension alternative modulée (fréquence et amplitude variables) aux bornes de sortie (96, 97, 98). Cela permet un contrôle précis de la vitesse du moteur.
- **Mise à la terre** : Le variateur est relié à la terre via les bornes 99 et GND pour garantir la sécurité des équipements et des personnes.
- **Interrupteur de liaison** : Placé entre la sortie du variateur et le moteur, cet interrupteur permet d'isoler le moteur lors des opérations de maintenance, sans couper toute l'installation.
- **Moteur triphasé** : Alimenté via les sorties du variateur (U1, V1, W1), il est également relié à la terre par la borne PE. Grâce à la régulation apportée par le variateur, le moteur bénéficie d'un démarrage progressif et d'un fonctionnement souple et sécurisé.

La figure suivante présente un exemple de câblage de puissance mettant en œuvre cette chaîne d'alimentation.

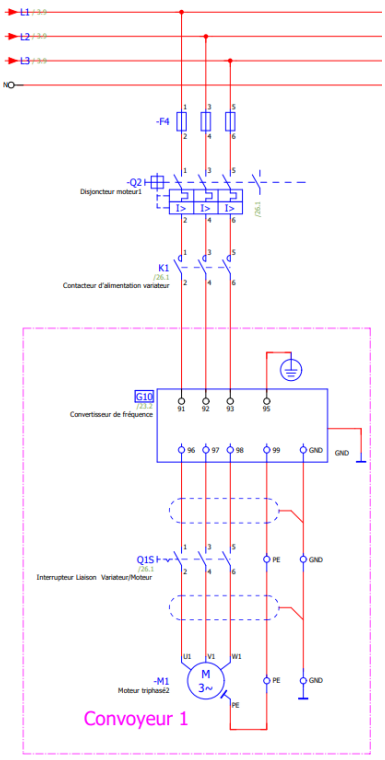



FIGURE III.17 – Exemple de câblage de puissance d'un moteur triphasé avec variateur

**Commande et câblage des variateurs de vitesse** Les variateurs de fréquence jouent un rôle central dans la régulation de la vitesse des moteurs asynchrones. Ils sont alimentés en triphasé à l'entrée (bornes L1, L2, L3) et fournissent une tension modulée à la sortie (bornes U, V, W) pour alimenter le moteur.

Chaque variateur est connecté en amont à un contacteur de puissance qui permet de le mettre sous tension à la demande, et en aval à un interrupteur de liaison qui sécurise la connexion avec le moteur. Ce câblage garantit un fonctionnement fiable ainsi qu'une sécurité optimale pendant les interventions de maintenance.

Les signaux de commande sont généralement transmis par l'automate via des relais. Ces signaux comprennent la marche/arrêt, la sélection du sens de rotation, ainsi que la consigne de vitesse (via entrée analogique ).

Les variateurs sont aussi intégrés au circuit d'arrêt d'urgence. En cas d'anomalie, l'ouverture du circuit coupe instantanément l'alimentation, stoppant le moteur de façon sécurisée.

— **Commande du variateur** : Le schéma présente la commande du variateur **G10**, réalisée à l'aide d'un relais **K4**. Ce relais permet de contrôler à distance l'activation du variateur.

— **Contact sec** : Le relais utilise un contact **11–14**. Lorsque ce contact se ferme, un signal est envoyé vers les bornes de commande du variateur, autorisant son démarrage sans intervenir directement sur la partie puissance.

— **Bornes de commande** : Le signal de commande est injecté via les bornes **12** et **18** du variateur. Ces bornes peuvent recevoir divers signaux logiques pour gérer les fonctions marche/arrêt, changement de sens de rotation, ou vitesse de consigne.

— **Mise à la terre** : Le circuit de commande est également relié à la masse **GND**, assurant la sécurité des signaux et la stabilité du système en évitant les perturbations électromagnétiques.

— **Bloc fonctionnel** : Le variateur est représenté dans un cadre désigné par **A53**, qui indique ses fonctions internes principales : conversion de la tension (U) et du courant (I) pour piloter le moteur.

La figure III.18 illustre le câblage d'un variateur tel que défini dans le logiciel EPLAN, en respectant les affectations des broches.

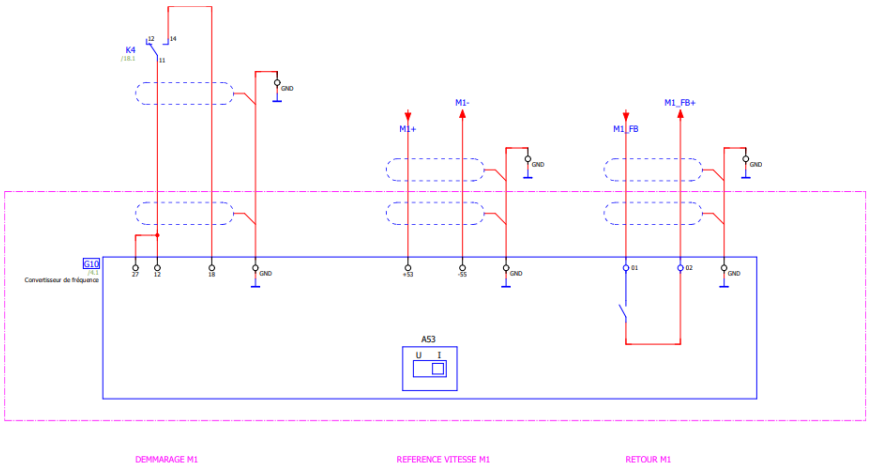



FIGURE III.18 – Schéma de câblage du variateur de fréquence (EPLAN)

### III.3.5 Schéma de commande

Le schéma de commande représente l'ensemble des connexions basse tension destinées à transmettre des signaux logiques entre les organes de dialogue (capteurs, boutons, sélecteurs) et l'automate programmable industriel (API), ainsi qu'entre l'automate et les actionneurs (relais, variateurs, drivers de moteurs, électrovannes, etc.). Ce schéma constitue le cœur de la logique de fonctionnement du système automatisé, en assurant à la fois la commande, la supervision et la sécurité.

Le système de commande repose sur un automate Siemens **S7-1200** qui gère à la fois les **entrées tout ou rien (TOR)**, les **entrées analogiques**, et les **sorties TOR**. Les adresses des différentes entrées et sorties sont précisées dans les schémas électriques, ce qui permet de suivre facilement les signaux échangés.

#### Signalisation en entrée : boutons, capteurs et organes de sécurité

L'automate reçoit en entrée plusieurs types d'informations logiques et analogiques provenant du terrain. Parmi ces entrées, on retrouve :

- Les boutons de commande (démarrage, arrêt, arrêt d'urgence) ;
- Les sélecteurs de mode (manuel/automatique) ;
- Les capteurs de présence et de position (fin de course, inductifs, etc.) ;
- Les capteurs analogiques, notamment ceux mesurant le niveau et le pH du liquide récupéré.

Chaque signal est connecté à une borne d'entrée de l'automate, avec une adresse bien définie dans le programme API. Ces signaux déclenchent des actions conditionnelles selon les états lus par le programme.

**a. Commande par boutons poussoirs** Le bouton de démarrage est relié à l'entrée `DI0.0` de l'automate, tandis que le bouton d'arrêt est connecté sur `DI 0.1`. L'arrêt d'urgence, quant à lui, est câblé sur l'entrée `DI 0.2` et joue un rôle prioritaire dans la chaîne de sécurité. Lorsqu'il est activé, il force immédiatement l'arrêt de tous les actionneurs. Ces boutons sont représentés dans le schéma par les références `S1`, `S2` et `S3`.

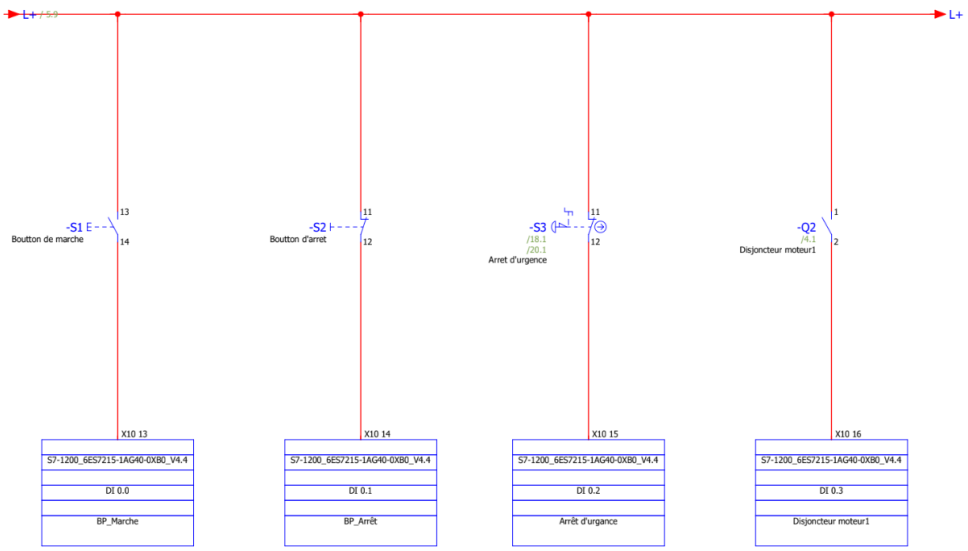



FIGURE III.19 – Câblage des boutons de marche et arrêt d'urgence sur les entrées de l'automate

**Signalisation en sortie : moteurs, variateurs, drivers et électrovannes**

L'automate pilote plusieurs types d'actionneurs à travers ses sorties logiques (TOR), telles que :

— Des relais d'interface utilisés pour commander les circuits de puissance ;

— Des variateurs de fréquence pour les moteurs triphasés ;

— Des drivers de moteurs pas à pas ;

— Des électrovannes pour l'actionnement des vérins pneumatiques.

**a. Commande d'un variateur de fréquence** La commande d'un variateur de fréquence repose sur une architecture simple mais rigoureusement sécurisée, permettant de contrôler la mise en marche d'un moteur triphasé tout en assurant une gestion fluide de la vitesse et du sens de rotation. Le variateur est interfacé avec l'automate via un relais d'interface, ce qui permet d'isoler la partie commande de la partie puissance.

Le principe de fonctionnement est le suivant :

— L'automate active une sortie TOR (par exemple `DQ 0.0`) lorsque les conditions de démarrage sont réunies. Cette sortie est câblée vers la bobine d'un relais (ex. `K4`).

— Lorsque la bobine du relais est alimentée, son contact sec (souvent `11-14`) se ferme. Ce contact sert à transmettre une autorisation de marche au variateur de fréquence.

— Le variateur reçoit cette autorisation sur ses bornes logiques (par exemple `12` et `18`), configurées pour interpréter un signal de commande `ON/OFF`. Une fois le contact fermé, le variateur commence à alimenter le moteur selon les paramètres définis (rampe d'accélération, fréquence de consigne, etc.).

Cette commande indirecte par relais présente plusieurs avantages : elle protège les circuits faibles de l'automate, permet une maintenance plus sûre, et facilite l'intégration dans des circuits d'arrêt d'urgence ou de sécurité. En cas de coupure du signal automate ou d'arrêt d'urgence, la coupure du relais entraîne immédiatement l'arrêt du variateur.

**b. Commande d'un driver de moteur pas à pas** La commande d'un moteur pas à pas repose sur l'envoi de signaux logiques vers un driver dédié, qui assure l'interface entre l'automate et le moteur. Ce driver génère les impulsions électriques nécessaires pour faire tourner le moteur pas à pas avec une grande précision.

Le fonctionnement repose sur trois signaux principaux émis par des sorties TOR de l'automate :

— Le signal `DIR` (Direction), qui définit le sens de rotation du moteur. Lorsque ce signal est à l'état haut, le moteur tourne dans un sens, et lorsqu'il est à l'état bas, il tourne dans l'autre sens.

— Le signal `STEP` (ou `PULSE`), constitué d'une série d'impulsions. Chaque front montant correspond à un déplacement d'un pas. La fréquence de ces impulsions détermine la vitesse de rotation du moteur.

— Le signal `ENABLE`, qui permet d'activer ou de désactiver le driver. Tant que ce signal est à l'état haut, le moteur est autorisé à tourner ; s'il est à l'état bas, le moteur est désactivé ou maintenu en position bloquée selon le mode du driver.

Ces signaux sont générés par l'automate selon les conditions du programme de commande. Ce principe permet un positionnement précis, une synchronisation avec d'autres éléments du système, et une gestion fiable des séquences de rotation.

Les figures III.20 et III.21 présentent le câblage nécessaire à la commande du moteur pas à pas.

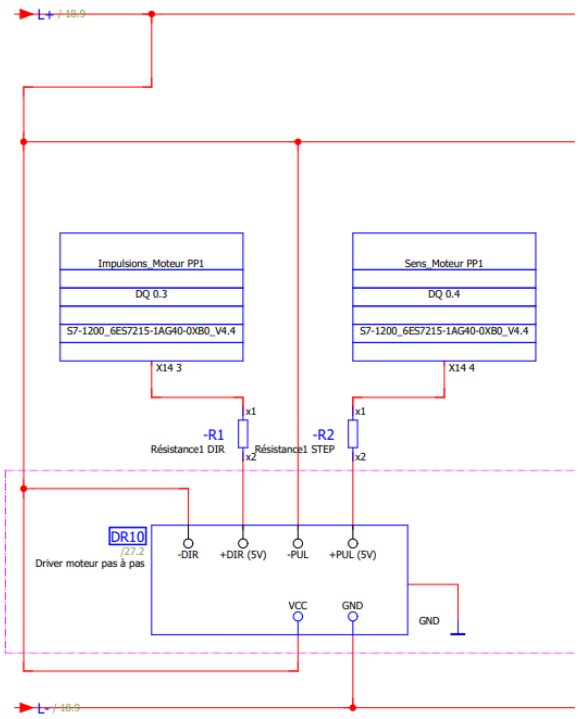



FIGURE III.20 – Câblage entre l'automate et le driver du moteur pas à pas

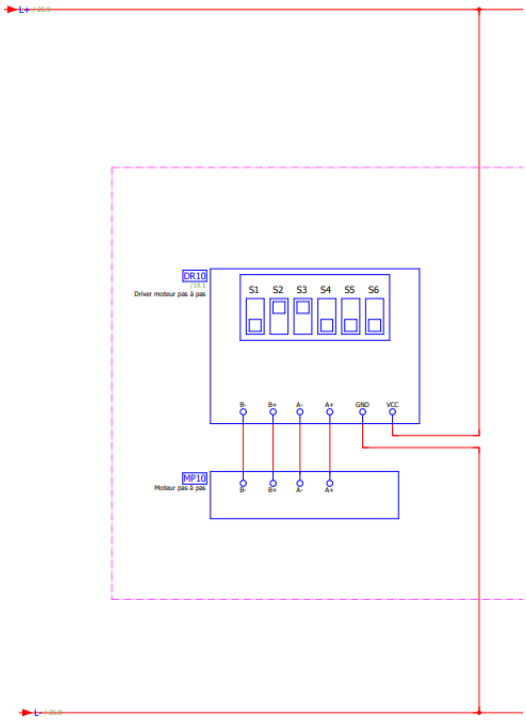



FIGURE III.21 – Câblage entre le driver et le moteur pas à pas

**c. Commande pneumatique** La commande pneumatique joue un rôle essentiel dans l'automatisation des mouvements linéaires de la station, tels que la poussée, le maintien ou l'éjection des éléments. Elle repose sur l'utilisation de vérins alimentés par un réseau d'air comprimé, dont la distribution est assurée par des électrovannes commandées automatiquement.

L'ensemble est organisé autour de deux îlots d'électrovannes (modules Y1 et Y2), regroupant plusieurs voies de commande. Ces modules sont connectés à l'automate via une liaison de communication industrielle de type **PROFIBUS**, ce qui permet de piloter l'état de chaque vanne de manière numérique, tout en réduisant considérablement la complexité du câblage.

Chaque électrovanne est associée à un vérin pneumatique. Lorsque le programme automate transmet un ordre à travers le bus de communication, l'électrovanne correspondante modifie la direction du flux d'air, provoquant ainsi le déplacement du vérin concerné. Le système permet également le maintien de la position en cas d'arrêt de commande grâce à l'utilisation de vannes bistables.

L'air comprimé est fourni par une centrale de traitement comprenant un filtre, un régulateur de pression et un manomètre. Cette unité assure une qualité d'air optimale pour garantir la fiabilité et la longévité des composants pneumatiques.

Cette architecture décentralisée présente de nombreux avantages :

— Réduction du câblage entre l'armoire et les équipements de terrain ;

— Détection avancée des défauts et surveillance de l'état des vannes via le réseau ;

— Possibilité d'extension du système par ajout de modules supplémentaires ;

— Maintenance facilitée et diagnostic rapide.

Chaque vanne comporte également un échappement permettant à l'air de s'évacuer de la chambre opposée, assurant un mouvement fluide du vérin. Ce mode de fonctionnement bistable permet un contrôle précis, tout en autorisant la conservation de la position en cas de coupure de l'alimentation électrique.

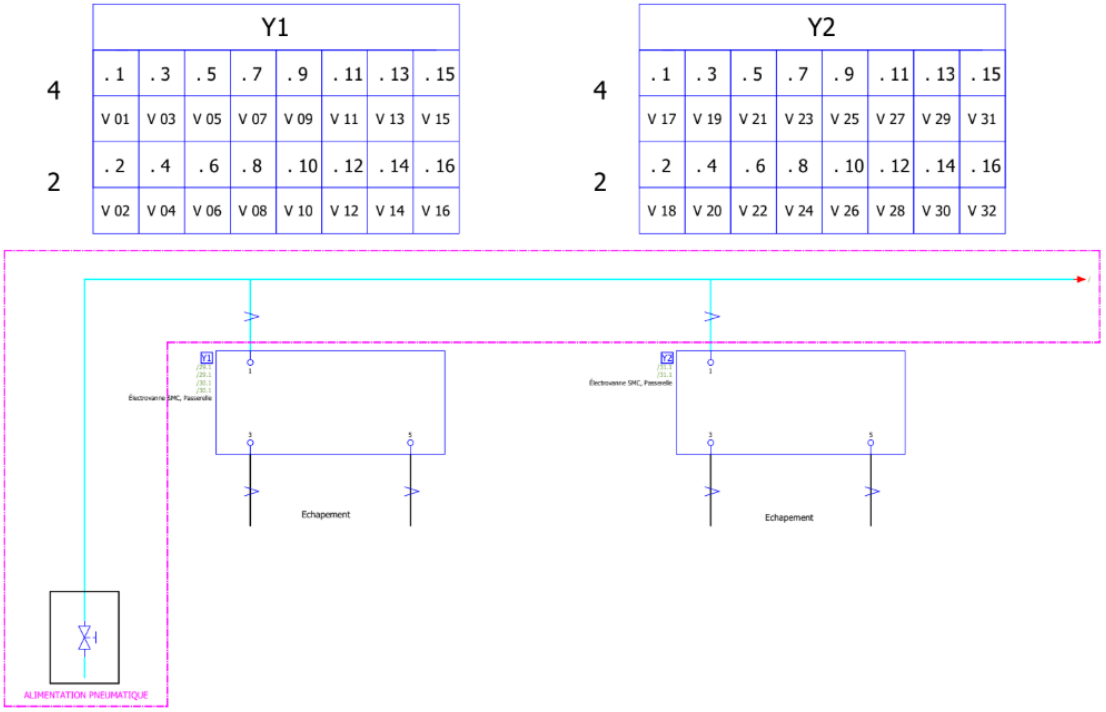



FIGURE III.22 – Réseau de commande pneumatique avec électrovannes Y1 et Y2

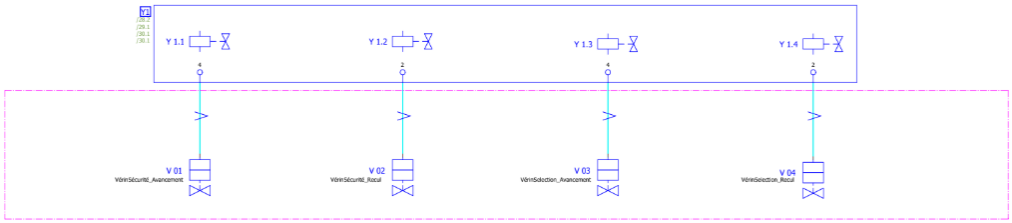


FIGURE III.23 – Schéma de l'alimentation pneumatique et commande des vérins

L'ensemble de cette architecture de commande assure une gestion centralisée, fiable et évolutive du système automatisé. Elle répond aux exigences de sécurité, de clarté de câblage et de facilité de maintenance.

### III.3.6 Sécurité électrique

L'étude électrique a intégré plusieurs éléments de sécurité :

— **Disjoncteurs et relais thermiques** pour la protection des circuits.

— **Arrêt d'urgence** câblé en série avec les actionneurs critiques comme présenter dans la figure III.24.

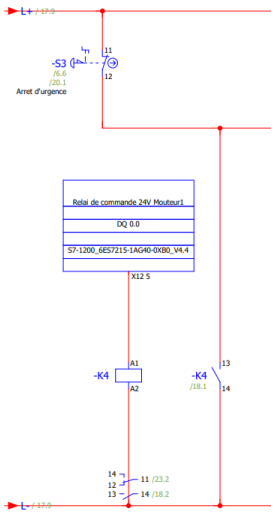



FIGURE III.24 – Vue Vue 3D de l'armoire électrique.

## III.4 l'armoire électrique

La modélisation 3D de l'armoire électrique permet de visualiser l'agencement physique des différents composants électriques et électroniques installés dans le coffret. Cette étape de conception constitue une phase essentielle pour valider le plan d'implantation, faciliter le câblage, en servant de référence pour les techniciens d'atelier, anticiper les contraintes d'encombrement ou de maintenance, le respect des distances de sécurité et de dissipation thermique.

La figure III.25 présente la vue de face de la plaque de montage de l'armoire électrique.

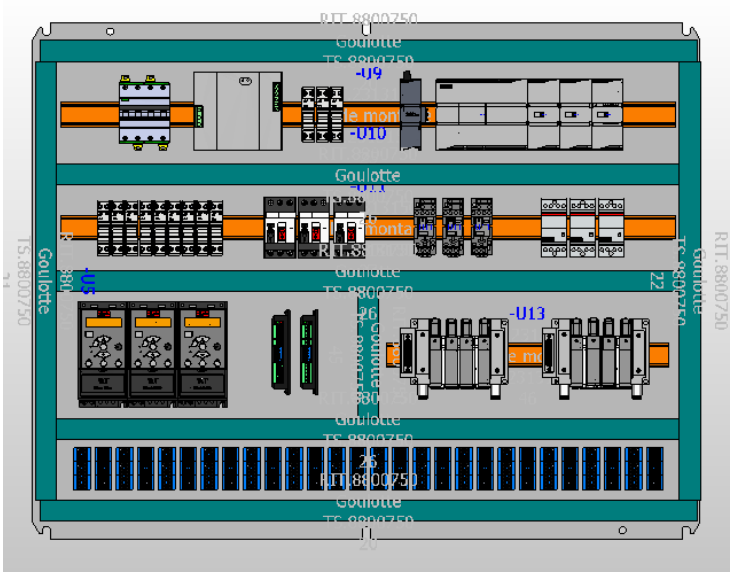



FIGURE III.25 – Vue de la Plaque de montage de l'armoire électrique.

La figure III.26 présente la vue tridimensionnelle de l'armoire réalisée à l'aide du logiciel **EPLAN Electric P8**.

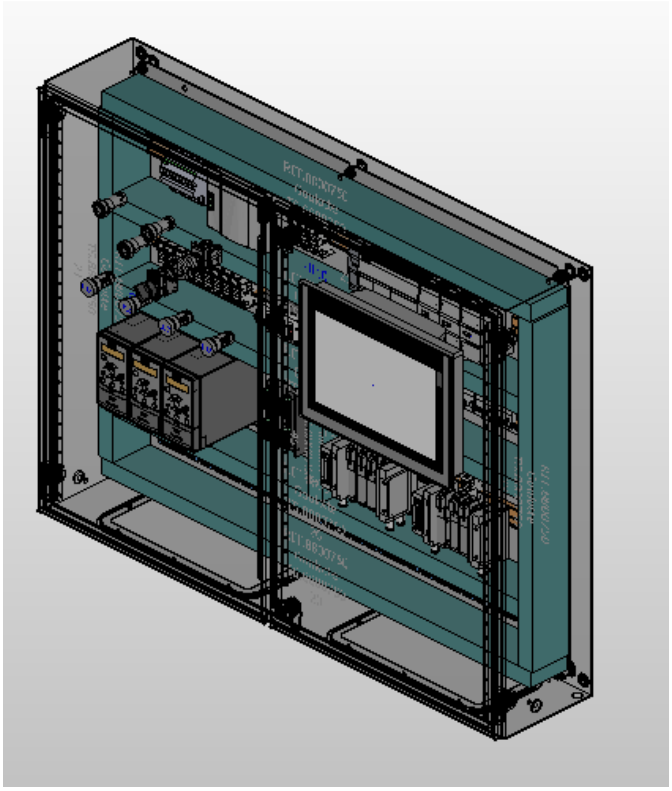


FIGURE III.26 – Vue 3D de l'armoire électrique.

## III.5 Conclusion

Au cours de ce chapitre, nous avons établi l'ensemble des schémas électriques nécessaires au fonctionnement de notre station automatisée. Cette phase nous a permis de structurer les réseaux de puissance et de commande tout en assurant la distribution électrique fiable et sécurisante pour l'ensemble des équipements.

Le logiciel **EPLAN Electric P8** a rendu possible la production de schémas parfaitement clairs, normalisés et répondant aux besoins de l'industrie. Ce travail nous a également permis de bien mesurer l'importance d'une bonne organisation des composants pour un câblage, une maintenance et une exploitation ultérieure efficaces.

# Chapitre IV

# Programmation de la solution

# IV.1 Introduction

Ce chapitre détaille le programme développé pour notre machine afin qu'elle puisse effectuer automatiquement ses mouvements et ses actions, après avoir terminé la conception mécanique et les branchements électriques de tous les capteurs et actionneurs. Il traite de l'adressage des entrées et sorties, de la structure du programme ainsi que les tests et les simulations pour valider le bon fonctionnement du programme avant sa mise en service sur la machine réelle.

# IV.2 Choix des logiciels

## IV.2.1 TIA Portal pour la Programmation

**TIA Portal** est une plateforme logicielle tout-en-un développée par Siemens pour l'automatisation industrielle. Elle intègre la programmation des API, la conception HMI, la supervision SCADA, ainsi que des outils de simulation et de diagnostic. Dans ce projet, nous utilisons la version **V16**, compatible avec Windows 10, offrant plus de stabilité, moins de bugs et des fonctionnalités avancées liées à l'**Industrie 4.0** [23].

## IV.2.2 PLCSIM pour la simulation

**PLCSIM**, intégré à TIA Portal, permet de simuler un automate sans matériel physique. Il sert à tester la logique du programme, simuler les entrées/sorties, détecter les erreurs et valider le comportement du système. Dans ce projet, il est utilisé pour tester des scénarios et ajuster les paramètres avant la mise en œuvre réelle.

## IV.2.3 WinCC pour l'interface homme-machine

**WinCC** est un module intégré à **TIA Portal** qui permet de concevoir des interfaces homme-machine (**IHM**) pour le contrôle, la visualisation et la supervision des systèmes automatisés. Dans notre projet, il sert à visualiser les données en temps réel et à envoyer des commandes à l'automate [24].

Le schéma IV.1 ci-dessous illustre les différents modules logiciels utilisés dans ce projet




FIGURE IV.1 – Architecture logicielle du projet dans TIA Portal V16

## IV.3 Langages de programmation utilisés

**TIA Portal** propose plusieurs langages tels que le **LADDER (LAD)**, le **SCL**, les **blocs fonctionnels (FBD)**, les **listes d'instructions (STL)** et le **Grafcet**. Cette diversité offre une grande flexibilité dans la conception du programme [25]. Nous avons choisi les langages les plus clairs et efficaces selon les traitements à réaliser, comme illustré dans la figure IV.2.

### IV.3.1 Diagramme Ladder

Le **LADDER** a été utilisé pour gérer la logique de fonctionnement du système. Son aspect graphique facilite la lecture, la compréhension des enchaînements logiques et le débogage.

### IV.3.2 SCL

Le **SCL**, langage textuel structuré, a été utilisé pour le traitement des données, notamment pour l'envoi et la réception des valeurs vers et depuis l'interface de supervision **Node-RED**. Il est particulièrement adapté aux calculs, conversions et à la gestion de structures complexes.

### IV.3.3 Blocs prédéfinis

Les **Blocs Prédéfinis** fournis par **TIA Portal** ont permis de simplifier le développement. Nous les avons utilisés pour des fonctions standards telles que :

- les temporisations,
- les comparateurs,
- les compteurs,
- le pilotage des moteurs pas à pas.

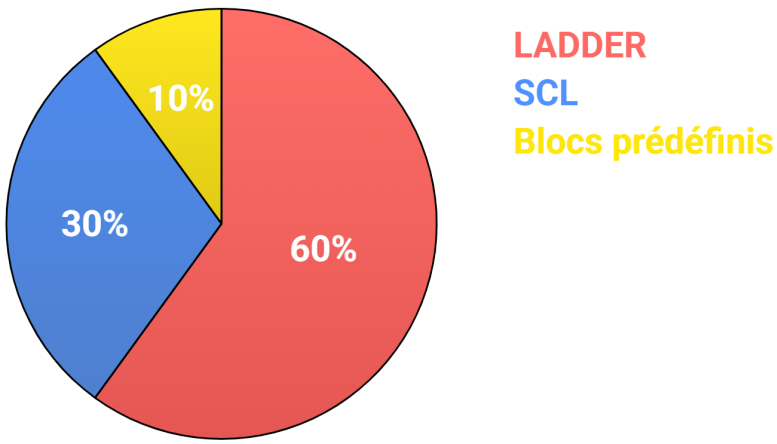



FIGURE IV.2 – Langages de programmation utilisés

## IV.4 Adressage des Entrées et des Sorties (I/O)

Dans **TIA Portal**, l'adressage des entrées et sorties (I/O) constitue une étape importante pour assurer la communication entre l'automate et les périphériques de terrain (capteurs, vérins, moteurs, etc.). Il permet au programme d'identifier correctement chaque signal entrant ou sortant, garantissant ainsi le bon déroulement des opérations automatisées.

### IV.4.1 Structure matérielle

Le système repose sur un automate **Siemens S7-1200**, configuré de manière modulaire à l'aide de différents modules d'entrées/sorties numériques [26]. La configuration matérielle, visible dans la **figure IV.3**, est réalisée dans l'environnement TIA Portal.

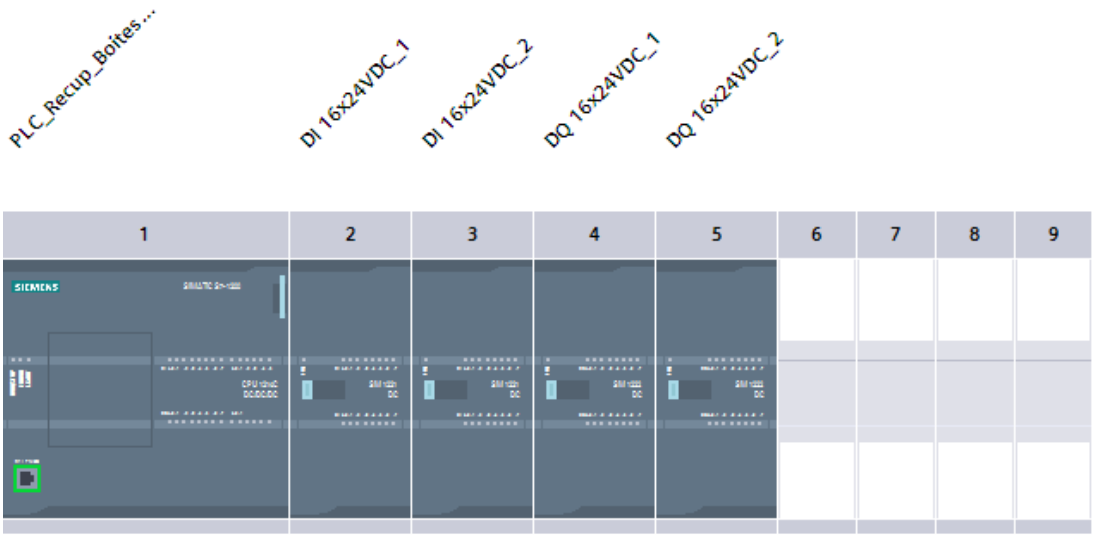



FIGURE IV.3 – Configuration matérielle des modules I/O dans TIA Portal

Le **tableau IV.1** ci-dessous présente les modules utilisés, leurs références, ainsi que les types et quantités de signaux pris en charge. Cette organisation nous a permis de structurer efficacement l'adressage dans le programme automate.

TABLE IV.1 – Structure matérielle des modules I/O utilisés

| Position | Module | Référence | Type de signaux gérés |
|---|---|---|---|
| 1 | CPU 1215C DC/DC/DC | 6ES7 215-1AG40-0XB0 | 14 DI/ 10 DO/ 02 AI/ 02 AO |
| 2 | Module d'entrée DI 16x24VDC_1 | 6ES7 221-1BH32-0XB0 | 16 DI |
| 3 | Module d'entrée DI 16x24VDC_2 | 6ES7 221-1BF32-0XB0 | 16 DI |
| 4 | Module de sortie DQ 16x24VDC_1 | 6ES7 222-1BH32-0XB00 | 16 DO |
| 5 | Module de sortie DQ 16x24VDC_2 | 6ES7 222-1BH32-0XB0 | 16 DO |

L'ensemble est connecté via un bus de fond commun et chaque module est automatiquement reconnu par **TIA Portal**, qui affecte les plages d'adresses correspondantes aux I/O.

### IV.4.2 Répartition des adresses I/O

La graphe IV.4 ci-dessous présente une classification des types d'entrées et de sorties utilisés dans notre installation.

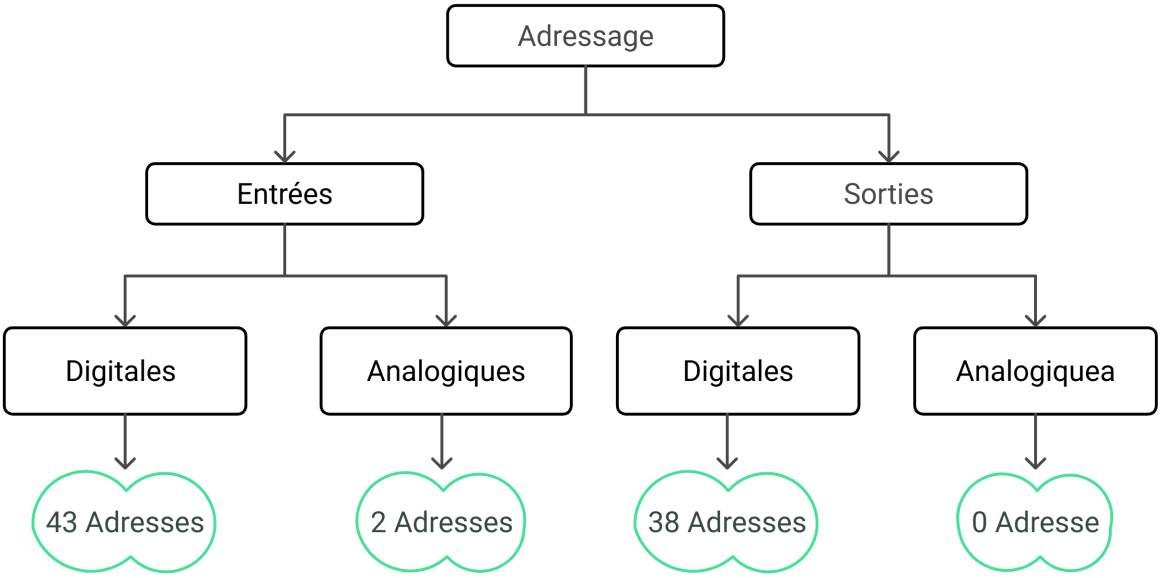



FIGURE IV.4 – Schéma de répartition des adresses I/O

#### IV.4.2.1 Entrées

**a. Entrées Digitales :** Le système utilise 43 entrées digitales, ce qui indique une présense significative de capteurs tout ou rien. Ces signaux sont associés a des organes tels que :

- Boutons de commande (Marche, Arrêt, Mode auto/Manuel).
- Arrêt d'urgence.
- Disjoncteurs de protection moteurs.
- Capteurs de fin de courses (vérins, table tournante).
- Capteur de niveau haut dans la trémie.

Chaque entrées est identifiée dans la tables des variables de **TIA Portal** par une adresse de type **I (Input)**, avec une granularité au bit (exp : I0.0, I0.1,...).

**b. Entrées Analogiques :** Deux entrées analogiques sont utilisées :

- **IW64** : Capteur de niveau.
- **IW66** : Capteur de pH.

Les signaux sont convertis par un **convertisseurs analogique-numérique** (A/N) et permettent des mesures continues.

#### IV.4.2.2 Sorties

**a. Sorties Digitales :** Le système comprend 38 sorties digitales, utilisées pour piloter des actionneurs de type tout ou rien, tels que

1. Électrovannes.
2. Moteurs triphasés à vitesse constantes.
3. les vérins.
4. Contrôle des drivers de moteurs pas à pas.

Les adresses de sorties sont notées Q (Output) ; et sont exprimées au format bit (exp : Q0.0, Q0.1,... )

**b. Sorties Analogiques :** Aucune sortie analogique n'est utilisée dans notre systéme.

Afin d'illustrer concrètement l'adressage, les figures IV.5 et IV.6 suivantes présentent des extraits de la table des variables dans **TIA Portal**.

| | Nom | Type de données | Adresse | Réma... | Acces... | Écritu... | Visibl... | Commentaire |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | BP_m | Bool | %I0.0 | ☐ | ☑ | ☑ | ☑ | Bouton-Poussoir Marc... |
| 2 | BP_A | Bool | %I0.1 | ☐ | ☑ | ☑ | ☑ | Bouton-Poussoir Arrêt |
| 3 | A_U | Bool | %I0.2 | ☐ | ☑ | ☑ | ☑ | Arrêt d'urgance |
| 4 | D_M1 | Bool | %I0.3 | ☐ | ☑ | ☑ | ☑ | Disjoncteur moteur1 |
| 5 | D_M2 | Bool | %I0.4 | ☐ | ☑ | ☑ | ☑ | Disjoncteur moteur2 |
| 6 | KM1 | Bool | %Q0.0 | ☐ | ☑ | ☑ | ☑ | Contacteur moteur1 |
| 7 | KM2 | Bool | %Q0.1 | ☐ | ☑ | ☑ | ☑ | Contacteur moteur2 |
| 8 | Choix lait GF | Bool | %I0.6 | ☐ | ☑ | ☑ | ☑ | Selecteur position1_C... |
| 9 | Choix CandiChocoPF | Bool | %I1.0 | ☐ | ☑ | ☑ | ☑ | Selecteur position2_C... |
| 10 | Choix CandiChocoTPF | Bool | %I1.1 | ☐ | ☑ | ☑ | ☑ | Selecteur position3_C... |
| 11 | FC_Guid_GF | Bool | %I1.2 | ☐ | ☑ | ☑ | ☑ | Fin de course dans la f.. |
| 12 | FC_Guid_PF | Bool | %I1.3 | ☐ | ☑ | ☑ | ☑ | Fin de course dans la f.. |
| 13 | V_S+ | Bool | %Q1.1 | ☐ | ☑ | ☑ | ☑ | Verrin selecteur est br... |
| 14 | V_S- | Bool | %Q12.0 | ☐ | ☑ | ☑ | ☑ | Deplacement de droit... |
| 15 | V_sécCP+ | Bool | %Q0.7 | ☐ | ☑ | ☑ | ☑ | Vérin de sécurité pour ... |
| 16 | V_sécCP- | Bool | %Q1.0 | ☐ | ☑ | ☑ | ☑ | Vérin de sécurité pour ... |

FIGURE IV.5 – Extrait de la table d'adressage des I/O — Station de guidage

| | Nom | Type de données | Adresse | Réma... | Acces... | Écritu... | Visibl... | Commentaire |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | CAP_COMP | Bool | %I8.1 | ☐ | ☑ | ☑ | ☑ | Capteur de compt... |
| 2 | FC_GAUCHE_LaitGF | Bool | %I8.2 | ☐ | ☑ | ☑ | ☑ | Fin de course du v... |
| 3 | FC_GAUCHE_CandiChocoPF | Bool | %I8.3 | ☐ | ☑ | ☑ | ☑ | Fin de course du v... |
| 4 | FC_GAUCHE_CandiChocoTPF | Bool | %I8.5 | ☐ | ☑ | ☑ | ☑ | Fin de course du v... |
| 5 | FC_DROITE_LaitGF | Bool | %I8.6 | ☐ | ☑ | ☑ | ☑ | Fin de course du v... |
| 6 | FC_DROITE_CandiChocoPF | Bool | %I9.0 | ☐ | ☑ | ☑ | ☑ | Fin de course du v... |
| 7 | FC_DROITE_CandiChocoTPF | Bool | %I9.1 | ☐ | ☑ | ☑ | ☑ | Fin de course du v... |
| 8 | Lamme_Haut_Vrtc | Bool | %I9.2 | ☐ | ☑ | ☑ | ☑ | Fin de course (Lam... |
| 9 | LammeLait_GF/PF_Vrtc | Bool | %I9.3 | ☐ | ☑ | ☑ | ☑ | Fin de course(Lam... |
| 10 | LammeCandiChoco_P/TPF_Vrtc | Bool | %I9.4 | ☐ | ☑ | ☑ | ☑ | Fin de course(Lam... |
| 11 | LAMME_P1_Horz | Bool | %I9.5 | ☐ | ☑ | ☑ | ☑ | Position Initiale du ... |
| 12 | LAMME_P2_Horz | Bool | %I9.6 | ☐ | ☑ | ☑ | ☑ | Position d'arrivé d... |
| 13 | V1_FixG+ | Bool | %Q12.1 | ☐ | ☑ | ☑ | ☑ | (Vérin gauche+) p... |
| 14 | V1_FixG- | Bool | %Q12.2 | ☐ | ☑ | ☑ | ☑ | (Vérin gauche-) po... |
| 15 | V1_FixD+ | Bool | %Q12.3 | ☐ | ☑ | ☑ | ☑ | (Vérin droite+) pou... |
| 16 | V1_FixD- | Bool | %Q12.4 | ☐ | ☑ | ☑ | ☑ | (Vérin droite+) pou... |

FIGURE IV.6 – Extrait de la table d'adressage des I/O — Station de fixation

## IV.5 Organisation du programme et logique fonctionnelle

Cette partie détaille la structure du programme développé dans TIA Portal pour piloter les différents éléments du système. L'objectif est d'expliquer comment les blocs ont été organisés, comment les différents modes de fonctionnement sont gérés, et enfin comment chaque station a été programmée.

### IV.5.1 Structure des blocs pour la programmation de notre système

Dans notre projet, nous avons tiré parti de la structure modulaire proposée par TIA Portal pour organiser le programme de manière claire et efficace. Cette organisation est illustrée dans la figure IV.7 suivante.

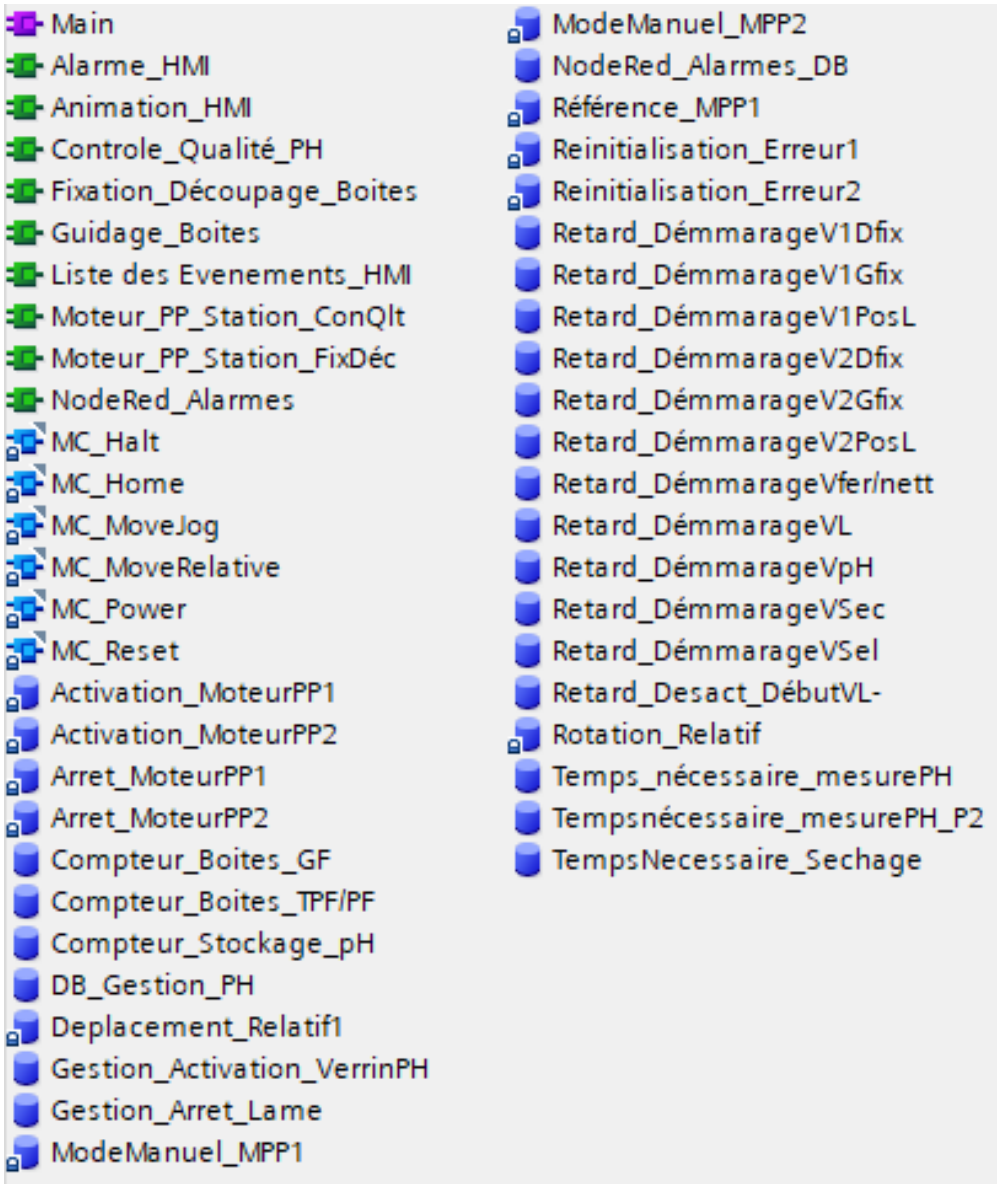



FIGURE IV.7 – Organisation des blocs – TIA Portal

#### IV.5.1.1 Fonction (FC)

Le programme est organisé autour de blocs de fonctions (FC) afin de faciliter sa lecture, sa maintenance et son évolution. Cette structuration modulaire permet également de localiser rapidement les erreurs, en isolant chaque fonction dans un bloc spécifique correspondant à une tâche bien définie du système.

- **FC1** : Gère l'arrivée des boîtes vers la ligne, assure leur guidage vers une seule file, et contrôle l'autorisation de passage en fonction de l'état du système et le choix de produit. Ce bloc, structuré en 30 réseaux, permet de garantir un flux fluide et ordonné.
- **FC2** : Assure le comptage des boîtes arrivant sur la station, leur fixation, puis la découpe automatique. Ce bloc, structuré en 61 réseaux, garantit que chaque boîte est correctement positionnée et ouverte pour la récupération du contenu.
- **FC3** : Assure le contrôle du moteur pas à pas pour le déplacement séquentiel des boîtes au sein de la station de découpe. Cette fonction repose sur l'utilisation de blocs de fonctions tels que `MC_Power`, `MC_MoveRelative`, ainsi que d'autres blocs normalisés, afin de garantir un positionnement précis et une gestion optimisée des mouvements de l'axe.
- **FC4** : Cette fonction, structurée en 55 réseaux, est dédiée à la mesure du pH du produit contenu dans les fûts. En fonction de la valeur mesurée, le système détermine automatiquement l'emplacement de vidange adéquat (zone de récupération si le produit est conforme, ou de rejet dans le cas contraire). Dans ce dernier cas, le fût devra obligatoirement être nettoyé (rinçage puis séchage) avant d'être rechargé lors d'un prochain cycle, afin de garantir l'hygiène du processus.
- **FC5** : Cette fonction contrôle le moteur pas à pas situé à la station de contrôle qualité, permettant le déplacement séquentiel des fûts contenant le produit après leur remplissage et la mesure du pH. Elle utilise des blocs de fonctions tels que `MC_Power`, `MC_MoveRelative`..., garantissant une précision maximale et un contrôle optimal des déplacements de l'axe.
- **FC6** : Cette fonction, structurée en 100 réseaux, est responsable de l'affichage des états des différents composants du système sur l'écran HMI (Interface Homme-Machine). Elle permet de présenter de manière claire et compréhensible les informations relatives aux capteurs, actionneurs et autres dispositifs. Les états des composants sont affichés à l'aide de symboles, textes ou couleurs spécifiques, permettant à l'utilisateur de visualiser instantanément le fonctionnement du système et de réagir rapidement en cas d'anomalie.
- **FC7** : Cette fonction, structurée en 51 réseaux, est responsable de la gestion des alarmes affichées à l'opérateur sur l'écran HMI. Lorsqu'une anomalie est détectée dans le processus (par exemple, un capteur défectueux, un dépassement de seuil de pH ou une erreur de moteur), une alerte est générée et affichée en temps réel sur l'interface HMI. Les alertes inclure le type d'anomalie afin de permettre à l'opérateur de réagir rapidement et efficacement.
- **FC8** : Cette fonction, structurée en 113 réseaux, est chargée d'afficher la liste des événements sur l'écran HMI. Les événements incluent des actions importantes du système, telles que le démarrage ou l'arrêt des processus, les changements d'état des composants, et encore les messages d'information généraux. La liste des événements est mise à jour en temps réel, et chaque événement est accompagné de détails tels que la date, l'heure, la description de l'événement et éventuellement le statut de

l'action concernée. Ces informations sont affichées sous forme de texte, facilitant ainsi le suivi et la traçabilité des actions et anomalies par l'opérateur.

— **FC9** : Cette fonction, développée en langage SCL et structurée en 51 lignes, permet d'organiser et d'envoyer les alarmes vers l'application mobile de supervision conçue sous Node-RED. Cela permet à l'opérateur de recevoir en temps réel, sur l'interface mobile, les notifications critiques liées au fonctionnement du système.

Tous les fonctions sont appelées dans le bloc principal du programme, appelé **Main (OB1)**. Ce bloc exécute les fonctions de manière ordonnée, selon l'état des capteurs et les conditions de fonctionnement. Cela permet de garantir le bon déroulement du processus et d'assurer une réponse cohérente et efficace du système. Les blocs fonctions décrits précédemment sont représentés dans l'arborescence générale du projet, illustrée en figure IV.7.

#### IV.5.1.2 Bloc de fonction (FB)

Pour le contrôle des moteurs pas à pas dans notre système, nous avons utilisé plusieurs blocs de fonctions normalisés issus de la bibliothèque de mouvement. Ces blocs permettent une gestion précise et sécurisée des déplacements :

— **MC_Halt** : utilisé pour l'arrêt immédiat du moteur pas à pas.

— **MC_Power** : permet l'alimentation et l'activation du moteur.

— **MC_MoveRelative** : réalise un déplacement relatif, très utile pour les mouvements par pas ou sur une distance donnée.

— **MC_Reset** : réinitialise les erreurs éventuelles du système d'axe.

— **MC_Home** : exécute le référencement de l'axe, indispensable pour définir une position d'origine fiable.

L'ensemble de ces blocs de fonctions est intégré dans la FC3, qui assure le contrôle du moteur pas à pas de la station de découpe, et dans la FC5, dédiée au moteur pas à pas de la station de contrôle qualité [27].

#### IV.5.1.3 Bloc de données

Notre programme utilise plusieurs blocs de données (**DB**) pour mémoriser des informations essentielles pour le bon fonctionnement du système.

On distingue deux types de blocs de données utilisés :

— **Les DB globaux** : Ces blocs sont indépendants et ne sont pas associés à un FB en particulier. Ils sont utilisés pour stocker des variables utiles dans différentes parties du programme. Par exemple :

  — `DB7` et `DB8` permettent de mémoriser le nombre de boîtes à découper selon le produit sélectionné (lait ou Candy Choco).

  — `DB19` est utilisé pour enregistrer les valeurs de pH mesurées pour chaque fût.

  — D'autres blocs de données sont dédiés à la sauvegarde des temps qui déclenchent certaines actions, comme les temporisations d'ouverture de la vanne d'eau utilisée pour le nettoyage.

  — Un bloc spécifique est également réservé à la sauvegarde de l'état des alarmes, informations ensuite utilisées dans la fonction `FC9` pour envoyer les notifications vers l'interface mobile développée sous Node-RED.

— **Les DB d'instance** : Ce sont des blocs automatiquement associés à chaque `FB` (Function Block). Ils permettent de conserver l'état interne de ces blocs entre les cycles du programme. Par exemple, ils enregistrent l'état des moteurs as à pas (activation, arrêt, déplacement en cours...) ou encore les résultats intermédiaires liés aux mouvements des axes. Cette mémoire est essentielle pour assurer un comportement cohérent du système d'un cycle à l'autre.

La structure du programme présentée ci-dessus (figure IV.7) a été conçue pour assurer le bon déroulement des différentes étapes du processus automatisé. Elle permet de piloter les stations de manière ordonnée.

### IV.5.2 Présentation générale du fonctionnement de la ligne

Le processus de récupération du contenu des boîtes défectueuses est automatisé à travers un enchaînement de séquences pilotées par un automate programmable **SIEMENS S7-1200**.

Le schéma fonctionnel global IV.8 présenté ci-dessous offre une vue d'ensemble de la logique décisionnelle du système. Sans entrer dans le détail de chaque séquence, il met en évidence les grandes lignes de l'organisation du processus, en illustrant les interactions principales entre les entrées, les états du système et les réponses des actionneurs.

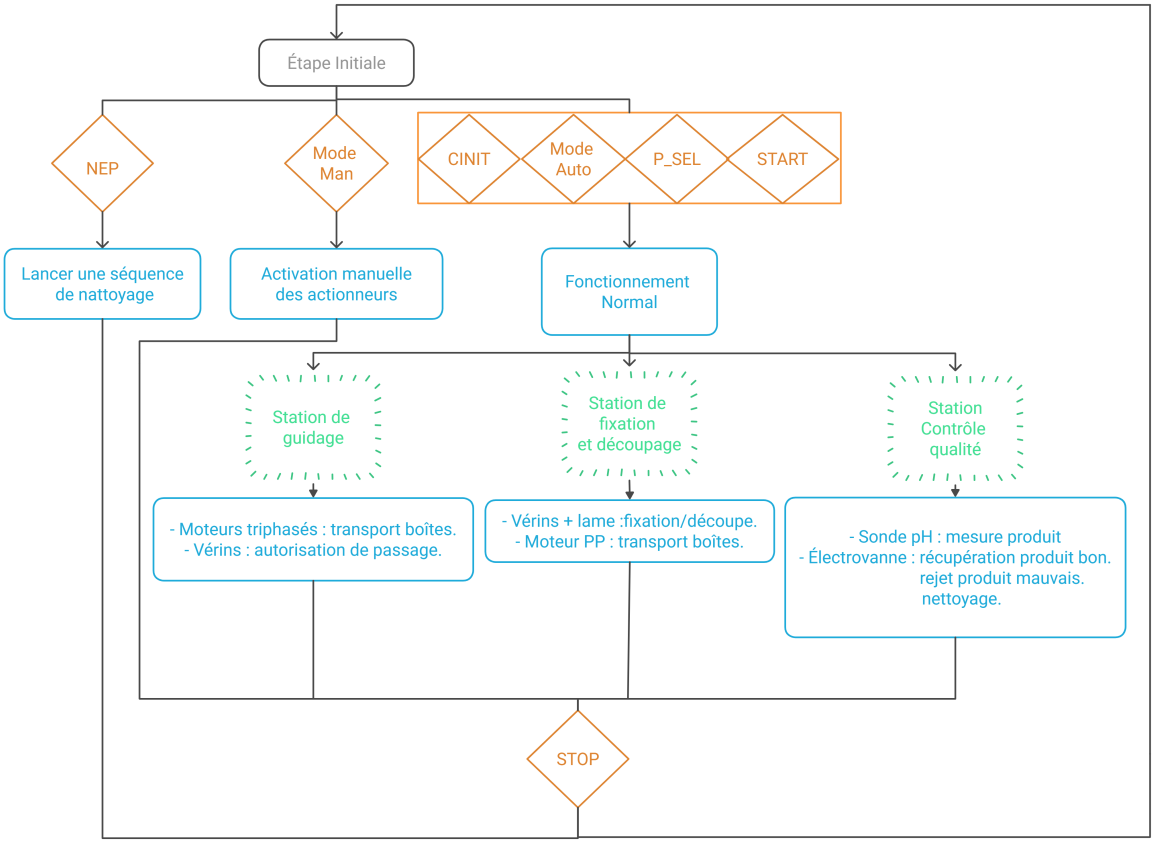



FIGURE IV.8 – Schéma fonctionnel global du système

L'architecture fonctionnelle repose sur trois modes de fonctionnement principaux, déterminés en fonction du besoin opérationnel :

— **Mode NEP (Nettoyage en Place)** : Afin d'assurer l'hygiène de l'installation et la qualité du produit récupéré, une séquence automatique de nettoyage (NEP) est déclenchée manuellement par les opérateurs toutes les 48 heures de fonctionnement. Cette opération permet de nettoyer les fûts de la table tournante, lesquels transportent le produit récupéré tout au long du processus. La séquence utilise des vannes pilotées pour réaliser un rinçage à l'eau suivi d'un séchage à l'air comprimé. Le déroulement est automatisé via des temporisations programmées dans l'automate, garantissant un nettoyage complet et efficace sans intervention manuelle supplémentaire.

— **Mode manuel** : Ce mode est réservé aux interventions de maintenance. Il permet d'actionner manuellement les différents actionneurs de l'installation (moteurs, vérins, vannes ...) via l'interface IHM, à des fins de test, de diagnostic ou d'entretien. Chaque actionneur peut être forcé individuellement en toute sécurité.

— **Mode automatique** : Ce mode enclenche le cycle de traitement standard, basé sur une supervision continue de l'état des capteurs et une coordination logique des actionneurs répartis sur les trois stations principales : guidage, fixation/découpe et contrôle qualité. Chaque station intervient selon une séquence déterminée, assurant le déroulement optimal du processus de récupération et garantissant un fonctionnement fluide et sécurisé.

### IV.5.3 Déroulement du fonctionnement normal – Détail par station

Dans ce qui suit, nous décrivons le fonctionnement en mode automatique, à travers une analyse séquentielle des trois stations principales.

#### IV.5.3.1 Station 1 : Guidage – Logique de fonctionnement

Cette station est responsable du rassemblement et de l'orientation des boîtes pour leur acheminement vers la station suivante. Les opérateurs déposent manuellement les boîtes de manière aléatoire, sans se soucier de leur orientation initiale.

Le principal objectif de cette station est d'assurer que chaque boîte soit guidée vers une ligne de convoyage unique, en position horizontale et correctement alignée, peu importe la manière dont elle a été déposée. Le fonctionnement de cette station dépend du **mode automatique**, du signal `START`, ainsi que des états des fins de course du vérin de sélection.

Les étapes du processus sont les suivantes :

— Le moteur M3 (convoyeur de sortie) est activé en premier dès que les conditions de démarrage sont remplies.

— Dès l'activation de M3, le moteur M2 s'active. Celui-ci fonctionne à une vitesse plus rapide que les autres convoyeurs.

— Enfin, le moteur M1 (convoyeur d'entrée) démarre, avec une vitesse inférieure à celle de M2.

Le vérin de sélection se positionne en fonction du produit choisi via l'IHM :

— Pour le **Lait**, le vérin se déplace jusqu'au fin de course `FC_Lait`.

— Pour le **CandyChoco**, il se place sur `FC_CandyChoc`.

Le vérin de sécurité, quant à lui, régule le passage des boîtes. Si le nombre de boîtes traitées est inférieur à celui à découper, il laisse passer les boîtes. Si ce nombre est atteint, il bloque le passage pour éviter toute accumulation.

Les extraits LADDER ci-dessous (IV.10 et IV.9) montrent des exemples de programmation pour la commande de ces actionneurs.

- `Commande du vérin de sécurité` : L'extrait suivant illustre la logique de commande du vérin de sécurité, en fonction des conditions d'avancement liées au nombre de boîtes traitées.

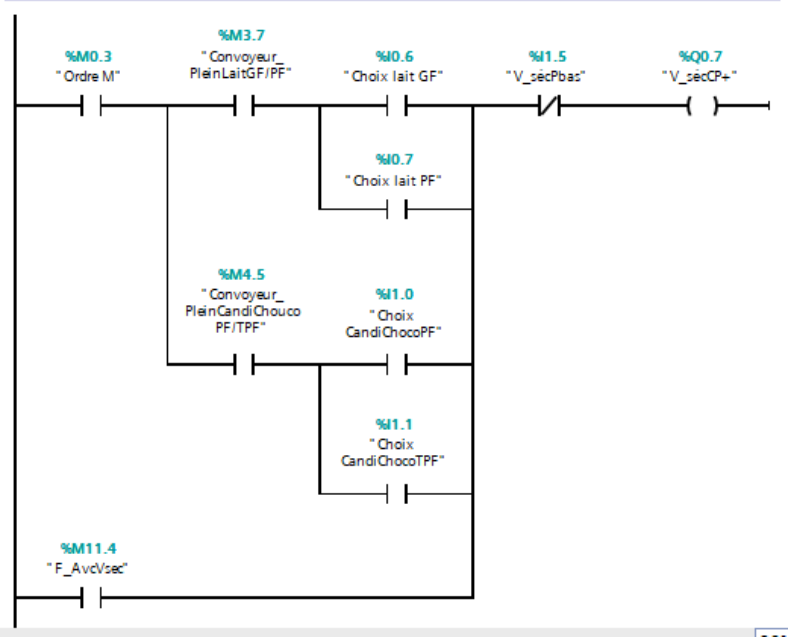



FIGURE IV.9 – Extrait Ladder – Exemple de commande du vérin de sécurité

- `Commande du moteur M1` : Le moteur M1 est contrôlé par une logique de bascule SR, permettant son activation et désactivation selon les conditions définies.

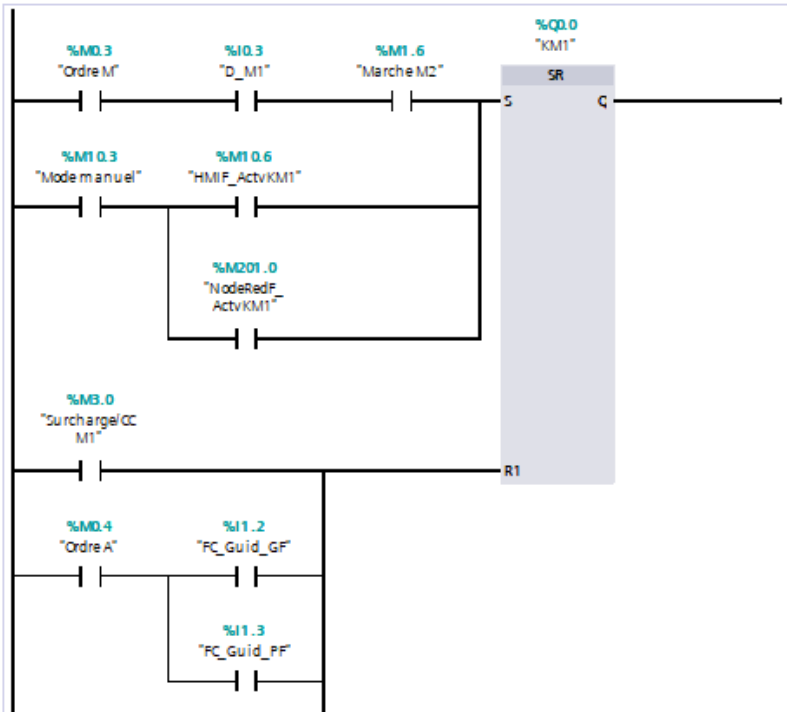



FIGURE IV.10 – Extrait Ladder – Logique de commande du moteur M1

### IV.5.3.2 Station 2 : Fixation et Découpage – Logique de fonctionnement

Cette station a pour rôle de fixer les boîtes, les découper, puis évacuer leur contenu. Elle s'appuie sur un ensemble coordonné de capteurs, moteurs et vérins pour réaliser ces opérations de manière automatique.

À l'entrée de la station, un capteur détecte chaque boîte et incrémente un compteur. Tant que le nombre de boîtes détectées est inférieur au nombre requis pour la découpe (défini selon le produit choisi), le moteur pas à pas active le convoyeur. Ce dernier est équipé d'ouvertures permettant à la lame de passer et au produit de s'écouler.

Une fois le compteur atteint, le moteur pas à pas s'arrête. Les vérins de fixation se déploient alors de chaque côté pour immobiliser les boîtes. Lorsque celles-ci sont correctement fixées, le vérin de positionnement vertical amène la lame à hauteur de découpe, selon le produit sélectionné.

La découpe est ensuite réalisée par un mouvement horizontal de la lame, assuré par un vérin linéaire. Cela permet de couper les boîtes en deux et de libérer leur contenu.

Après la découpe :

— La lame retourne à sa position initiale,

— Le moteur pas à pas redémarre pour évacuer les boîtes découpées,

— Les vérins de fixation se rétractent pour préparer la station à un nouveau cycle.

Les extraits suivants (IV.12 et IV.11) illustrent la programmation LADDER utilisée pour la commande de certains éléments dans cette station.

`-Détection et comptage des boîtes` : Le compteur est incrémenté à chaque détection par le capteur d'entrée.

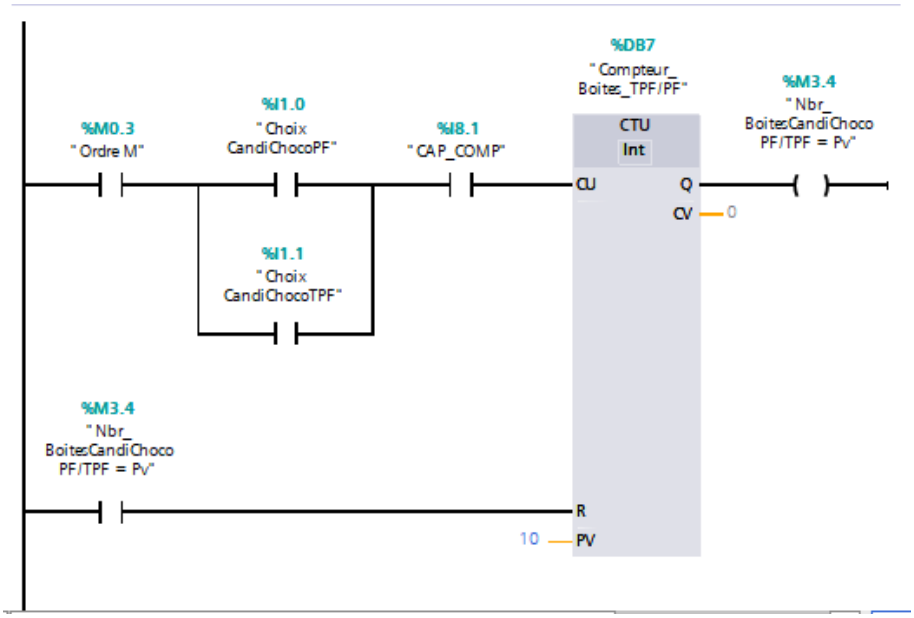



FIGURE IV.11 – Extrait Ladder – Logique de comptage des boîtes

-`Commande du moteur pas à pas` : Utilisation d'un bloc MC_MoveRelative pour un déplacement précis selon la distance souhaitée.

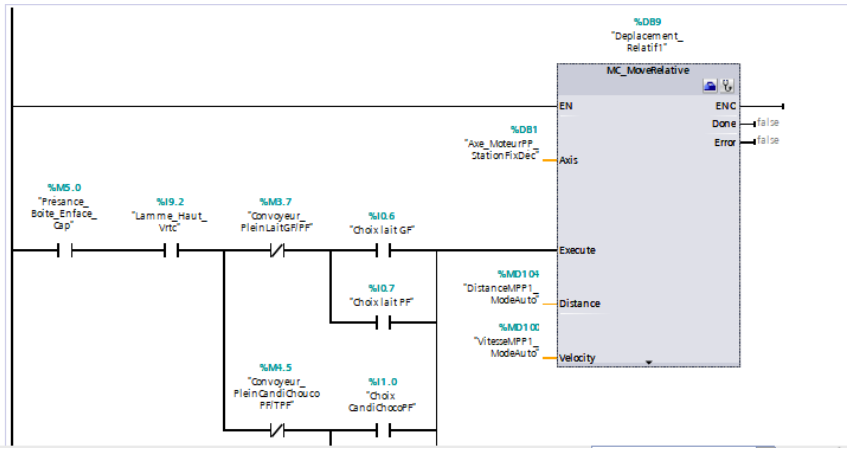



FIGURE IV.12 – Extrait Ladder – Commande du moteur pas à pas (déplacement relatif)

#### IV.5.3.3 Station 3 : Contrôle qualité – Logique de fonctionnement

La station de contrôle qualité permet d'analyser le produit liquide extrait des boîtes découpées, afin de trier automatiquement le bon produit du mauvais. Elle repose sur une trémie, une table tournante à six fûts, des capteurs analogiques, des vérins, des électrovannes et un moteur pas à pas.

Le liquide s'écoule depuis le convoyeur de découpe dans une trémie. Un capteur de niveau y est installé : si le niveau devient trop haut, la lame de découpe est automatiquement arrêtée pour éviter tout débordement. Une électrovanne située en bas de la trémie permet de déverser le liquide dans le fût en attente sous la trémie.

La table tournante, pilotée par un moteur pas à pas, dispose de six positions, chacune repérée par un fin de course. Lorsqu'un fût arrive en position 1, il commence à être rempli si son niveau est inférieur à 20 litres (mesuré par un capteur analogique). La table ne peut tourner que si les vérins portant le capteur de pH et l'électrovanne de nettoyage sont bien relevés.

Une fois le fût plein, la table tourne de 60 degrés pour placer le fût en position 2. À ce moment-là, un vérin descend le capteur de pH dans le fût. Une fois la mesure réalisée (détection par fin de course bas et temporisation), la valeur du pH est enregistrée, puis le vérin remonte.

Si les conditions de rotation sont remplies, la table avance à la position 3. Si le pH est correct, une électrovanne s'ouvre pour transférer le liquide vers un réservoir de stockage de 500 L en vue d'une réutilisation.

Si le pH est mauvais, le fût est déplacé à la position 4, où une autre électrovanne est activée pour rejeter le produit non conforme.

En position 5, un nettoyage automatique est effectué : un vérin descend un dispositif de fermeture du fût, et une électrovanne d'eau est activée pour le rinçage. Après temporisation, les vérins se rétractent.

Enfin, en position 6, si le fût contenait du produit non conforme, une électrovanne d'air comprimé est activée pour sécher le fût.

Une fois le cycle terminé, le fût revient en position 1 pour un nouveau remplissage.

En parallèle de ces opérations, si le réservoir de 500 L atteint son niveau haut, une pompe est activée pour transférer le produit vers la ligne de réutilisation.

# IV.6 Interconnexions et extensions

## IV.6.1 Communication entre automates S7-1200 et S7-1500 – Coordination du transfert du produit récupéré

Dans notre système, la récupération du produit conforme issu des boîtes défectueuses s'effectue dans un réservoir de 500 L, situé à la fin de la **Station 3 : Contrôle qualité**. Une fois ce réservoir plein, une pompe doit être activée pour transférer le liquide vers une nouvelle ligne de transformation. Cependant, ce transfert ne peut être réalisé que si le bac récepteur de la ligne suivante (Station du système de revalorisation) est capable de recevoir le liquide. Cette contrainte nécessite donc une **communication inter-automates** entre :

— S7-1200 (CPU 1215C) : automate principal chargé du déclenchement de la pompe de transfert.
— S7-1500 (CPU 1516-3 PN/DP) : automate secondaire chargé du contrôle du niveau du bac de réception.

**a. Objectif de la communication :** L'automate **S7-1200** est chargé de contrôler l'activation de la **pompe de transfert**. Toutefois, pour que cette pompe soit activée en toute sécurité, il est important que le **bac de réception**, géré par le contrôleur **S7-1500**, soit prêt à recevoir le liquide.

Pour cela, l'automate **S7-1200** doit connaître en temps réel l'état de ce bac, c'est-à-dire savoir s'il est vide ou en capacité de recevoir un nouveau volume de produit. Cette information est représentée par une variable booléenne `Bool_Niveau_OK_BacReception` située dans la mémoire du **S7-1500**. Elle prend la valeur `TRUE` lorsque le niveau dans le bac est inférieur au seuil critique, indiquant que la pompe peut être activée sans risque.

**b. Technologie utilisée :** La technologie **S7 Communication** via les blocs systèmes `PUT`/`GET` est utilisée pour échanger les données entre les deux automates [28].

**c. Variables échangées :** Les variables échangées permettent à l'automate S7-1200 de prendre les décisions nécessaires concernant l'activation de la pompe de transfert. Le tableau IV.2 présente les principales variables impliquées dans cette communication.

Table IV.2 – Variables échangées entre le S7-1200 et le S7-1500

| Variable | Type | Direction | Signification |
|---|---|---|---|
| `Bool_Niveau_OK_BacReception` | BOOL | S7-1500 → S7-1200 | Indique que le bac récepteur peut recevoir du produit |
| `Bool_ActiverPompe` | BOOL | Interne S7-1200 | Commande pour activer la pompe |

**d. Configuration réseau dans TIA Portal :** Les deux automates sont intégrés dans un **même projet TIA Portal** et connectés via **Profinet**, comme illustré dans la figure IV.13 ci-dessous :

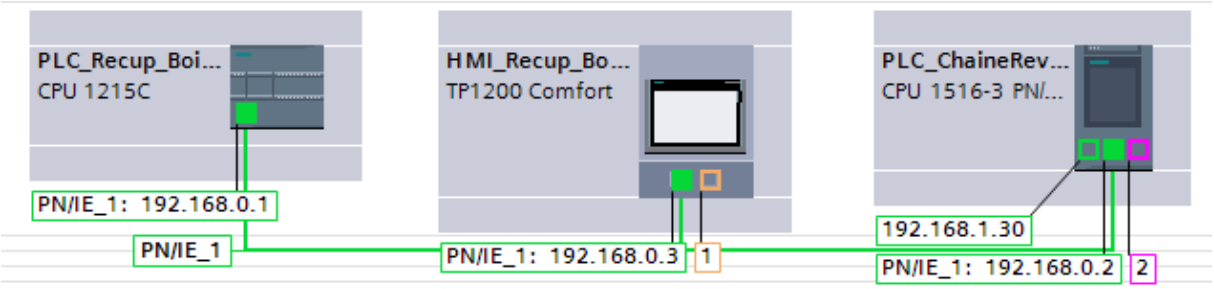



FIGURE IV.13 – Configuration de la communication entre les automates S7-1200 et S7-1500 dans TIA Portal

— **S7-1200 (PLC_Recup_Boites)** : IP `192.168.0.1`
— **S7-1500 (PLC_ChaineRevalorisation)** : IP `192.168.0.2`
— **IHM (TP1200 Comfort)** : IP `192.168.0.3`

**Paramètres importants :**

— Le S7-1500 est ajouté comme *partner device* dans le projet du S7-1200.
— La communication `PUT/GET` est explicitement autorisée dans les paramètres de protection du S7-1500 (Protection & Sécurité).

**e. Schéma fonctionnel simplifié :** Le schéma suivant (figure IV.14) met en évidence la dépendance logique entre l'état du bac récepteur détecté par le S7-1500 et le déclenchement de la pompe pilotée par le S7-1200.

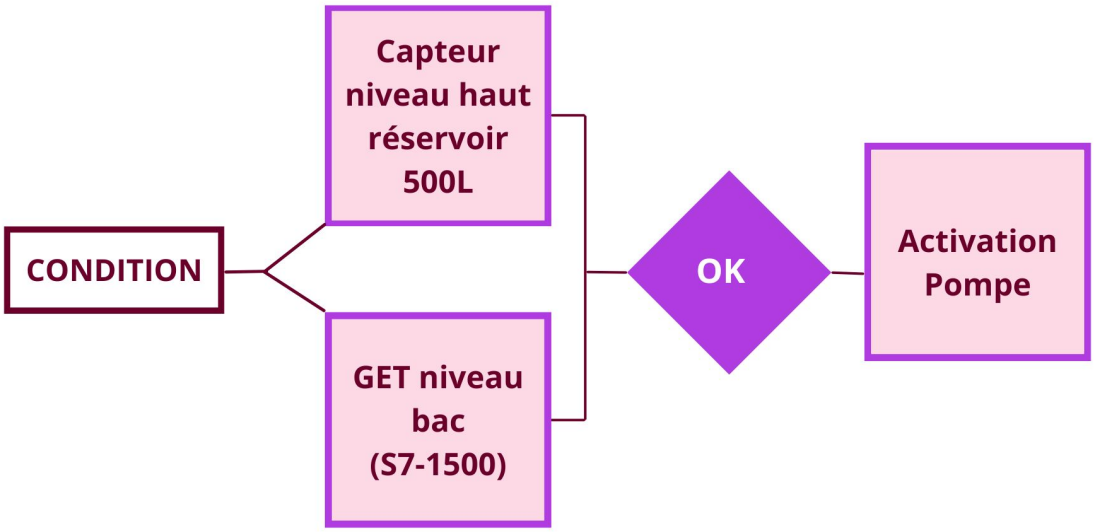



FIGURE IV.14 – Principe de communication mis en place.

### IV.6.2 Intégration du Raspberry Pi 400 et gestion des données

**a. Objectifs et rôle dans le système** Dans le cadre de notre projet de récupération, nous avons intégré un **Raspberry Pi 400** afin de remplir plusieurs fonctions clés :

- Servir de passerelle entre le système automatisé (S7-1200) et la partie supervision/archivage.
- Collecter et archiver les données critiques issues du process : nombre de boîtes traitées, mesures de pH, état des actionneurs, alarmes.
- Offrir une interface de visualisation et de traçabilité des données via une interface web distante.

Le Raspberry Pi 400 s'intègre ainsi dans l'architecture globale comme un **centre de données autonome**.

**b. Organisation et déploiement matériel** Pour garantir la simplicité de maintenance, nous avons opté pour une organisation indépendante, avec les rôles suivants :

- **Automate principal S7-1200** : commande des actionneurs, traitement du process (guidage, découpe, contrôle qualité) et prétraitement des données critiques.
- **Raspberry Pi 400** : connecté à l'automate via un câble Ethernet (réseau interne `192.168.1.100`), équipé d'un écran HDMI pour contrôle local et accessible à distance [29] via SSH ou VNC.
- **Base de données MySQL** : hébergée directement sur le Raspberry Pi 400, permettant l'exploitation autonome des données process[30].

**c. Mise en service et configuration logicielle Préparation du Raspberry Pi 400**

- Installation de **Raspberry Pi OS 64 bits** pour plus de performance et de compatibilité avec les bibliothèques industrielles.
- Configuration réseau :
  - Adresse IP statique : `192.168.1.100`.
  - Activation de SSH (pour contrôle distant) et VNC (pour prise en main graphique si nécessaire), illustrée à la figure IV.15
- Sécurisation des accès (mots de passe forts).

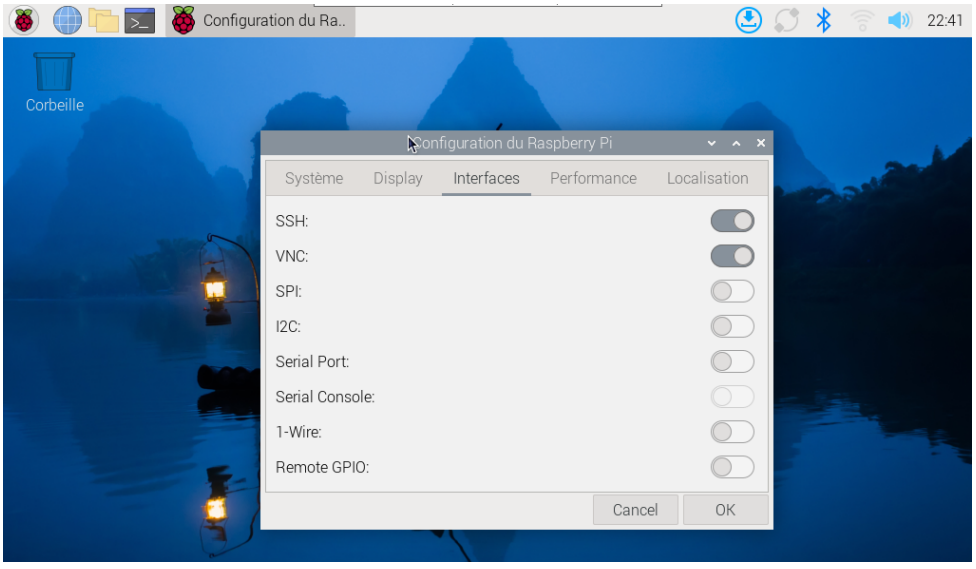



FIGURE IV.15 – Activation des services SSH et VNC

**Base de données** :

— Installation de **MySQL** comme serveur de base de données pour centraliser les données process.

— Création de tables adaptées :

— `candia_production` : nombre de boîtes traitées par lot.

— `mesures_ph` : valeurs de pH collectées lors du tri.

— `alarmes` : alarmes du process avec date et description.

— `historique_machines` : événements (arrêt, démarrage,...).

Le schéma relationnel IV.16 ci-dessous illustre la structure de la base de données, en représentant les différentes tables et leurs champs respectifs :

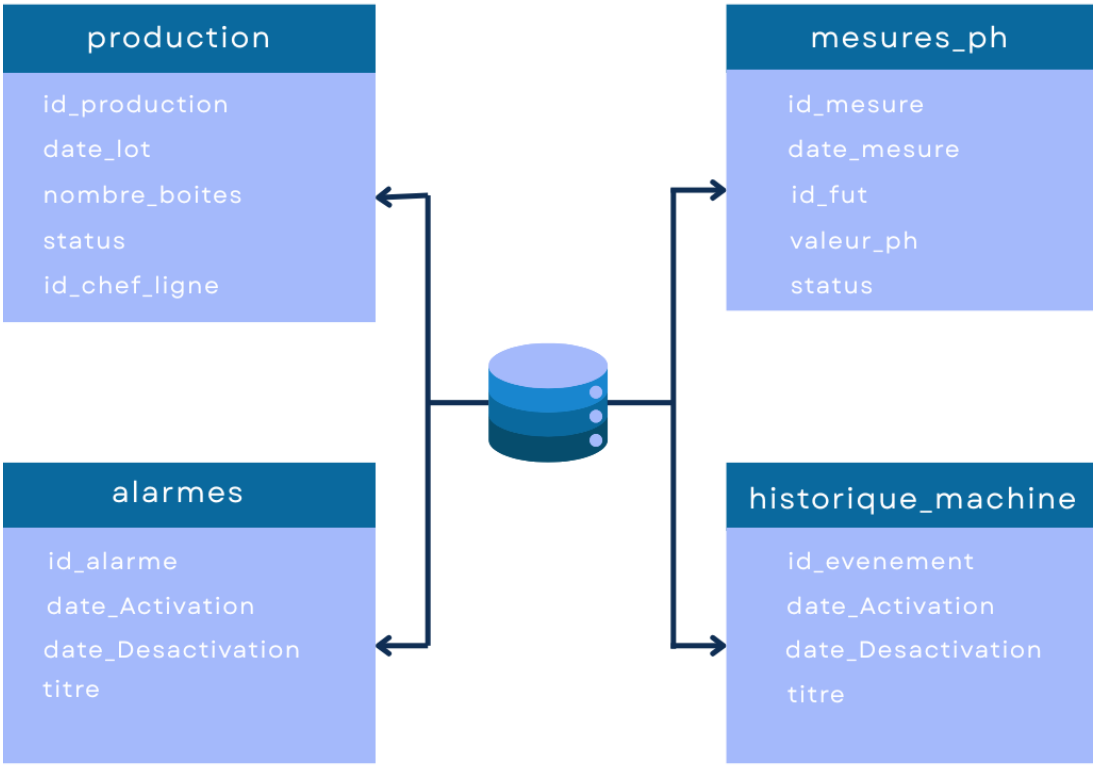



FIGURE IV.16 – Schéma des tables de la base de données MySQL

Cette intégration permet d'assurer une traçabilité complète du process de récupération des boîtes défectueuses.

# IV.7 Test du programme

Après avoir terminé la programmation, nous avons testé le programme pour nous assurer qu'il fonctionne correctement avant l'installation sur site. Pour cela, nous avons utilisé une simulation logicielle avec l'outil PLCSIM.

## IV.7.1 Mise en ligne du programme et simulation

Nous avons utilisé **PLCSIM**, un outil intégré à TIA Portal V16, pour simuler le fonctionnement sans utiliser le matériel réel. Cette simulation nous a permis de :

— Tester les différentes fonctions du programme.

— Simuler des situations normales et des erreurs.

— Ajuster les temporisations et les paramètres.

— Vérifier la communication entre les deux automates.

La figure IV.17 montre l'état du système lors de la mise en ligne du code dans l'environnement de développement.

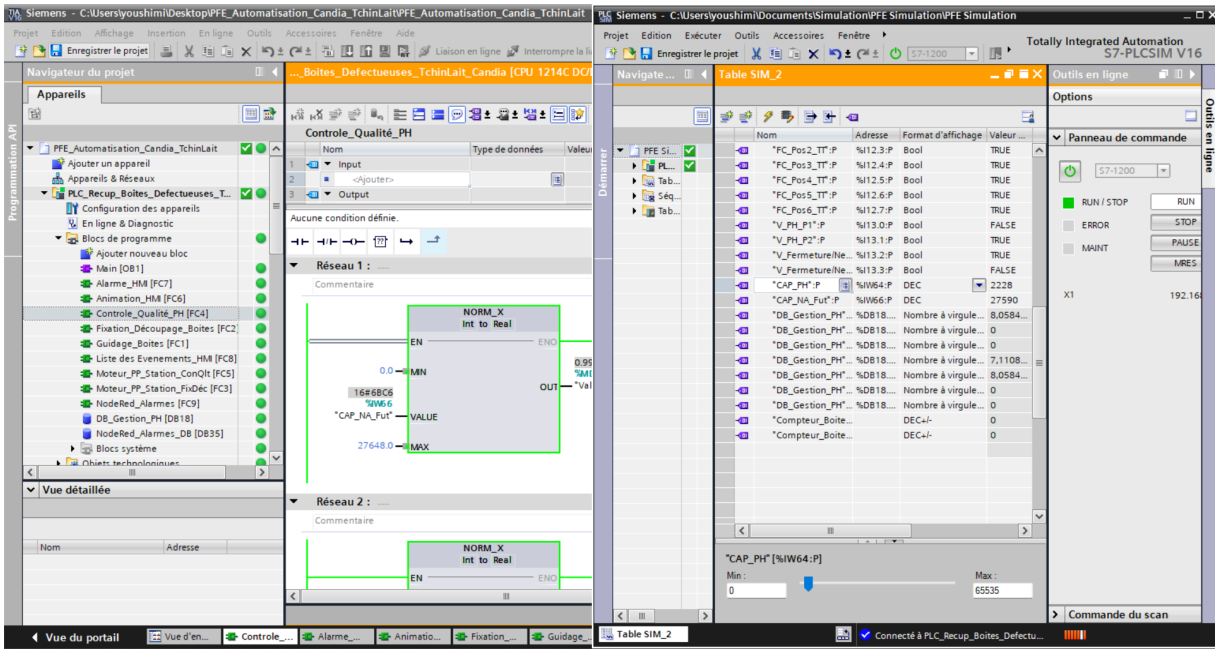


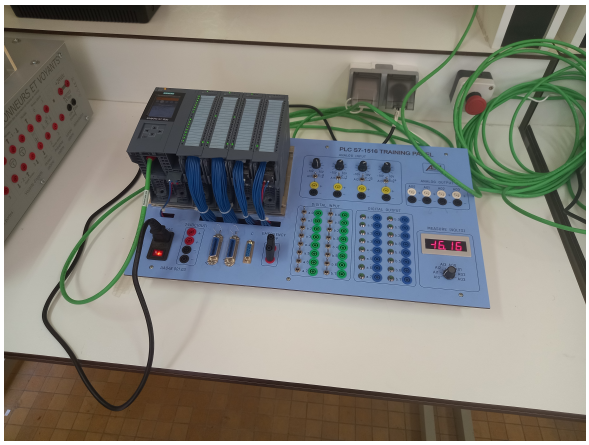

FIGURE IV.17 – Mise en ligne du programme dans TIA Portal

# IV.8 Implémentation

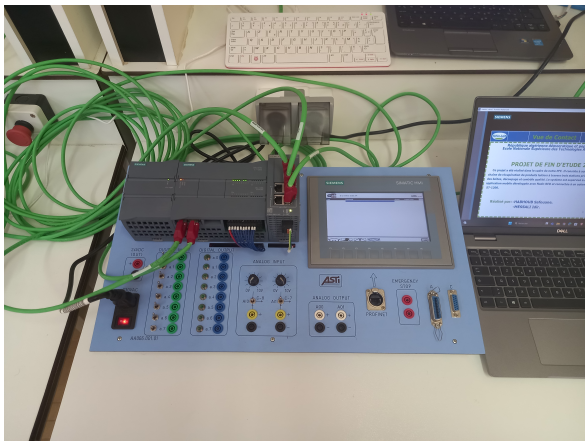
Cette partie décrit comment nous avons installé les automates sur le terrain et réalisé les premiers tests avec le câblage réel.

Pendant cette phase, nous avons forcé certaines entrées pour observer les résultats sur les sorties. Cela nous a permis de confirmer que le programme réagit comme prévu.

Les deux figures IV.18a et IV.18b montrent les deux automates installés et câblés.



(a) Automate S7-1500 câblé



(b) Automate S7-1200 câblé

FIGURE IV.18 – Configuration des deux automates

La figure IV.19 montre la liaison réseau entre les deux automates pour permettre les échanges de données.



FIGURE IV.19 – Réseau Profinet entre les deux automates

## IV.9 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les étapes de programmation et de mise en service du système. Le programme a été développé de manière claire avec des blocs bien organisés.

Grâce à la simulation avec PLCSIM, nous avons pu corriger les erreurs avant l'installation réelle. Ensuite, l'installation des automates et les premiers tests sur le terrain ont confirmé que le programme fonctionne bien. La communication entre les deux automates a aussi été mise en place avec succès.

# Chapitre V

# Supervision et Simulation

# V.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter les différentes solutions de supervision mises en place pour assurer un suivi optimal du système automatisé. Cela inclut principalement les interfaces homme-machine ainsi qu'une application mobile, toutes deux conçues pour permettre une surveillance en temps réel et une interaction fluide avec le processus industriel.

# V.2 Supervision via IHM

La supervision du système est assurée par une interface homme-machine (IHM) développée sous WinCC, intégrée dans TIA Portal V16. Cette interface joue un rôle essentiel dans l'exploitation du système, en offrant à l'opérateur une visibilité en temps réel sur l'état global du processus, ainsi qu'un accès aux commandes manuelles, aux mesures de capteurs, aux alarmes et aux évenements.

## V.2.1 Variables IHM

Les variables IHM représentent les points de données échangés entre l'API et l'interface opérateur IHM. Dans notre application de supervision développée sous **TIA Portal (WinCC)**, deux types de variables IHM ont été définis : **les variables connectées** et **les variables non connectées**.

— **Variables connectées** : sont directement liées aux adresses de l'automate. Elles permettent la lecture et l'écriture en temps réel des données process, comme les états des capteurs, les commandes des vérins ou moteurs, ou encore l'affichage de mesures analogiques telles que le niveau de liquide ou la valeur du pH.

— **Variables non connectées** : quant à elles, ne sont pas associées à une adresse mémoire de l'automate. Elles sont exclusivement utilisées dans l'IHM pour des fonctions locales, telles que la gestion de l'affichage conditionnel, la navigation entre les pages, ou le déclenchement d'animations et de temporisations internes à l'interface.

Cette structuration en deux catégories permet d'optimiser la communication avec l'automate tout en offrant une plus grande souplesse dans la conception de l'IHM.

L'image V.1 ci-dessous présente un extrait des variables IHM déclarées dans notre projet, illustrant clairement cette distinction entre variables connectées et non connectées.

Variables IHM

| Nom | Table de variables | Type de données | Connexion | Nom API | Variable API |
|---|---|---|---|---|---|
| Actv_Vue de forçage des Actionneurs MPP | VAR_HMI_NonConnct | Bool | <Variable inter... | | <indéfini> |
| Actv_Vue de forçage des Actionneurs SCQ | VAR_HMI_NonConnct | Bool | <Variable interne> | | <indéfini> |
| Actv_Vue de forçage des Actionneurs SFD | VAR_HMI_NonConnct | Bool | <Variable interne> | | <indéfini> |
| Actv_Vue de forçage des Actionneurs SG | VAR_HMI_NonConnct | Bool | <Variable interne> | | <indéfini> |
| Act_VueContact | VAR_HMI_NonConnct | Bool | <Variable interne> | | <indéfini> |
| Act_VueGestionUtilisateurs | VAR_HMI_NonConnct | Bool | <Variable interne> | | <indéfini> |
| Act_VuePilotageMoteurPP | VAR_HMI_NonConnct | Bool | <Variable interne> | | <indéfini> |
| Act_VueSupervisionpH | VAR_HMI_NonConnct | Bool | <Variable interne> | | <indéfini> |
| Activation_MoteurPP1_Status | VAR_HMI_Connct | Bool | HMI_Liaison_1 | PLC_Recup_Boites_Defectue.. | Activation_MoteurPP1.Status |
| Activation_MoteurPP2_Status | VAR_HMI_Connct | Bool | HMI_Liaison_1 | PLC_Recup_Boites_Defectue.. | Activation_MoteurPP2.Status |
| ActManuelMPP1 | VAR_HMI_Connct | Bool | HMI_Liaison_1 | PLC_Recup_Boites_Defectue.. | ActManuelMPP1 |
| ActManuelMPP2 | VAR_HMI_Connct | Bool | HMI_Liaison_1 | PLC_Recup_Boites_Defectue.. | ActManuelMPP2 |
| Actv_VueAcceuil | VAR_HMI_NonConnct | Bool | <Variable interne> | | <indéfini> |
| Actv_VueAlarms | VAR_HMI_NonConnct | Bool | <Variable interne> | | <indéfini> |
| Actv_VueEvnts | VAR_HMI_NonConnct | Bool | <Variable interne> | | <indéfini> |
| Actv_VuePrmtEcran | VAR_HMI_NonConnct | Bool | <Variable interne> | | <indéfini> |
| Actv_VueSynoptique | VAR_HMI_NonConnct | Bool | <Variable interne> | | <indéfini> |
| Alarme1 | VAR_HMI_Connct | Word | HMI_Liaison_1 | PLC_Recup_Boites_Defectue.. | Alarme1 |
| Alarme2 | VAR_HMI_Connct | Word | HMI_Liaison_1 | PLC_Recup_Boites_Defectue.. | Alarme2 |
| Alarme3 | VAR_HMI_Connct | Word | HMI_Liaison_1 | PLC_Recup_Boites_Defectue.. | Alarme3 |
| Alarme4 | VAR_HMI_Connct | Word | HMI_Liaison_1 | PLC_Recup_Boites_Defectue.. | Alarme4 |
| AngleMPP2_ModeAuto | VAR_HMI_Connct | DWord | HMI_Liaison_1 | PLC_Recup_Boites_Defectue.. | AngleMPP2_ModeAuto |
| Animation_V1FixD | VAR_HMI_Connct | Byte | HMI_Liaison_1 | PLC_Recup_Boites_Defectue.. | Animation_V1FixD |

FIGURE V.1 – Exemple de table des variables HMI

### V.2.2 Configuration des alarmes sur l'IHM

La supervision via **WinCC (TIA Portal)** comprend une gestion structurée des alarmes pour assurer une détection rapide des défaillances et une intervention efficace de l'opérateur. Cinq catégories principales d'alarmes ont été définies :

**1. Alarmes électriques et de commande** Ces alarmes couvrent les problèmes liés à l'alimentation et aux éléments de commande :

— Déclenchement d'un disjoncteur.

— Défaut de contacteur (non enclenché ou collé).

— Absence de tension malgré une commande.

— Anomalie de câblage détectée par absence de retour logique.

**2. Alarmes vérin** Alarmes liées au fonctionnement des vérins pneumatiques :

— Vérin bloqué en position (aucun signal de fin de course atteint).

— Vérin non démarré dans le temps imparti après une commande.

**3. Alarmes électrovannes** Ces alarmes signalent un déclenchement incohérent des électrovannes :

— Électrovanne activée hors séquence logique.

— Temps de réponse ou de remplissage anormal.

**4. Alarmes qualité** Elles concernent les données issues des capteurs analogiques :

— Valeur du pH hors de la plage tolérée

— Défaut de mesure du capteur de pH.

**5. Alarmes de sécurité** Alarmes critiques déclenchées lors de situations dangereuses :

— Appui sur un bouton d'arrêt d'urgence.

— Ouverture d'une porte sécurisé.

Pour illustrer la mise en œuvre concrète de cette configuration, la figure V.2 ci-dessous présente un extrait de la table des alarmes, où chaque alarme est associée à une variable automate, un message opérateur explicite, une classe de priorité.

**Alarmes de bit**

| ID | Nom | Texte d'alarme | Classe d'alarmes |
|---|---|---|---|
| 28 | Alarme_de_bit_28 | Blocage vérin linéaire : position indéterminée | Alarmes des vérins |
| 29 | Alarme_de_bit_29 | Erreur fins de courses vérin linéaire: deux activées simultanément | Alarmes des vérins |
| 30 | Alarme_de_bit_30 | Défaut démmarage vérin linéaire | Alarmes des vérins |
| 31 | Alarme_de_bit_31 | Blocage vérin pH : position indéterminée | Alarmes des vérins |
| 32 | Alarme_de_bit_32 | Erreur fins de courses vérin pH: deux activées simultanément | Alarmes des vérins |
| 33 | Alarme_de_bit_33 | Défaut démmarage vérin pH | Alarmes des vérins |
| 34 | Alarme_de_bit_34 | Blocage vérin de nettoyage : position indéterminée | Alarmes des vérins |
| 35 | Alarme_de_bit_35 | Erreur fins de courses vérin de nettoyage: deux activées simultanément | Alarmes des vérins |
| 36 | Alarme_de_bit_36 | Défaut démmarage vérin de nettoyage | Alarmes des vérins |
| 37 | Alarme_de_bit_37 | Anomalie EV recharge: ouverture sans fût | Alarmes des électrovannes |
| 38 | Alarme_de_bit_38 | Erreur EV décharge fût 1: Activation incorrecte | Alarmes des électrovannes |
| 39 | Alarme_de_bit_39 | Erreur EV décharge fût 2: Activation incorrecte | Alarmes des électrovannes |
| 40 | Alarme_de_bit_40 | Erreur EV décharge fût 3: Activation incorrecte | Alarmes des électrovannes |
| 41 | Alarme_de_bit_41 | Erreur EV décharge fût 4: Activation incorrecte | Alarmes des électrovannes |
| 42 | Alarme_de_bit_42 | Erreur EV décharge fût 5: Activation incorrecte | Alarmes des électrovannes |
| 43 | Alarme_de_bit_43 | Erreur EV décharge fût 6: Activation incorrecte | Alarmes des électrovannes |
| 44 | Alarme_de_bit_44 | Valeur de pH fût 1 hors plage | Alarmes Qualité |
| 45 | Alarme_de_bit_45 | Valeur de pH fût 2 hors plage | Alarmes Qualité |
| 46 | Alarme_de_bit_46 | Valeur de pH fût 3 hors plage | Alarmes Qualité |
| 47 | Alarme_de_bit_47 | Valeur de pH fût 4 hors plage | Alarmes Qualité |
| 48 | Alarme_de_bit_48 | Valeur de pH fût 5 hors plage | Alarmes Qualité |
| 49 | Alarme_de_bit_49 | Valeur de pH fût 6 hors plage | Alarmes Qualité |
| 50 | Alarme_de_bit_50 | Fermuture anormale EV nettoyage | Alarmes des électrovannes |
| 51 | Alarme_de_bit_51 | Arrêt d'urgence enclenché | Alarmes de sécurité |

FIGURE V.2 – Extrait de la configuration des alarmes dans TIA Portal.

### V.2.3 Gestion des événements et traçabilité

Afin d'assurer une traçabilité complète du système automatisé, l'IHM intègre une gestion des événements permettant d'afficher en temps réel toutes les actions, transitions et changements d'état, tout en les enregistrant automatiquement dans un journal. Cette fonctionnalité offre à l'opérateur un historique détaillé des opérations, facilitant ainsi le diagnostic, la maintenance préventive et le suivi de production.

La figure V.3 ci-dessous présente un extrait de la configuration des événements dans TIA Portal pour notre projet, où chaque événement est associé à une variable, un message explicite et des paramètres de journalisation, garantissant ainsi une traçabilité fiable du processus.

| ID | Nom | Texte d'alarme | Classe d'alarmes |
|---|---|---|---|
| 52 | Alarme_de_bit_52 | Marche enclenchée | Evenements |
| 53 | Alarme_de_bit_53 | Choix des boites de lait de 1L | Evenements |
| 54 | Alarme_de_bit_54 | Choix des boites de lait de 50cL | Evenements |
| 55 | Alarme_de_bit_55 | Choix des boites de Candy-Choco de 20cL | Evenements |
| 56 | Alarme_de_bit_56 | Choix des boites de Candy-Choco de 12.5cL | Evenements |
| 57 | Alarme_de_bit_57 | Arrêt normal enclenché | Evenements |
| 58 | Alarme_de_bit_58 | Arrêt d'urgence enclenché | Evenements |
| 59 | Alarme_de_bit_59 | Vérin de sélection en position - Passage de lait autorisé | Evenements |
| 60 | Alarme_de_bit_60 | Vérin de sélection en position - Passage de Candy Choco autorisé | Evenements |
| 61 | Alarme_de_bit_61 | Vérin de sécurité en position de repos - Passage autorisé | Evenements |
| 62 | Alarme_de_bit_62 | Vérin de sécurité en position de blocage - Passage interdit | Evenements |
| 63 | Alarme_de_bit_63 | Vérins de fixation à gauche en position de repos - Aucune boites maintenue | Evenements |
| 64 | Alarme_de_bit_64 | Vérins de fixation à gauche en position - Boites de lait 1L sécurisé | Evenements |
| 65 | Alarme_de_bit_65 | Vérins de fixation à gauche en position - Boites de lait 0.5L sécurisé | Evenements |
| 66 | Alarme_de_bit_66 | Vérins de fixation à gauche en position - Boites de Candy Choco 20cL sécurisé | Evenements |
| 67 | Alarme_de_bit_67 | Vérins de fixation à gauche en position - Boites de Candy Choco 12.5cL sécurisé | Evenements |
| 68 | Alarme_de_bit_68 | Vérins de fixation à droite en position de repos - Aucune boites maintenue | Evenements |
| 69 | Alarme_de_bit_69 | Vérins de fixation à droite en position - Boites de lait 1L sécurisé | Evenements |
| 70 | Alarme_de_bit_70 | Vérins de fixation à droite en position - Boites de lait 0.5L sécurisé | Evenements |
| 71 | Alarme_de_bit_71 | Vérins de fixation à droite en position - Boites de Candy Choco 20cL sécurisé | Evenements |
| 72 | Alarme_de_bit_72 | Vérins de fixation à droite en position - Boites de Candy Choco 12.5cL sécurisé | Evenements |
| 73 | Alarme_de_bit_73 | Vérins de positionnement vertical de la lame en position de repos | Evenements |
| 74 | Alarme_de_bit_74 | Vérins de positionnement vertical de la lame en position - Prêt pour le découpage d | Evenements |
| 75 | Alarme_de_bit_75 | Vérins de positionnement vertical de la lame en position - Prêt pour le découpage d | Evenements |

FIGURE V.3 – Extrait de la configuration des événements dans TIA Portal.

### V.2.4 Gestion des utilisateurs et Droits d'accès

Afin de sécuriser l'accès à l'IHM et de limiter les actions en fonction des rôles, un système de gestion des utilisateurs a été mis en place dans TIA Portal. Chaque utilisateur appartient à un groupe défini selon son niveau d'autorisation : opérateur, technicien ou ingénieur.

Trois niveaux de droits ont été configurés :

— **Opérateurs** : accès aux fonctions de supervision et d'exploitation de base.

— **Techniciens** : accès aux fonctions de maintenance et d'exploitation.

— **Ingénieurs** : accès complet à toutes les fonctions, y compris la configuration et l'administration.

Chaque utilisateur est identifié par un nom, un mot de passe, une durée de session et une option de fermeture automatique pour renforcer la sécurité.

La figure V.4 suivante présente la configuration des utilisateurs et des groupes dans l'environnement de développement WinCC.

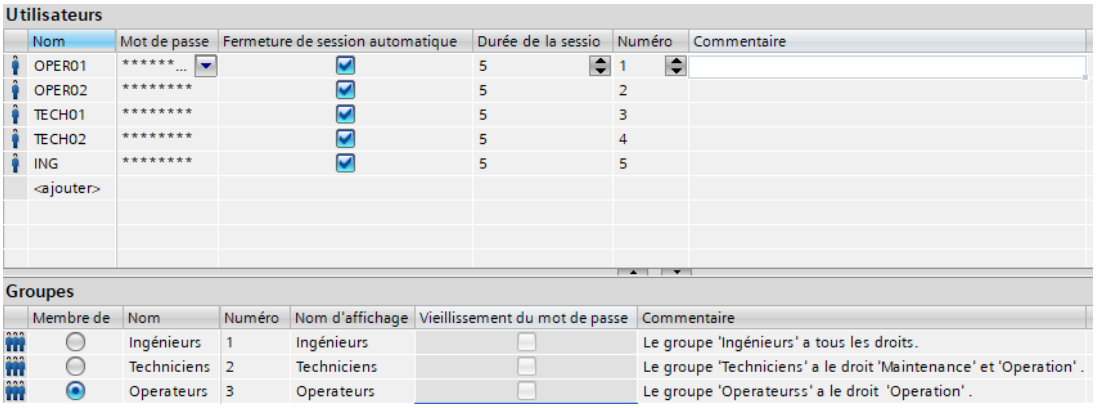



FIGURE V.4 – Extrait de la configuration des événements dans TIA Portal.

### V.2.5 Structure générale de l'IHM

L'interface homme-machine (IHM) développée pour notre système est organisée en plusieurs vues principales, chacune correspondant à une fonction précise du processus. À partir de la vue d'accueil, l'utilisateur peut accéder à l'ensemble des autres vues grâce à un menu de navigation claire et structuré, permettant une supervision globale, rapide et efficace du système.

La figure V.5 ci-dessous illustre l'organisation générale de ces différentes vues au sein de l'interface HMI.




FIGURE V.5 – Présentation des vues disponibles dans l'interface HMI

### a. Vue Accueil

La Vue d'Accueil représente le point d'entrée principal de notre interface IHM développée sous WinCC. Cette vue intègre des composants clés tels que l'identification graphique via le logo de l'entreprise, l'affichage en temps réel de la date et de l'heure système, ainsi qu'un message d'accueil personnalisé renforçant l'identité de l'installation. Elle est également équipée d'un menu de navigation latéral permettant un accès rapide aux principales fonctionnalités de supervision. Une illustration de cette vue est présentée à la figure V.6




FIGURE V.6 – Vue d'accueil

### b. Vue Synoptique

La vue synoptique constitue une représentation graphique en temps réel de l'ensemble du processus. Elle permet à l'opérateur de visualiser l'état instantané des équipements et leur disposition dans l'installation. Cette vue joue un rôle essentiel dans la surveillance globale du système, en facilitant la détection rapide des anomalies, le suivi des transitions et la localisation précise des composants. L'interface est conçue pour être intuitive, avec des symboles normalisés représentant les moteurs, les vannes, les capteurs et les autres éléments du procédé. La figure V.7 illustre cette vue telle qu'elle est affichée sur l'IHM.

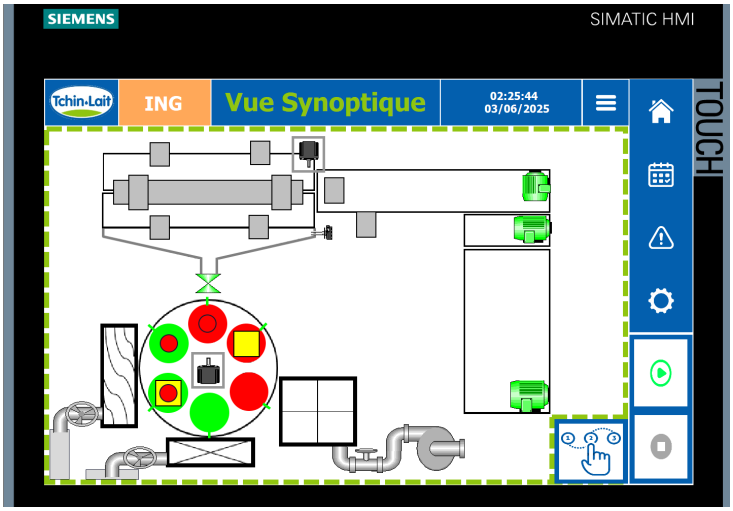



FIGURE V.7 – Vue synoptique

### c. Vue de pilotage des moteurs pas à pas

La figure V.8 représente la vue de pilotage en mode automatique des moteurs pas à pas utilisés dans les deux stations (2 et 3) du système. Cette vue permet de saisir les valeurs cibles, telles que la distance ou l'angle à atteindre, ainsi que la vitesse de déplacement du moteur. Elle offre également la possibilité de remettre le moteur à sa position de départ et d'afficher sa position actuelle en temps réel. Grâce à cette vue, l'opérateur peut superviser et contrôler efficacement le fonctionnement automatique des deux moteurs.

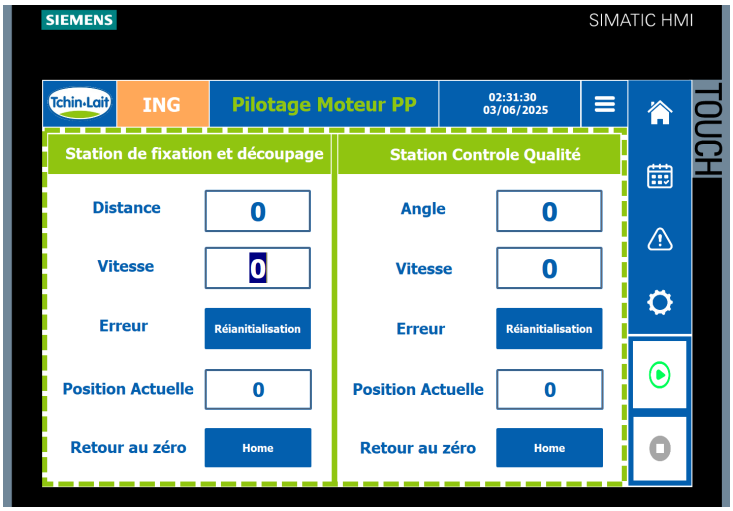



FIGURE V.8 – Vue de pilotage des moteurs pas à pas

### d. Vue d'affichage des valeurs de pH

Afin d'assurer un contrôle qualité rigoureux, une vue dédiée à l'affichage des valeurs de *pH* a été développée. Cette interface permet de visualiser en temps réel la mesure actuelle du capteur de pH ainsi que les dernières valeurs mesurées pour chacun des six fûts du système.

La figure V.9 illustre cette vue d'affichage des mesures de pH.

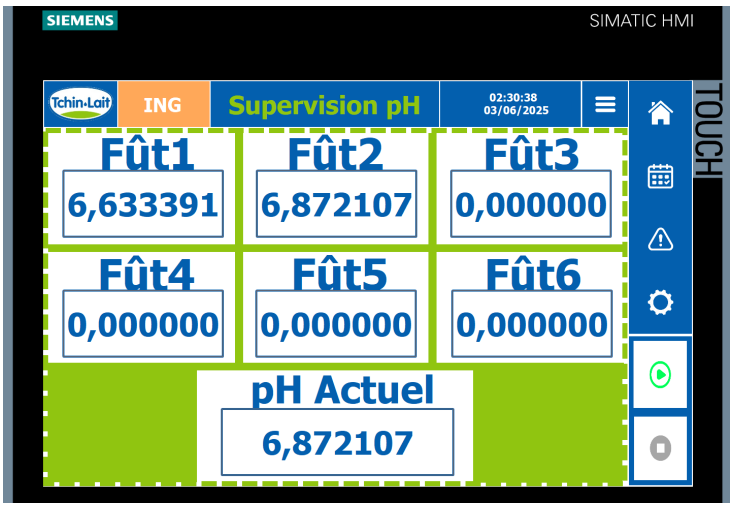



FIGURE V.9 – Vue Supervision pH

### e. Vues de forçage en mode manuel

Les vues de forçage permettent à l'opérateur d'agir manuellement sur les actionneurs du système, en dehors du fonctionnement automatique. Elles sont principalement utilisées pour les tests, la maintenance ou la vérification du bon fonctionnement des composants. Chaque station possède sa propre vue de forçage dédiée, permettant de commander individuellement les vérins, les moteurs triphasés, les moteurs pas à pas, les électrovannes et autres actionneurs.

Ces interfaces offrent des boutons de contrôle pour chaque actionneur concerné. L'affichage est structuré par groupes fonctionnels afin de faciliter la navigation et l'identification rapide des composants à tester.

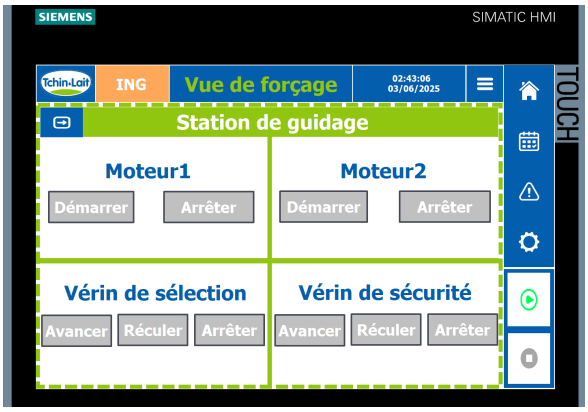
La figure V.10 présente les quatre vues principales de forçage :

— Vue de forçage de la Station 1 : Guidage,

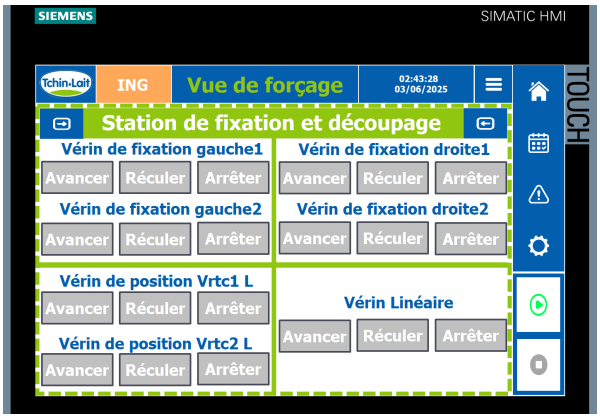
— Vue de forçage de la Station 2 : Fixation et découpe,

— Vue de forçage de la Station 3 : Contrôle Qualité,

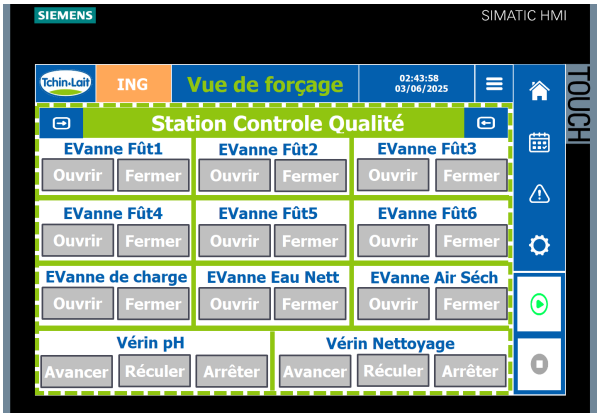
— Vue de forçage des moteurs pas à pas utilisés dans les stations 2 et 3.




(a) Station de guidage




(b) Station de fixation et découpage




(c) Station de contrôle qualité




(d) Moteurs pas à pas

FIGURE V.10 – Vues de forçage en mode manuel

### f. Vue des alarmes

La vue des alarmes permet d'afficher en temps réel l'ensemble des alarmes actives sur l'installation. Chaque alarme est accompagnée d'informations détaillées telles que la description de l'événement, le type d'alarme ainsi que son horodatage. Cette vue permet à l'opérateur de réagir rapidement en cas de défaillance ou d'anomalie détectée sur le système.

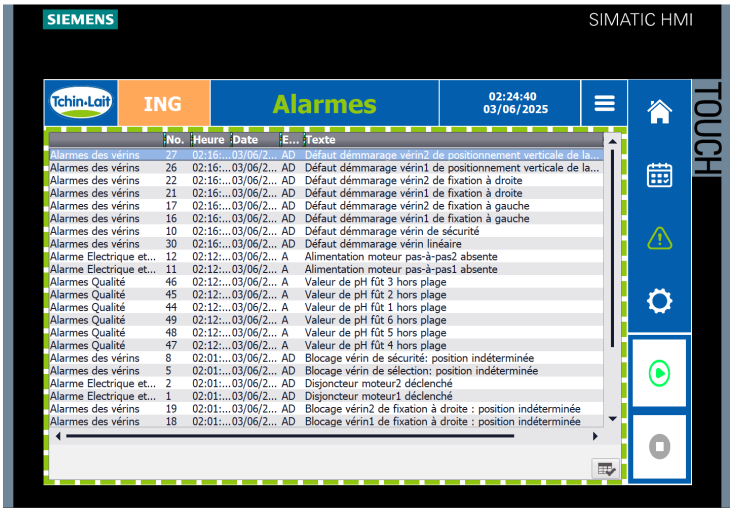



FIGURE V.11 – Vue des alarmes

### g. Vue des événements

La vue de la liste des événements consigne de manière chronologique tous les événements survenus dans le système : activations/désactivations de capteurs, démarrages/arrêts de moteurs, ouvertures/fermetures d'électrovannes... etc. Chaque événement est enregistré avec une date, une heure et une description, permettant ainsi une traçabilité complète du fonctionnement du process.

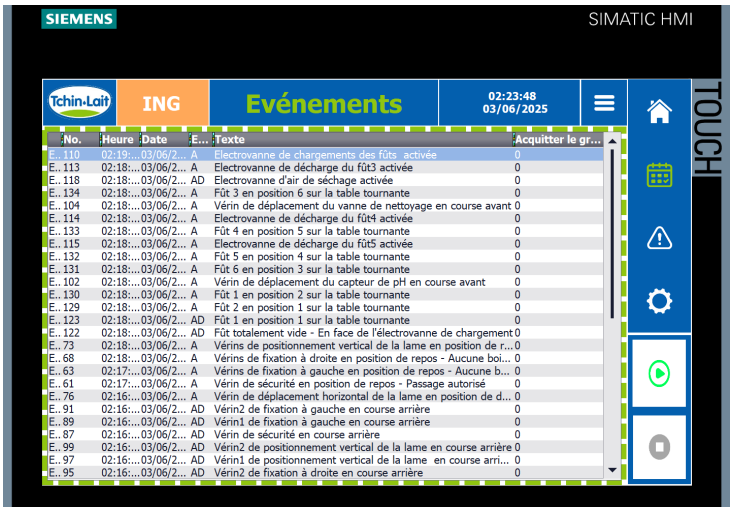



FIGURE V.12 – Vue de la liste des événements

### h. Vue de gestion des utilisateurs

La vue de gestion des utilisateurs assure la sécurité d'accès à l'interface IHM. Elle permet de gérer les comptes utilisateurs (création, modification, suppression) ainsi que l'attribution des droits d'accès par niveau (Opérateur, Maintenance, Administrateur). Cette fonction garantit que seules les personnes autorisées peuvent effectuer certaines opérations critiques sur l'installation.

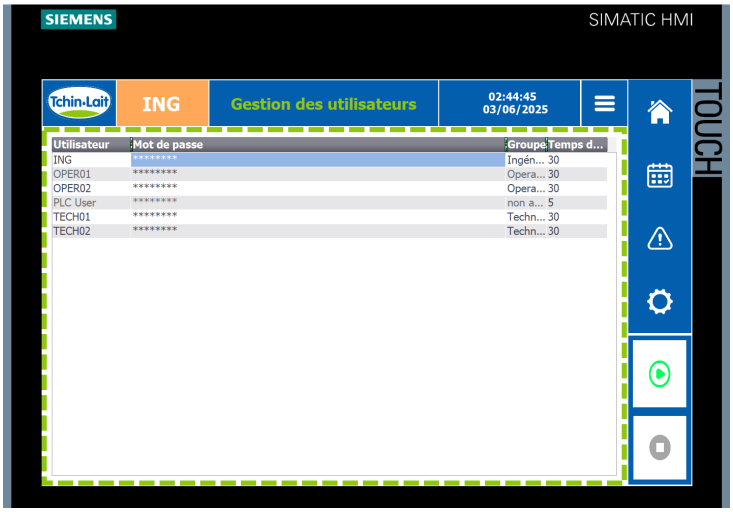



FIGURE V.13 – Vue de gestion des utilisateurs

### i. Vue de contact

La vue de contact regroupe les informations générales relatives au projet. Elle a pour objectif de présenter le contexte de développement de l'interface IHM ainsi que les personnes impliquées dans sa réalisation. Elle permet également de rappeler les objectifs du système automatisé supervisé.

Les éléments affichés dans cette vue sont :

— Le titre et la date de création du projet ,

— L'objectif principal de l'installation,

— Les noms des créateurs (étudiants développeurs),

La figure V.14 montre cette interface telle qu'affichée sur l'IHM.




FIGURE V.14 – Vue de contact et informations sur le projet

### j. Vue des Paramètres d'écran

L'IHM intègre une vue dédiée aux paramètres d'écran, accessible uniquement aux utilisateurs ayant les droits adéquats. Cette interface permet de régler la luminosité, de calibrer ou nettoyer l'écran tactile et aussi d'effectuer des opérations sensibles comme la sauvegarde du système, la déconnexion sécurisée des périphériques, ou la fermeture du mode Runtime. Ces fonctionnalités sont essentielles pour garantir une utilisation fluide, sécurisée et adaptée aux conditions d'exploitation industrielles. La figure V.15 ci-dessous présente cette vue telle qu'elle apparaît sur le panneau opérateur.

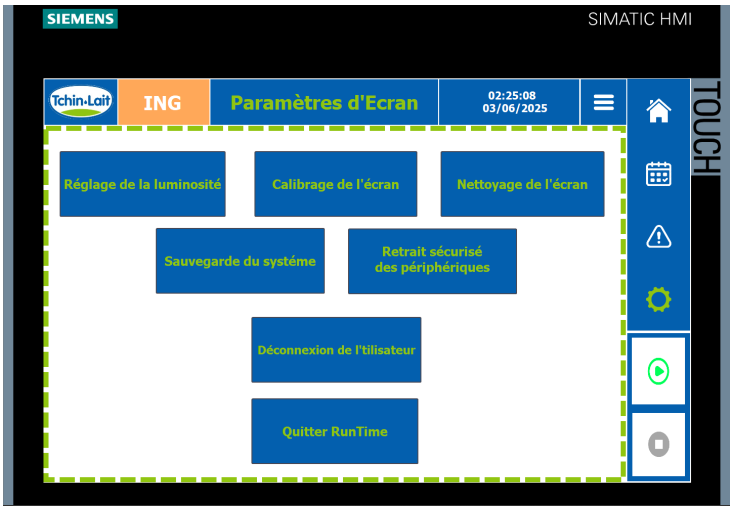



FIGURE V.15 – Vue des paramètres écran

### k. Navigation et affichage contextuel

**Navigation entre les vues** Pour faciliter la navigation entre les différentes vues de l'IHM, un menu latéral coulissant (figure V.16) a été intégré à l'interface. Ce menu reste accessible à tout moment et permet à l'opérateur de passer rapidement d'un écran à un autre. Grâce à cette organisation intuitive, le temps d'accès aux fonctions critiques est réduit, ce qui améliore l'efficacité et la réactivité opérationnelle.




FIGURE V.16 – Slide-in menu

**vues contextuelles dynamiques** Afin d'optimiser l'interaction homme-machine, l'IHM a été enrichie de vues contextuelles (figure V.17) dynamiques qui s'affichent en fonction d'une action spécifique de l'opérateur. Ces vues permettent une supervision ciblée sans encombrer l'interface principale.

— **Surveillance des fins de course :** une fenêtre contextuelle affiche en temps réel l'état logique des capteurs de position des vérins. Elle est utilisée pour vérifier la position de chaque actionneur pneumatique et détecter tout défaut de course.

— **Choix du produit à traiter :** une autre vue contextuelle permet à l'opérateur de sélectionner le type de produit via des boutons dédiés. Ce choix agit directement sur les paramètres de fonctionnement de l'automate, tels que la durée de coupe, les seuils de qualité ou les temps de traitement.

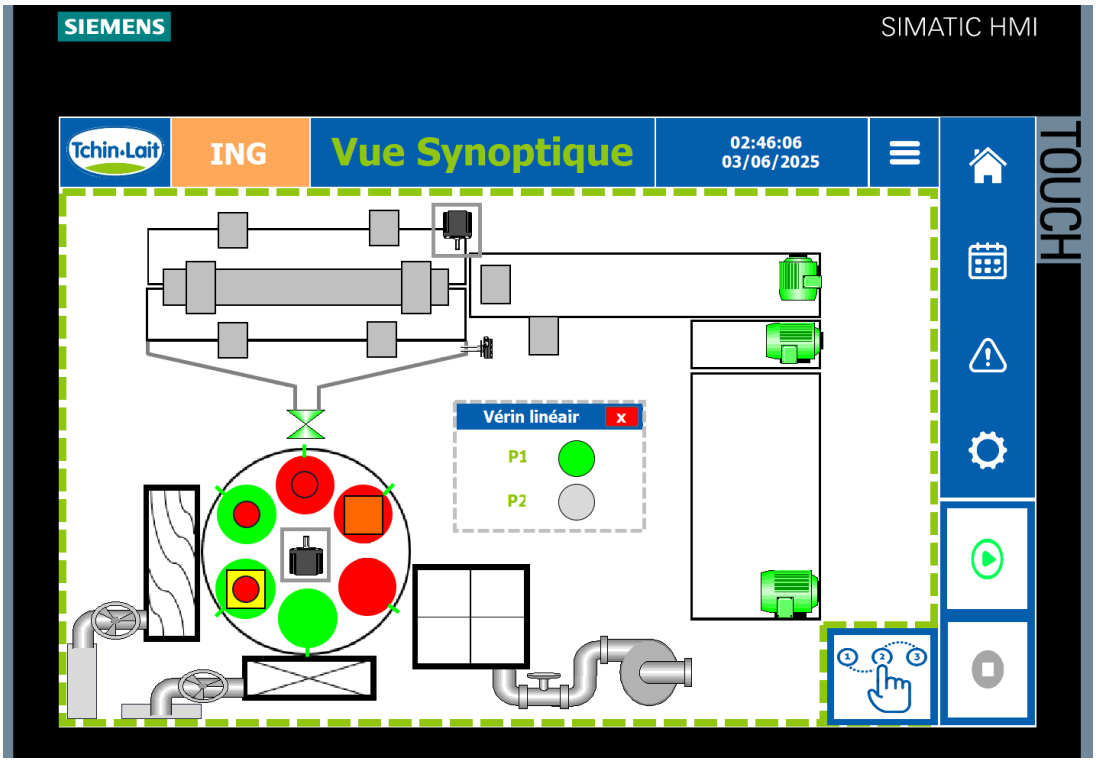



FIGURE V.17 – Vue Contextuel

## V.3 Supervision via une application mobile

Dans le cadre de ce projet, nous avons conçu une application mobile permettant de superviser et de contrôler notre système automatisé à distance, via une connexion Internet. Cette application est hébergée sur un serveur local installé sur un Raspberry Pi. Elle permet à l'utilisateur d'accéder aux données en temps réel, d'envoyer des commandes aux actionneurs, et de surveiller l'état du processus à tout moment. Les technologies utilisées pour le développement de cette application seront détaillées dans notre mémoire du Master.

Dans la figure V.18 suivante, nous présentons des extraits représentatifs des vues de notre application mobile de supervision.

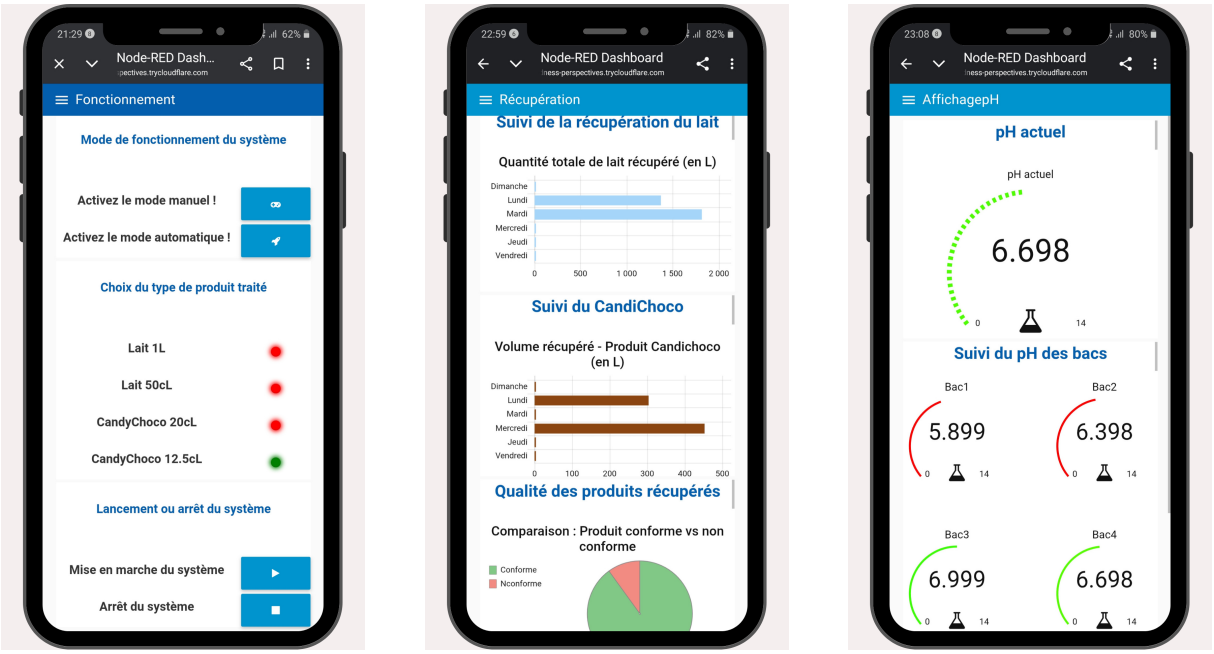



FIGURE V.18 – Application mobile

## V.4 Test et Simulation

La simulation de l'ensemble du processus a été réalisée à travers l'interface **HMI** développée sous **WinCC**. Cette interface a permis de visualiser la logique de fonctionnement du programme automatisé, de simuler les signaux des capteurs, ainsi que d'observer le comportement des sorties en réponse aux différentes conditions définies dans le programme. La figure V.19 illustre l'exécution simulée du processus tel qu'affiché sur l'interface opérateur.

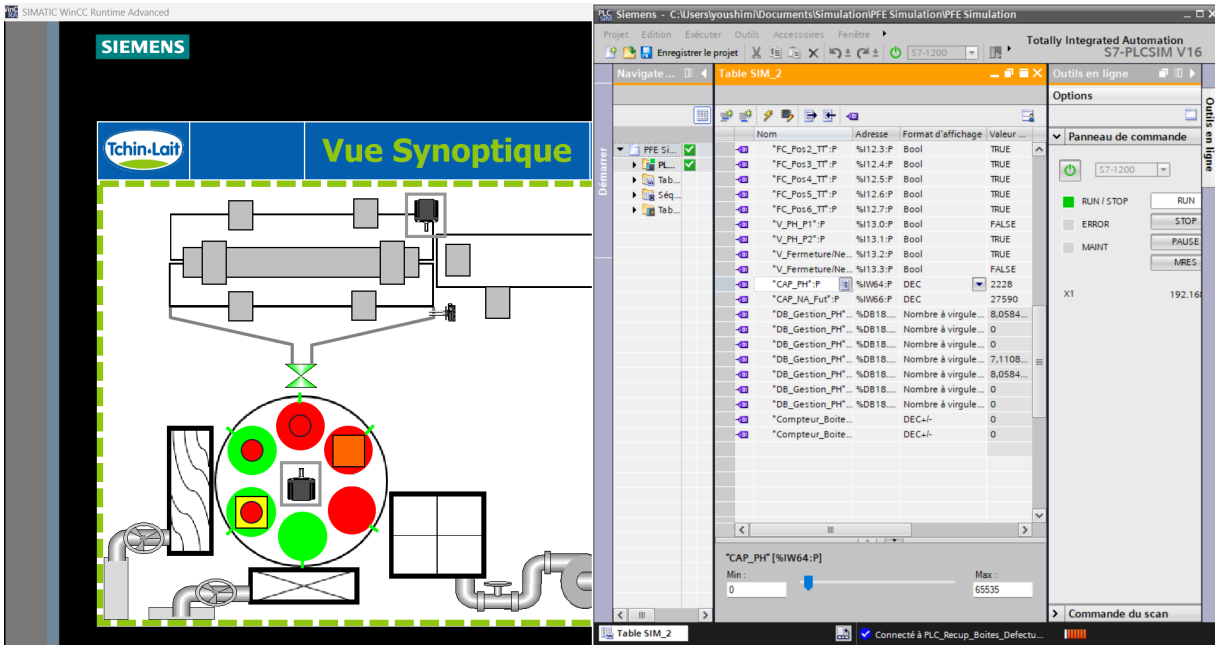



FIGURE V.19 – Simulation du processus sur interface HMI

## V.5 Implémentation

Dans cette partie, nous présentons l'implémentation du système automatisé tel qu'il a été réalisé sur le terrain. Cela comprend la mise en place de l'IHM dans le tableau de commande, l'intégration de la supervision en temps réel via Node-RED, ainsi que l'organisation du câblage assurant la communication entre les différents éléments.

### V.5.1 Implémentation de l'IHM

L'implémentation de l'IHM a consisté à intégrer le code développé dans le tableau de commande, installé au sein de l'entreprise. Une fois le transfert effectué, l'interface a été correctement lancée et fonctionne conformément à la logique prévue, comme présenté dans les figures V.20a et V.20b.




(a) Vue d'accueil (b) Vue synoptique

FIGURE V.20 – Les déférentes vues de l'IHM implémentée

### V.5.2 Visualisation temps réel de l'application Node-RED

L'application Node-RED affiche en temps réel l'état des actionneurs, les mesures de pH et de niveau et les alarmes. Cela permet une supervision efficace du système. Ci-dessous, on présente des figures de l'interface Node-RED en fonctionnement.




(a) Poste de travail – vue d'ensemble (b) Supervision temps réel via Node-RED

FIGURE V.21 – Supervision Node-RED et poste d'implémentation associé.

### V.5.3 Vue d'ensemble du câblage du système

Dans cette phase, le câblage complet du système a été réalisé selon la configuration prévue. La communication entre les automates S7-1200 et S7-1500 a été mise en place via Profinet pour assurer l'échange de données. L'IHM a été connectée au S7-1200, également par Profinet, pour permettre l'affichage et le pilotage local. Le PC de supervision a été relié au Raspberry Pi par liaison Ethernet, ce dernier hébergeant l'application Node-RED. L'accès distant à cette interface est possible via un lien généré par le cloudflared, permettant la consultation du système depuis un PC ou un smartphone, comme illustré dans la figure V.22



FIGURE V.22 – Vue globale du câblage du système

## V.6 Conclusion

Ce chapitre a permis de mettre en lumière les solutions de supervision développées pour répondre aux besoins spécifiques du projet. Les différentes interfaces, qu'elles soient locales ou accessibles à distance, jouent un rôle essentiel dans la gestion du système automatisé. Elles offrent une meilleure visibilité, facilitent l'intervention rapide et permettent une maintenance plus réactive. Les tests réalisés ont confirmé la stabilité et l'efficacité de ces plateformes, montrant qu'elles sont bien adaptées aux exigences de l'environnement industriel ciblé.

# Conclusion et Perspectives

# Conclusion générale

Ce projet de fin d'études a porté sur la conception et la supervision d'une ligne automatisée destinée à la récupération du contenu des boîtes de produits laitiers non conformes, rejetées en sortie de la chaîne principale de production de l'entreprise Tchin-Lait Candia (Beraki). Il a été développé pour remplacer une méthode manuelle jusque-là utilisée, caractérisée par sa lenteur, sa pénibilité pour les opérateurs, ses faibles performances, et son manque de conformité aux normes d'hygiène et de traçabilité. Le système proposé constitue ainsi une solution moderne, fiable, efficace et adaptée aux exigences de l'industrie agroalimentaire.

Tout au long du projet, nous avons adopté une démarche d'ingénierie structurée. Nous avons commencé par une étude de l'existant, ce qui nous a permis d'identifier les limitations du système manuel et de définir un cahier des charges fonctionnel précis. Ensuite, nous avons conçu une architecture globale du système, composée de plusieurs modules : convoyeurs, station de découpe, trémie, table tournante, et stations de vidange, nettoyage et séchage. Chaque module a été modélisé en 3D avec SolidWorks, en tenant compte des contraintes mécaniques, sanitaires et d'encombrement.

Sur le plan électrique et automatisme, nous avons réalisé les schémas électriques, l'adressage des entrées/sorties, et la programmation de l'automate Siemens S7-1200 sur TIA Portal, en utilisant les langages LADDER, SCL, ainsi que des blocs fonctionnels adaptés aux différentes stations. Nous avons également développé une application mobile de supervision avec Node-RED, connectée à l'automate via le protocole S7comm, permettant le pilotage à distance, la visualisation des données, la gestion des alarmes et des utilisateurs, ainsi que l'archivage des informations dans une base de données MySQL.

Bien que la mise en œuvre physique complète du système n'ait pas pu être finalisée, toutes les étapes de conception, de simulation et de programmation ont été réalisées avec rigueur. Les résultats obtenus valident la faisabilité du projet et permettent d'envisager une intégration future sur le terrain. Le système proposé offre une solution qui permettrait, une fois installée, d'assurer une meilleure récupération du produit conforme, de réduire les pertes, d'améliorer l'hygiène, de garantir la sécurité des opérateurs en supprimant les manipulations manuelles, et de permettre une traçabilité complète des opérations. Des éléments tels que la table tournante à six postes, la mesure automatique du pH, et la gestion intelligente des actions en fonction des résultats montrent la pertinence de la solution développée.

Sur le plan personnel, ce projet a représenté une expérience technique et humaine très enrichissante. Il nous a permis de mobiliser nos connaissances en automatisme, mécanique, électricité et informatique industrielle dans un contexte de réalité industrielle. Nous avons également renforcé nos compétences transversales en gestion de projet, travail collaboratif, ainsi que intégration des contraintes terrain.

En conclusion, ce projet, bien que partiellement réalisé sur le plan pratique, a atteint ses objectifs de conception et de simulation. Il constitue une réponse pertinente à une problématique réelle et représente une base solide pour une future mise en œuvre industrielle, tout en nous ayant permis de progresser en tant que futurs ingénieurs.

# Perspectives et évolutions futures

Le projet réalisé constitue une base solide pour l'amélioration des procédés industriels liés à la gestion des produits non conformes. Bien que notre système actuel remplisse efficacement sa fonction, certaines pistes d'évolution peuvent encore être explorées afin

d'augmenter la performance, la fiabilité et l'évolutivité de la solution.

Parmi les perspectives principales, nous citons :

— **Vers une maintenance prédictive** À l'avenir, il serait nécessaire d'exploiter les données de manière intelligente afin de développer un module de maintenance prédictive. Ce module aurait pour but d'anticiper les pannes à partir de l'analyse des tendances (usure des composants, comportement des vérins, fréquence des alarmes, etc.), d'émettre des alertes avancées, et ainsi d'éviter les interruptions imprévues du système.

— **Industrialisation et déploiement à grande échelle** Le système que nous avons développé est actuellement en cours d'implémentation au sein de l'entreprise Tchin-Lait Candia. Bien qu'il ne soit pas encore totalement finalisé, les premiers tests réalisés ont montré des résultats prometteurs. Cela nous encourage à envisager, dans un avenir proche, de déployer cette solution à plus grande échelle, notamment dans d'autres unités de production ou dans d'autres entreprises du secteur agroalimentaire confrontées aux mêmes problématiques. Ce déploiement nécessitera bien sûr quelques adaptations techniques en fonction des particularités de chaque site, mais le concept général reste parfaitement réutilisable.

# Bibliographie

[1] SSI Schäfer. Automatisation en agroalimentaire : Sécurité et qualité améliorées. [Lien], 2024. Consulté le 14 mai 2025.

[2] Candia (Tchin-Lait). Production laitière annuelle des laiteries candia, 2025.

[3] Université de Bordeaux. Analyse fonctionnelle – méthodes de conception des systèmes techniques. [Lien], 2021. Consulté le 3 juin 2025.

[4] Fabien Audry and Philippe Taillard. Analyse fonctionnelle – guide pour le professeur. [Lien], 2010. Consulté le 3 juin 2025.

[5] Lucidchart. Bête à cornes : définition, utilité et méthode. [Lien], s.d. Consulté le 4 juin 2025.

[6] Lucidchart. Diagramme pieuvre : définition, intérêt et création. [Lien], 2022. Consulté le 4 juin 2025.

[7] Tameson. Qu'est-ce qu'un actionneur ? définition, types et applications. [Lien], 2023. Consulté le 21 mai 2025.

[8] SEW-EURODRIVE. Fiche technique – moteur asynchrone drn. [Lien], 2022. Consulté le 21 mai 2025.

[9] Pobot. Moteur pas à pas 57hsxx - fiche technique. [Lien], 2020. Consulté le 12 mai 2025.

[10] Festo. Documentation technique – vérins pneumatiques. [Lien], 2024. Consulté le 4 juin 2025.

[11] Festo. Documentation technique – capteur de position smat-8e. [Lien], 2023. Consulté le 3 mai 2025.

[12] Hamilton Company. Site officiel – capteurs et technologies de mesure. [Lien], 2025. Consulté le 21 mai 2025.

[13] ifm electronic GmbH. Capteur de niveau li5142 – détecteur de niveau capacitif. [Lien], 2023. Consulté le 23 mai 2025.

[14] RS Components. Driver de moteur pas à pas – fiche technique dm542a. [Lien], 2022. Consulté le 21 mai 2025.

[15] Electrotoile. Démarreur et variateur de vitesse pour moteur électrique. [Lien], 2023. Consulté le 20 mai 2025.

[16] Danfoss. Manuel technique – variateur de fréquence vlt®. [Lien], 2023. Consulté le 15 mai 2025.

[17] DFRobot. Manuel d'utilisation – tb6600 stepper motor driver. [Lien], 2024. Consulté le 2 mai 2025.

[18] Vannes24. Fiche technique – Électrodistributeur série 8933. [Lien], 2024. Consulté le 21 mai 2025.

[19] PROFIBUS & PROFINET International. Training and events – profibus & profinet international. [Lien], 2025. Consulté le 13 juin 2025.

[20] Schneider Electric Algérie. Site officiel de schneider electric algérie. [Lien], 2025. Consulté le 25 mai 2025.

[21] Siemens AG. Fiche technique – relais enfichable lzx :pt570024, 4 contacts inverseurs, 24 v dc, 6 a. [Lien], 2024. Consulté le 21 mai 2025.

[22] EPLAN Software & Service. Eplan electric p8. [Lien], 2025. Consulté le 11 mai 2025.

[23] Siemens AG. Simatic step 7 basic/professional v16 and simatic wincc v16 – system manual. [Lien], 2019. Consulté le 3 mars 2025.

[24] Siemens AG. Simatic wincc engineering v16 – runtime unified system manual. [Lien], 2019. Consulté le 4 mars 2025.

[25] PLCopen. Iec 61131-3 : Programming languages for industrial automation. [Lien], 2013. Consulté le 20 mars 2025.

[26] Siemens AG. Simatic s7-1200 programmable controller - system manual, cpu 1215c dc/dc/dc. [Lien], 2020. Consulté le 4 avril 2025.

[27] Siemens AG. Simatic motion control – library manual (mc_power, mc_moverelative...). [Lien], 2020. Consulté le 25 mars 2025.

[28] Siemens AG. S7 communication with put/get. [Lien], 2020. Consulté le 9 mai 2025.

[29] Raspberry Pi Foundation. Raspberry pi documentation. [Lien], 2022. Consulté le 25 avril 2025.

[30] Manel Allaoui and Hanane Moulai Mostefa. Conception et développement d'une base de données et d'une ihm pour la supervision d'un réseau de capteurs sans fils implanté dans une serre agricole. [Lien], 2020. Mémoire de fin d'études, Université de Médéa. Consulté le 15 mai 2025.

[31] LTI Engenharia. Plcs siemens : Ob, fc, fb e db. [Lien], 2021. Consulté le 1er mai 2025.

# Annexes

# Annexe A

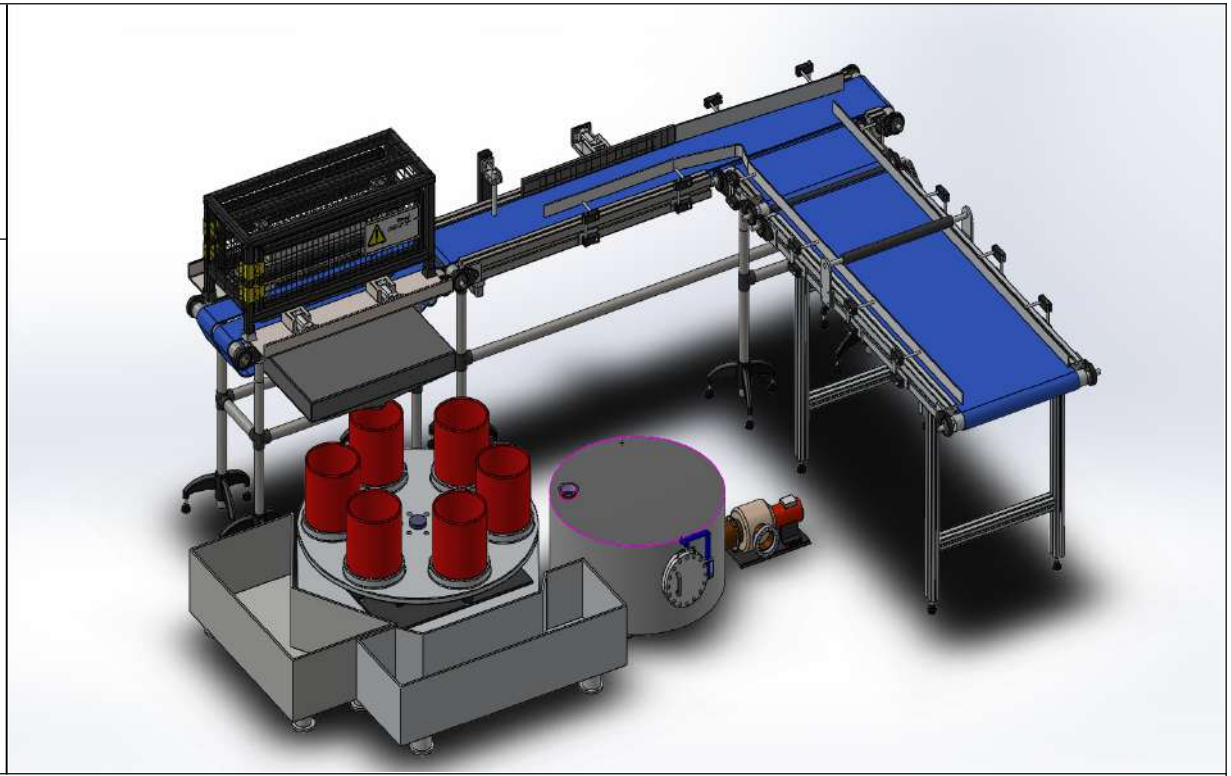
# Les Schémas Électriques

Protégé par la loi relative au droit d'auteur. Le transfert et la reproduction de ce document, la gestion et la notification de son contenu sont interdits, sauf autorisation expresse.

**Ecole Nationale Supérieure des Technologies Avancées**
Dergana, Alger

Générateur: HABHOUB Safouane
MESSALI Idir
Tél: +213 (0)796320394
+213 (0)776313149

| | |
|---|---|
| Société / Client | SPA TCHIN-LAIT candia |
| Description de projet | Schémas électriques d'un système automatisé pour la récupération du contenu des boîtes défectueuses. |

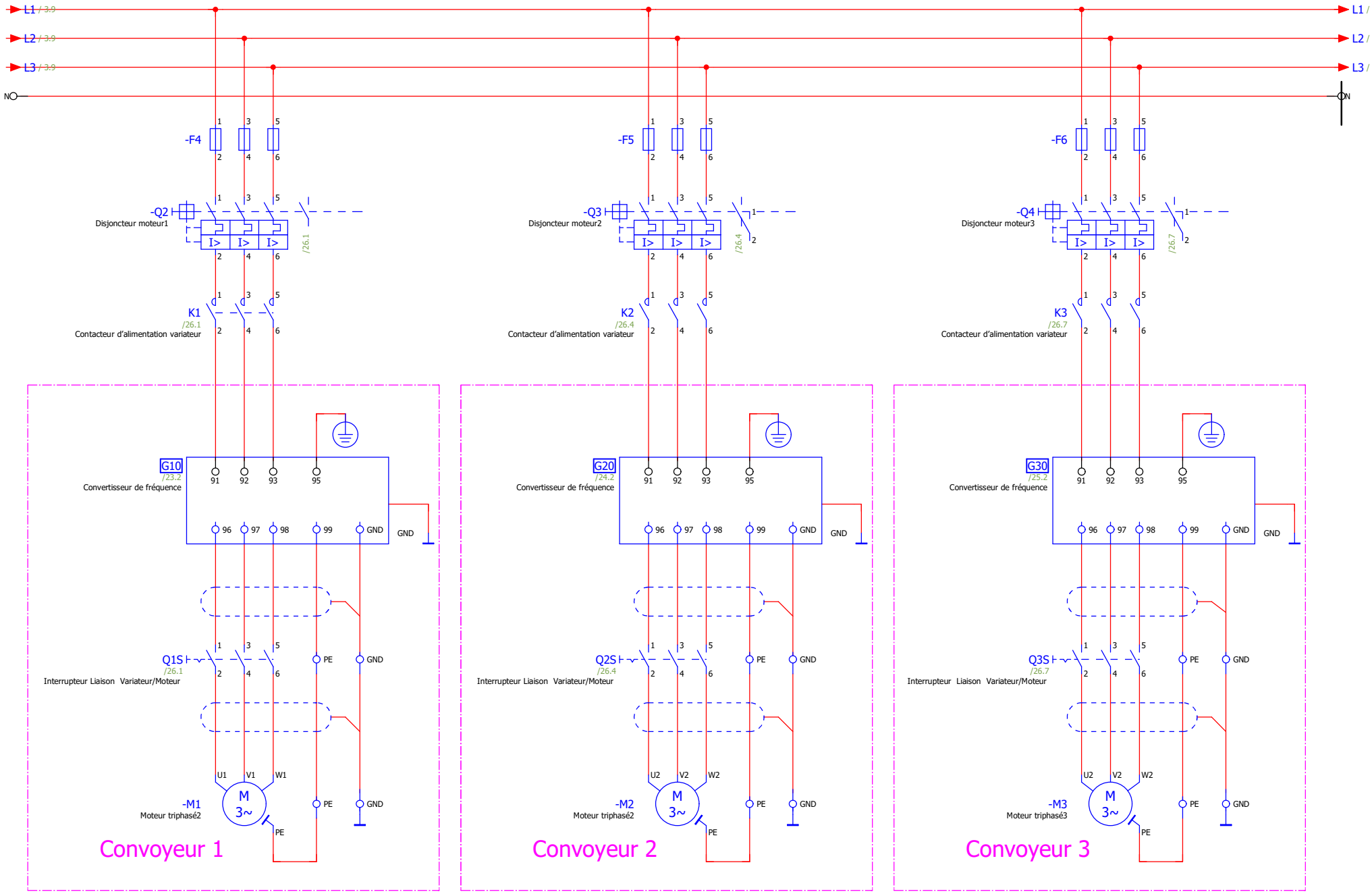


| | |
|---|---|
| Nom de projet | Projet de Fin d'étude |
| Responsable du projet | ABNOUN Hichem |
| Année de construction | 2025 |
| Lieu d'installation | Station de récupération |
| Alimentation | 380 V |
| Tension de contrôle | 24 V DC |

Créé le 01-04-2025
Edité le

Nombre total de pages: **34**

Protégé par la loi relative au droit d'auteur. Le transfert et la reproduction de ce document, la gestion et la notification de son contenu sont interdits, sauf autorisation expresse.




Description de la page:

**Commande moteurs convoyeurs-Câblage moteurs et variateurs**

Nom de Créateur:

**- HABHOUB Safouane**
**- MESSALI Idir**

Téléphone de créateur
**+213 (0)796320394**
**+213 (0)776313149**

Vérification:

Nom du projet:

**Projet de Fin d'étude**

Description du projet:

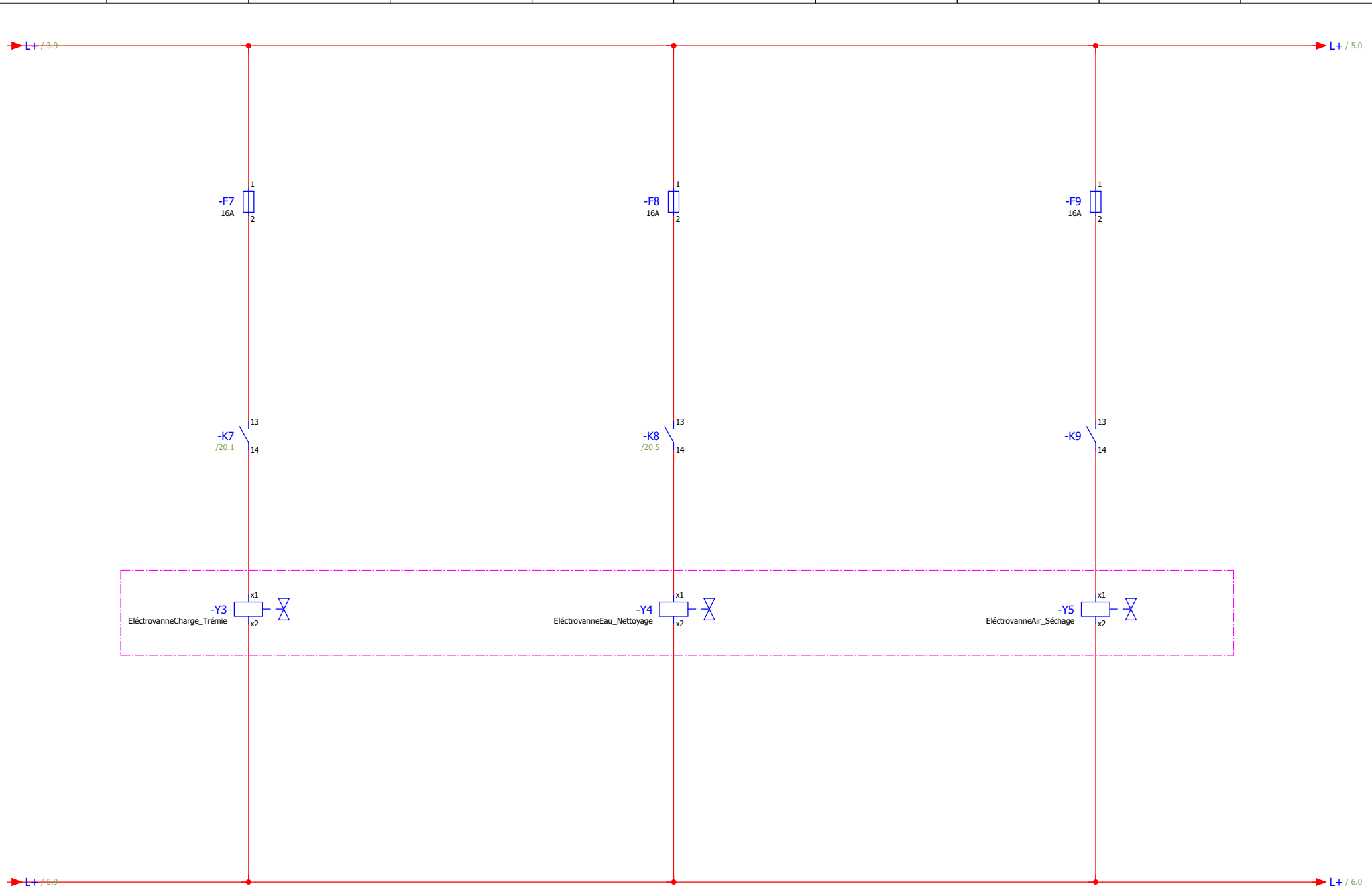
**Schémas électriques d'un système automatisé pour la récupération du contenu des boîtes défectueuses**

Numéro de page: **4**

Nombre total de pages: **34**

**SPA TCHIN-LAIT candia**

Protégé par la loi relative au droit d'auteur. Le transfert et la reproduction de ce document, la gestion et la notification de son contenu sont interdits, sauf autorisation expresse.




Description de la page:

**Commande des éléctrovannes**

Nom de Créateur:

**- HABHOUB Safouane**
**- MESSALI Idir**

Téléphone de créateur
**+213 (0)796320394**
**+213 (0)776313149**

Vérification:

Nom du projet:

**Projet de Fin d'étude**

Description du projet:

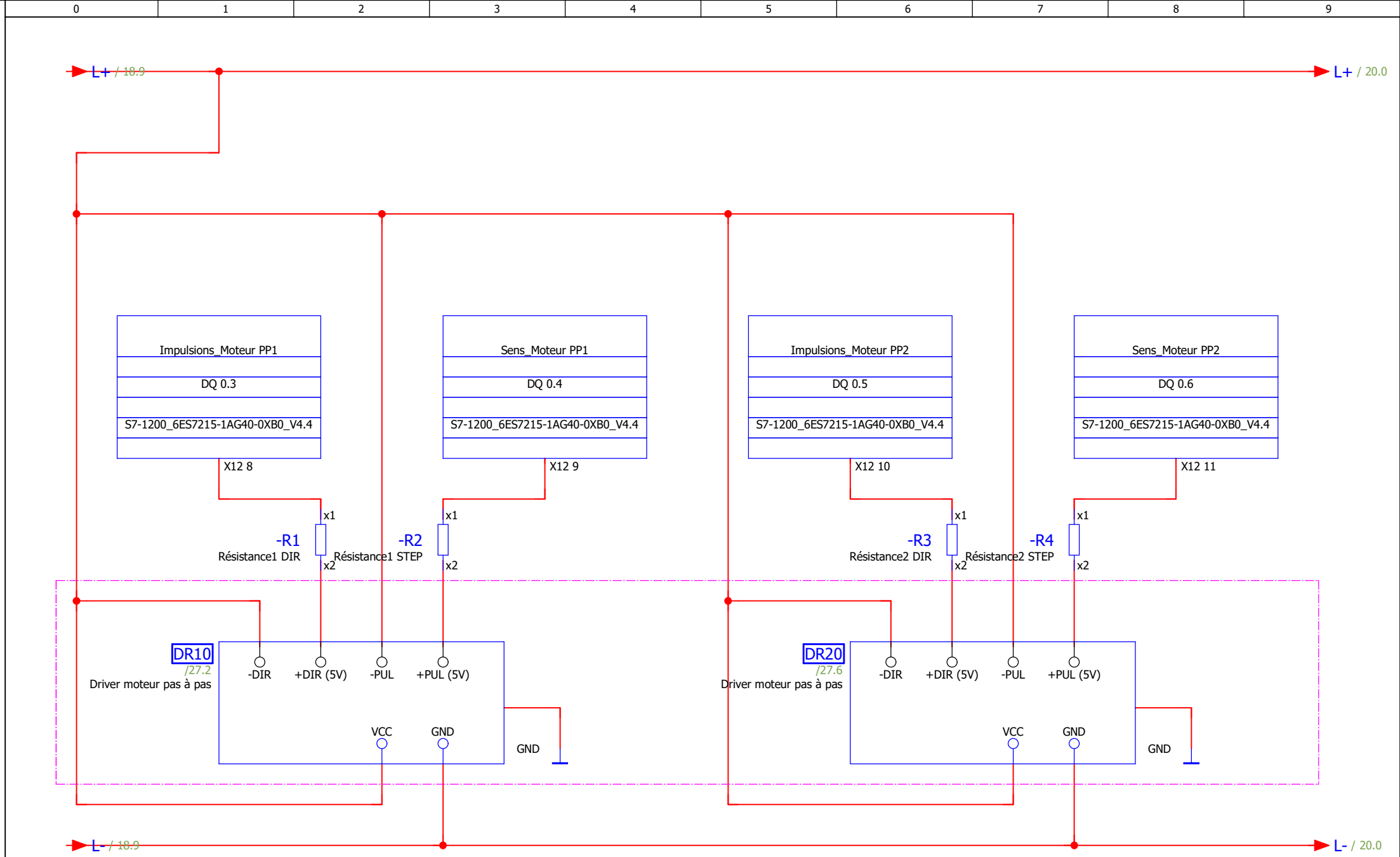
**Schémas électriques d'un système automatisé pour la récupération du contenu des boîtes défectueuses**

Numéro de page: **5**

Nombre total de pages: **34**

**SPA TCHIN-LAIT candia**

Protégé par la loi relative au droit d'auteur. Le transfert et la reproduction de ce document, la gestion et la notification de son contenu sont interdits, sauf autorisation expresse.




Description de la page:
**Sorties Automates**

Nom de Créateur:
**- HABHOUB Safouane**
**- MESSALI Idir**

Téléphone de créateur
**+213 (0)796320394**
**+213 (0)776313149**

Vérification:

Nom du projet:
**Projet de Fin d'étude**

Description du projet:
**Schémas électriques d'un système automatisé pour la récupération du contenu des boîtes défectueuses**

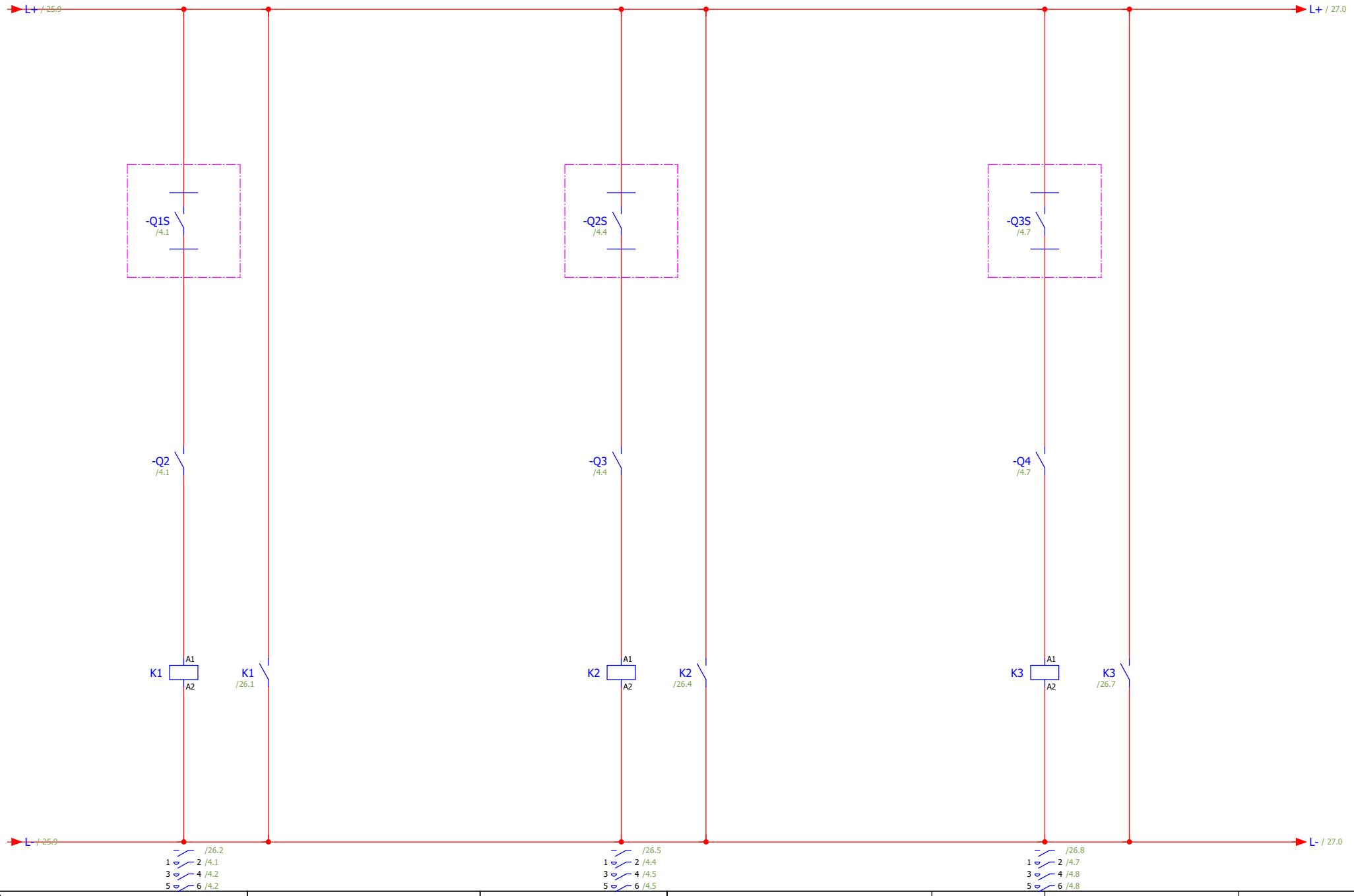
ENSTA

Numéro de page: **19**

Nombre total de pages: **34**

Tchin-Lait
**SPA TCHIN-LAIT candia**

Protégé par la loi relative au droit d'auteur. Le transfert et la reproduction de ce document, la gestion et la notification de son contenu sont interdits, sauf autorisation expresse.




Description de la page:
**Commande variateur G10, G20, G30**

Nom de Créateur:
**- HABHOUB Safouane**
**- MESSALI Idir**

Téléphone de créateur
**+213 (0)796320394**
**+213 (0)776313149**

Vérification:

Nom du projet:
**Projet de Fin d'étude**

Description du projet:
**Schémas électriques d'un système automatisé pour la récupération du contenu des boîtes défectueuses**

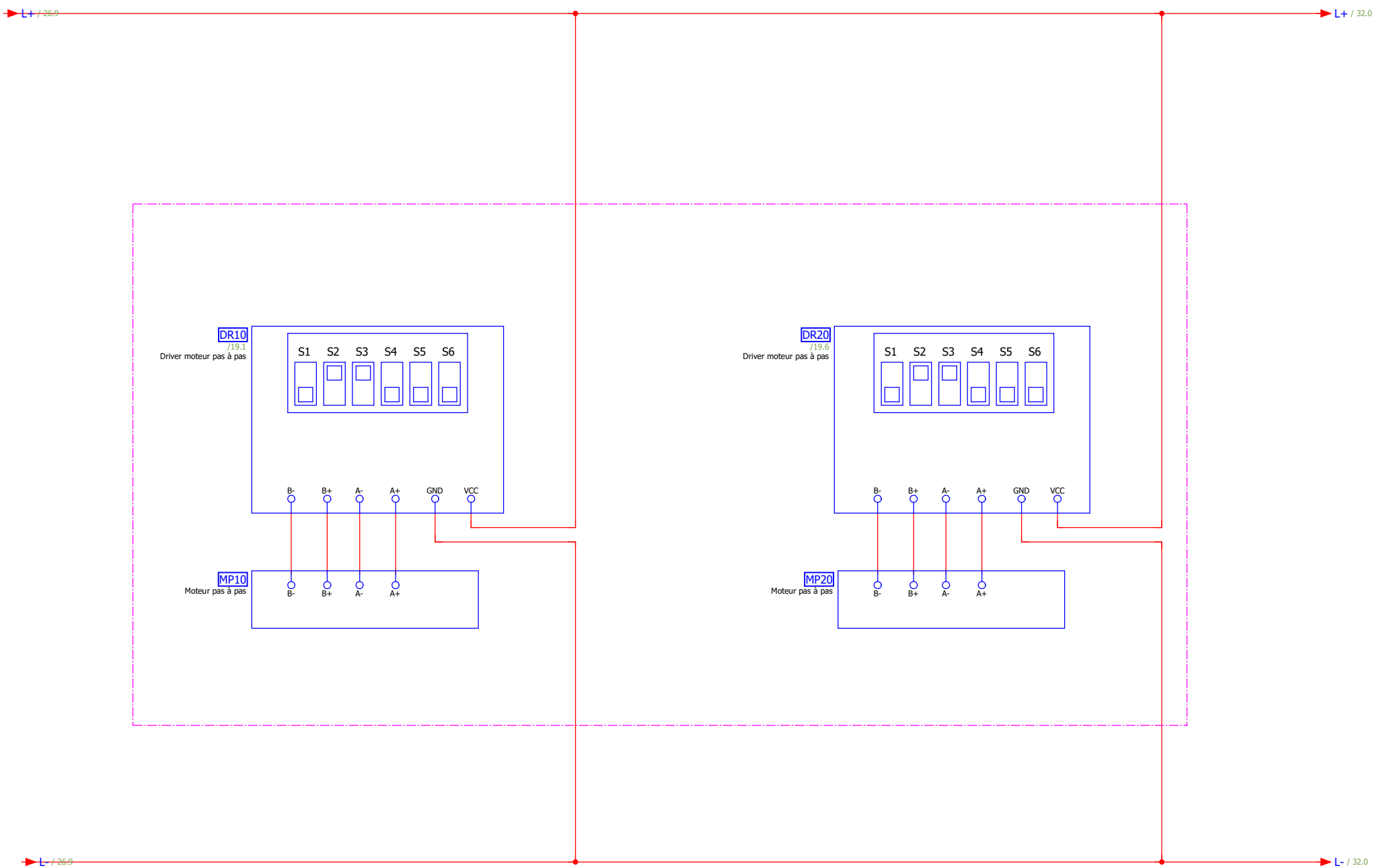
ENSTA

Numéro de page: **26**

Nombre total de pages: **34**

Tchin-Lait
**SPA TCHIN-LAIT candia**

Protégé par la loi relative au droit d'auteur. Le transfert et la reproduction de ce document, la gestion et la notification de son contenu sont interdits, sauf autorisation expresse.




Description de la page:
**Drivers moteurs pas à pas**

Nom de Créateur:
**- HABHOUB Safouane**
**- MESSALI Idir**

Téléphone de créateur
**+213 (0)796320394**
**+213 (0)776313149**

Vérification:

Nom du projet:
**Projet de Fin d'étude**

Description du projet:
**Schémas électriques d'un système automatisé pour la récupération du contenu des boîtes défectueuses**

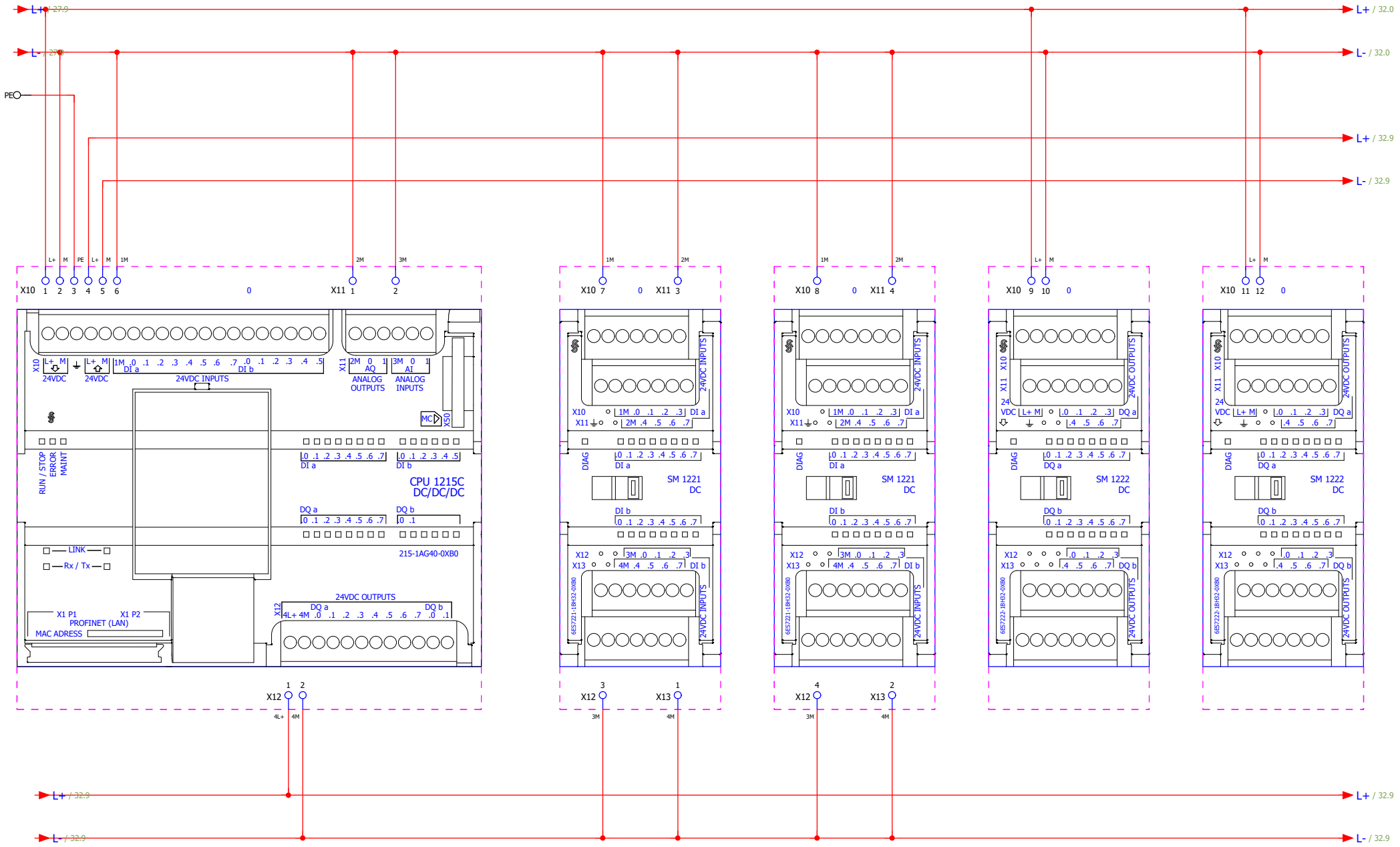
ENSTA

Numéro de page: **27**

Nombre total de pages: **34**

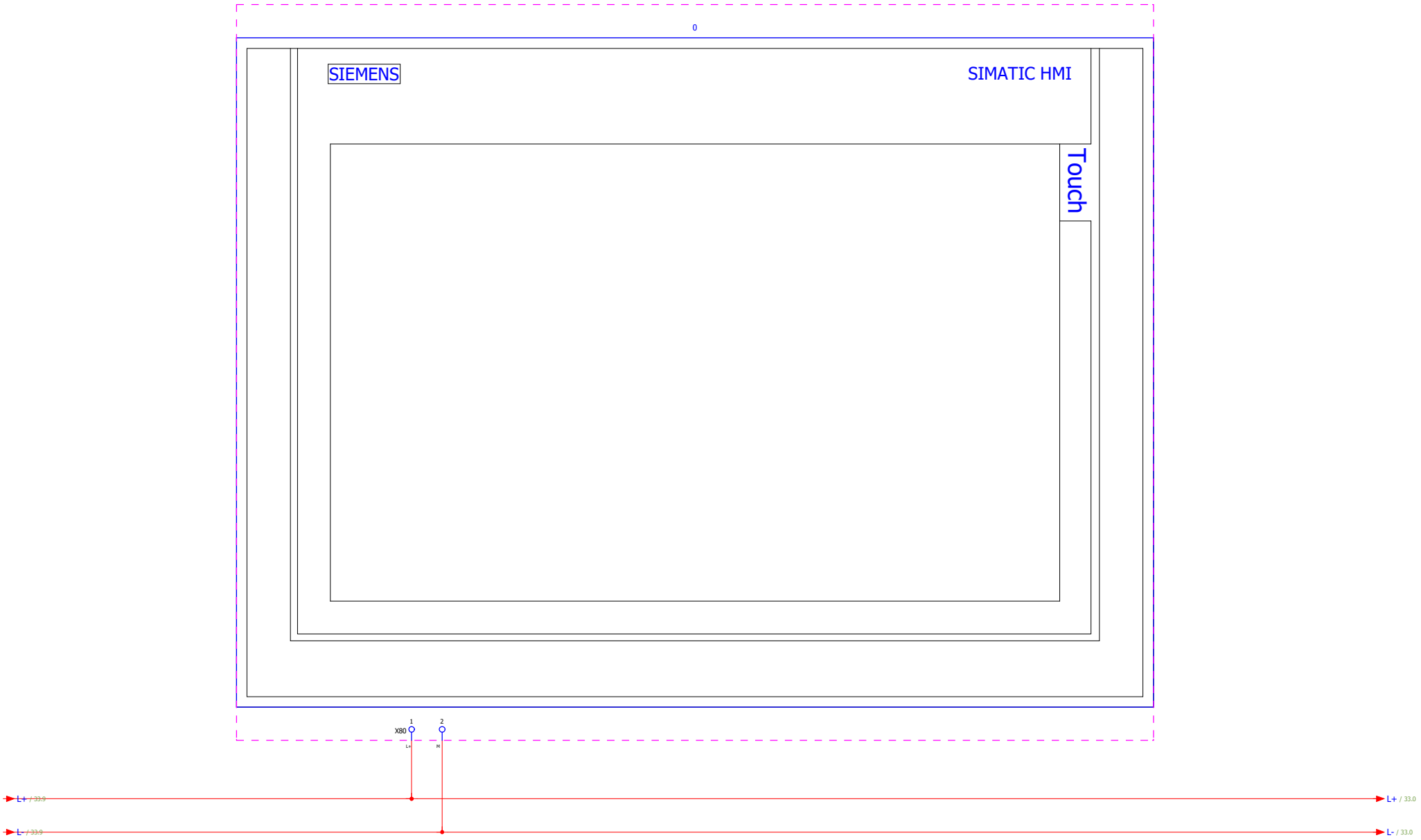
Tchin-Lait
**SPA TCHIN-LAIT candia**

Protégé par la loi relative au droit d'auteur. Le transfert et la reproduction de ce document, la gestion et la notification de son contenu sont interdits, sauf autorisation expresse.



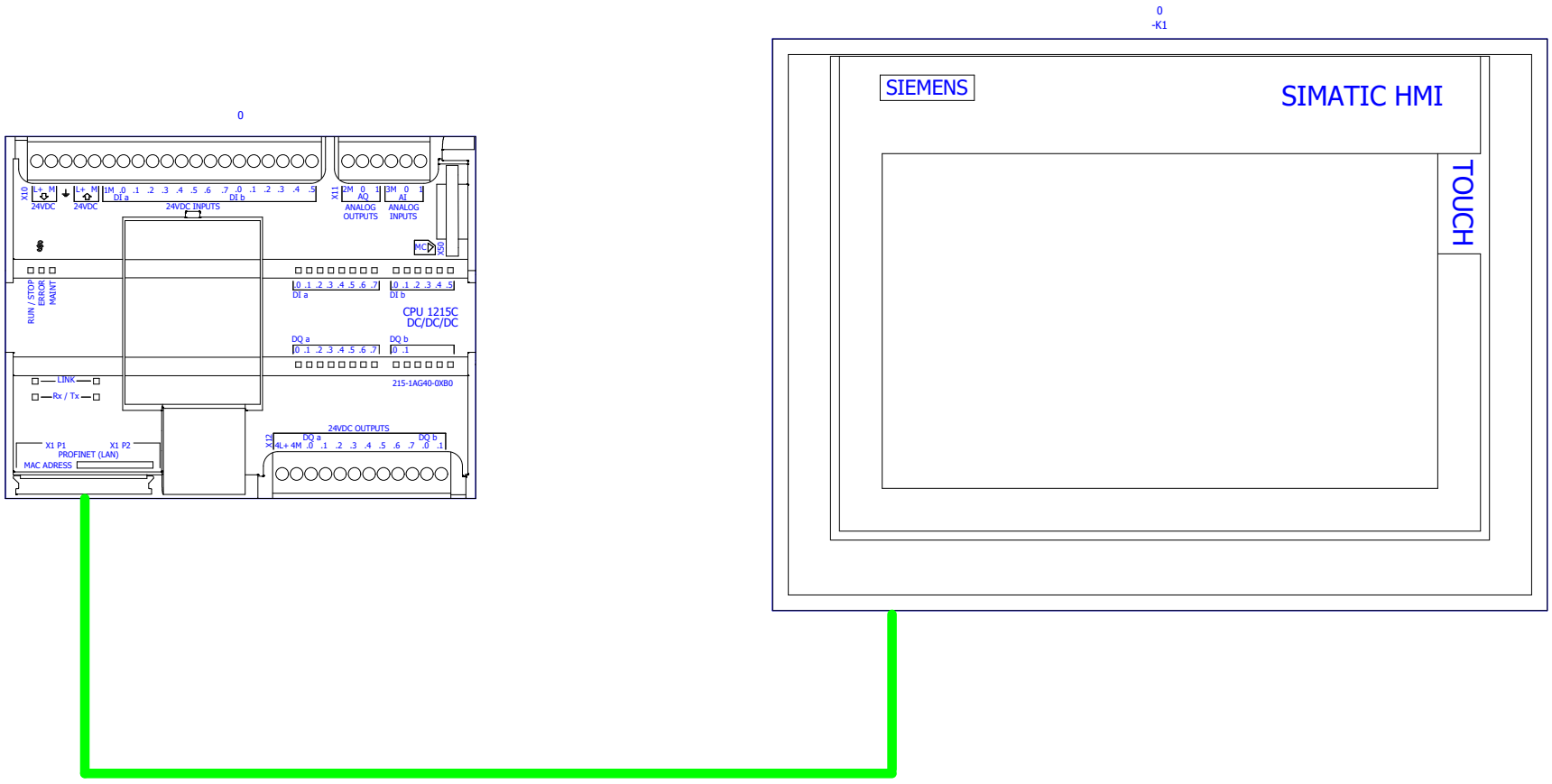

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Description de la page: **Architecture automate S7-1200** | Nom de Créateur: **- HABHOUB Safouane<br>- MESSALI Idir** | Nom du projet: **Projet de Fin d'étude** | Description du projet: **Schémas électriques d'un système automatisé pour la récupération du contenu des boîtes défectueuses** | ENSTA | Numéro de page: **32**<br>Nombre total de pages: **34** |
| | Téléphone de créateur **+213 (0)796320394<br>+213 (0)776313149** — Vérification: | | | | Tchin-Lait **SPA TCHIN-LAIT candia** |

Protégé par la loi relative au droit d'auteur. Le transfert et la reproduction de ce document, la gestion et la notification de son contenu sont interdits, sauf autorisation expresse.




| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Description de la page: **Architecture HMI Siemens** | Nom de Créateur: **- HABHOUB Safouane - MESSALI Idir** | Nom du projet: **Projet de Fin d'étude** | Description du projet: **Schémas électriques d'un système automatisé pour la récupération du contenu des boîtes défectueuses** | ENSTA | Numéro de page: **33** |
| | Téléphone de créateur **+213 (0)796320394 +213 (0)776313149** Vérification: | | | | Nombre total de pages: **34** |
| | | | | | **SPA TCHIN-LAIT candia** |

Protégé par la loi relative au droit d'auteur. Le transfert et la reproduction de ce document, la gestion et la notification de son contenu sont interdits, sauf autorisation expresse.




| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Description de la page: **Communication Profibus** | Nom de Créateur: **- HABHOUB Safouane** **- MESSALI Idir** | Nom du projet: **Projet de Fin d'étude** | Description du projet: **Schémas électriques d'un système automatisé pour la récupération du contenu des boîtes défectueuses** | ENSTA | Numéro de page: **34** | Tchin-Lait **SPA TCHIN-LAIT candia** |
| | Téléphone de créateur **+213 (0)796320394** **+213 (0)776313149** Vérification: | | | | Nombre total de pages: **34** | |

# Annexe B

# Présentation des Tables de la Base de Données et Exemples d'Insertion

## Table 1 : Historique de Machine

Cette table permet de conserver un historique des **événements liés aux activations et désactivations des composants du système**. Elle facilite ainsi l'analyse du comportement du système, la recherche de pannes et l'optimisation de son fonctionnement.

### a. Code de création de la table

Le code ci-dessous (figure 1) montre la structure SQL utilisée pour créer cette table, incluant les champs relatifs aux dates d'activation/désactivation et au titre de l'événement :

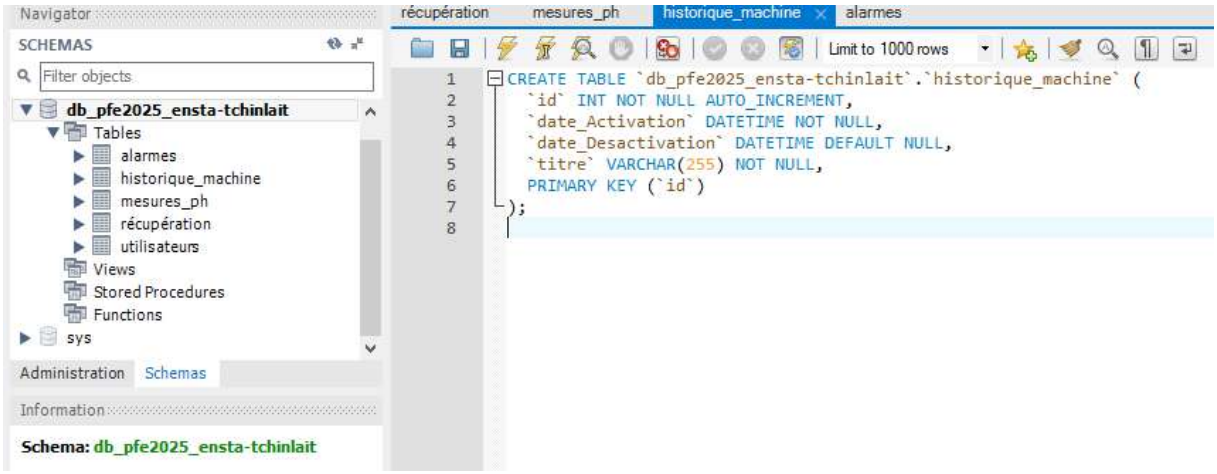



FIGURE 1 – Code SQL pour la table historique_machine

### b.Extrait de stockage dans la base de données

Voici un exemple d'enregistrement inséré dans la table, comme le montre la figure 2 suivante.

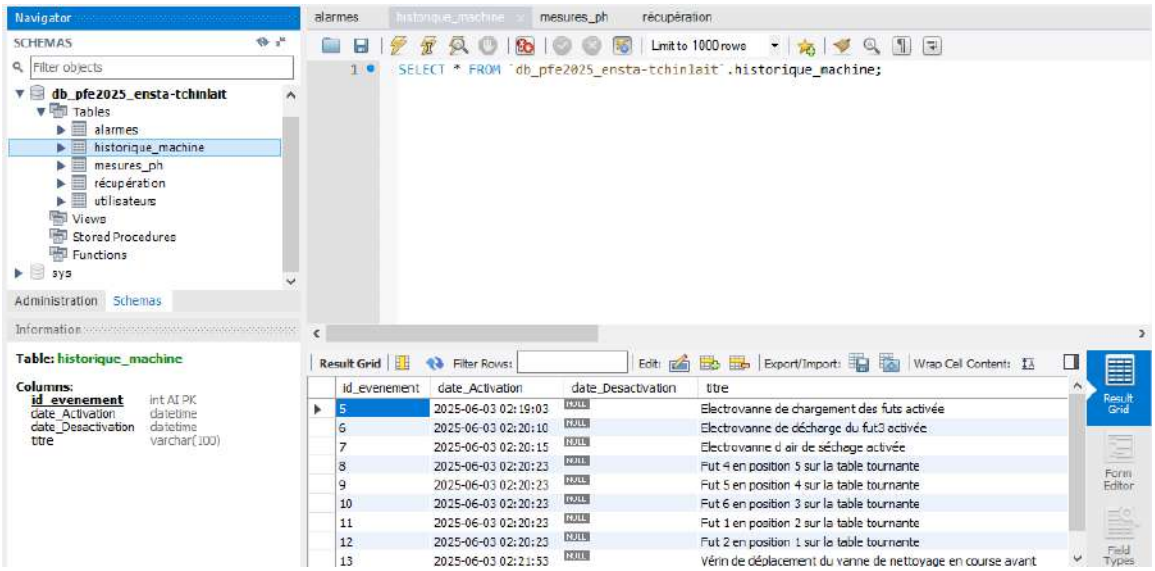



FIGURE 2 – Exemple d'insertion dans la table historique_machine

# Table 2 : Mesures de pH

Cette table permet de stocker les valeurs de pH mesurées dans chaque fût. Ces données sont essentielles pour la **vérification de la conformité des produits** avant leur réintroduction dans la chaîne de production ou leur rejet.

### a. Code de création de la table

La figure 3 ci-dessous présente la structure SQL de la table, avec les champs relatifs au fût, à la mesure, à la date et au statut :

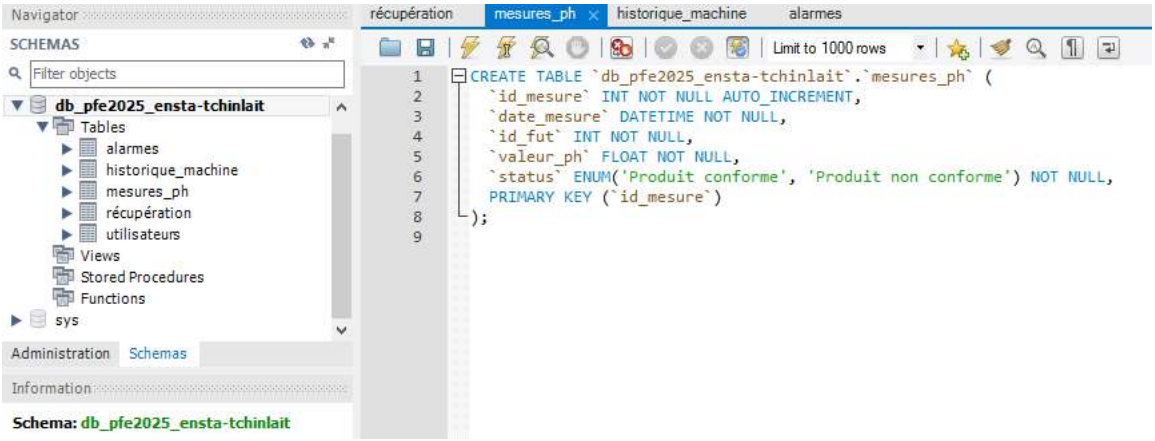



FIGURE 3 – Code SQL pour la table mesures_ph

### b.Extrait de stockage dans la base de données

L'exemple suivant (figure 4 ) montre des lignes typiques d'enregistrement dans cette table, avec une mesure jugée conforme ou non :

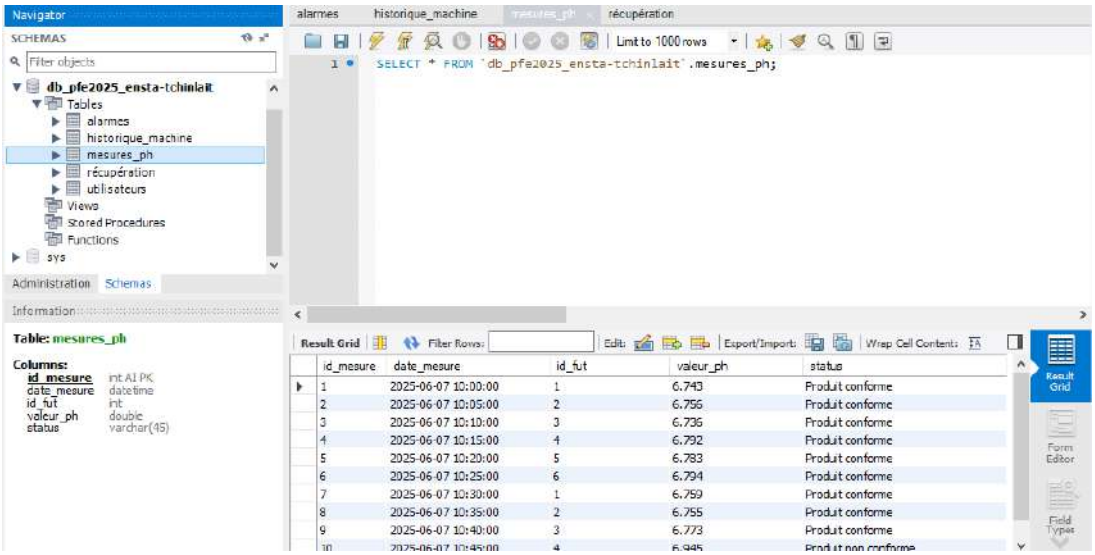



FIGURE 4 – Exemple d'insertion dans la table mesures_ph

# Table 3 : Alarmes

La table `alarmes` centralise les alertes détectées dans le système, afin d'assurer un **suivi clair des anomalies**. Elle enregistre les instants d'apparition et de résolution de chaque alarme, avec une description du problème.

### a. Code de création de la table

La structure SQL de la table est donnée ci-dessous (figure 5 ). Elle inclut les colonnes pour le code, la date/heure d'activation et de résolution, et la description de l'alarme :

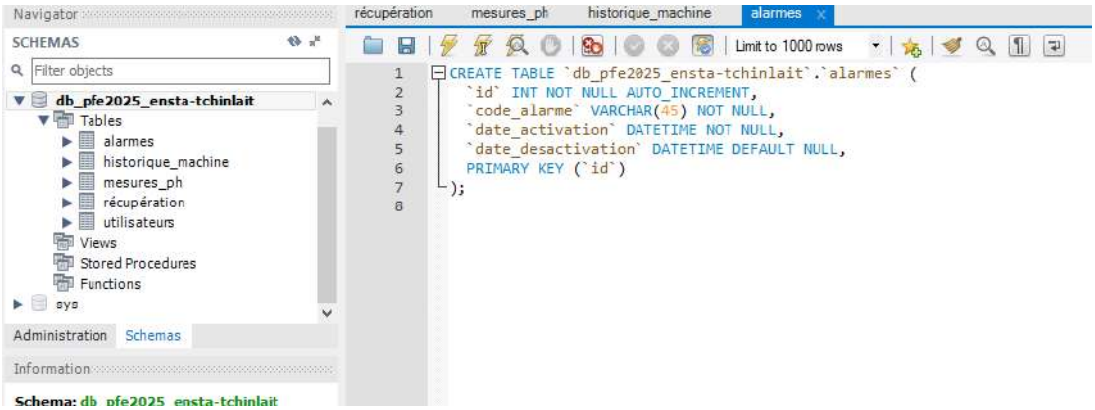



FIGURE 5 – Code SQL pour la table alarmes

### b. Extrait de stockage dans la base de données

La figure 6 suivante montre un exemple d'enregistrement. Ce type d'enregistrement aide à comprendre les incidents survenus :

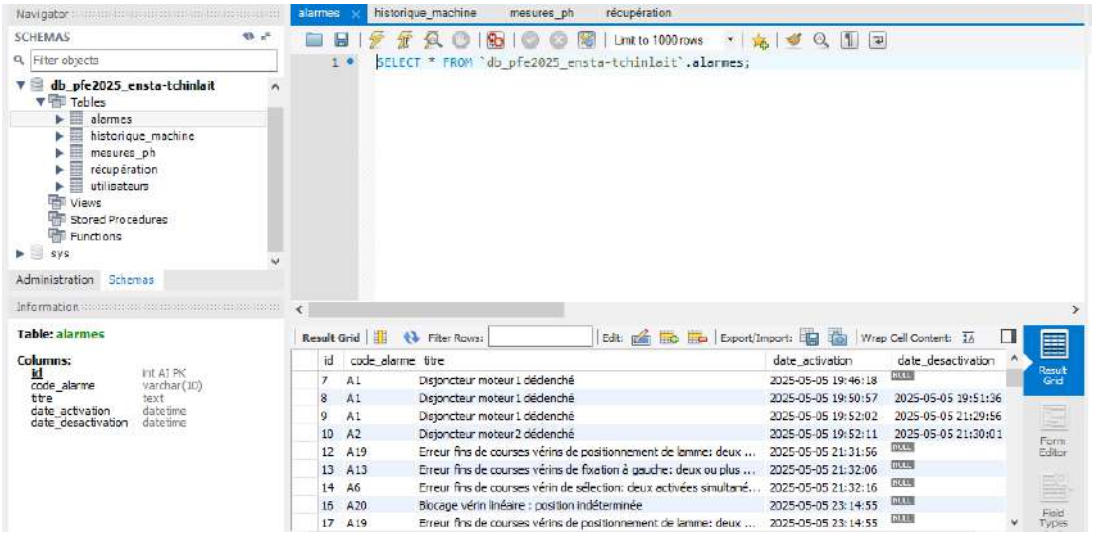



FIGURE 6 – Exemple d'insertion dans la table alarmes

# Table 4 : Récupération de Produit

Cette table trace les informations sur les récupérations enregistrées, y compris la quantité, le statut et le responsable. Elle permet d'assurer un **suivi global de la performance et de la conformité de la récupération**.

### a. Code de création de la table

La structure de cette table est illustrée ci-dessous (figure 7). Elle comprend les colonnes liées à la date de récupération, au nombre de boîtes et à l'opérateur responsable :

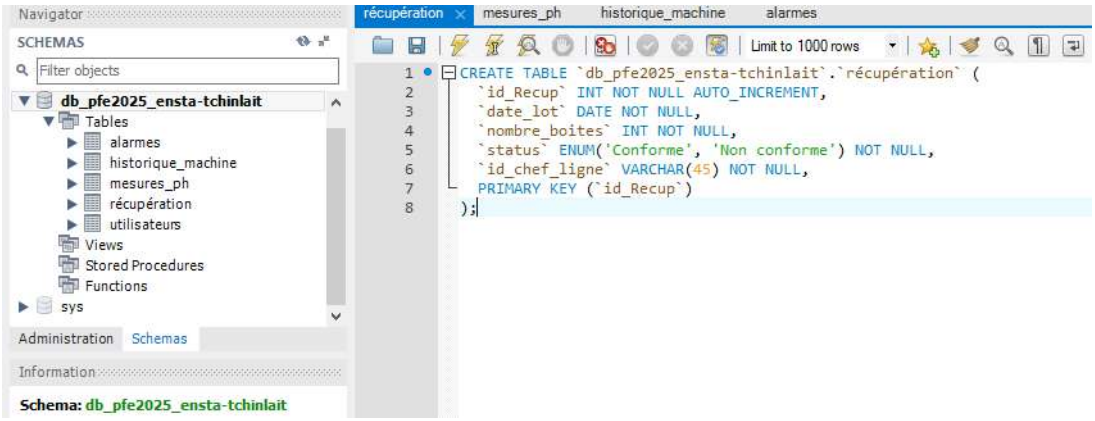



FIGURE 7 – Code SQL pour la table récupération

## b. Extrait de stockage dans la base de données

La figure 8 suivante illustre une insertion typique avec les informations de récupération :

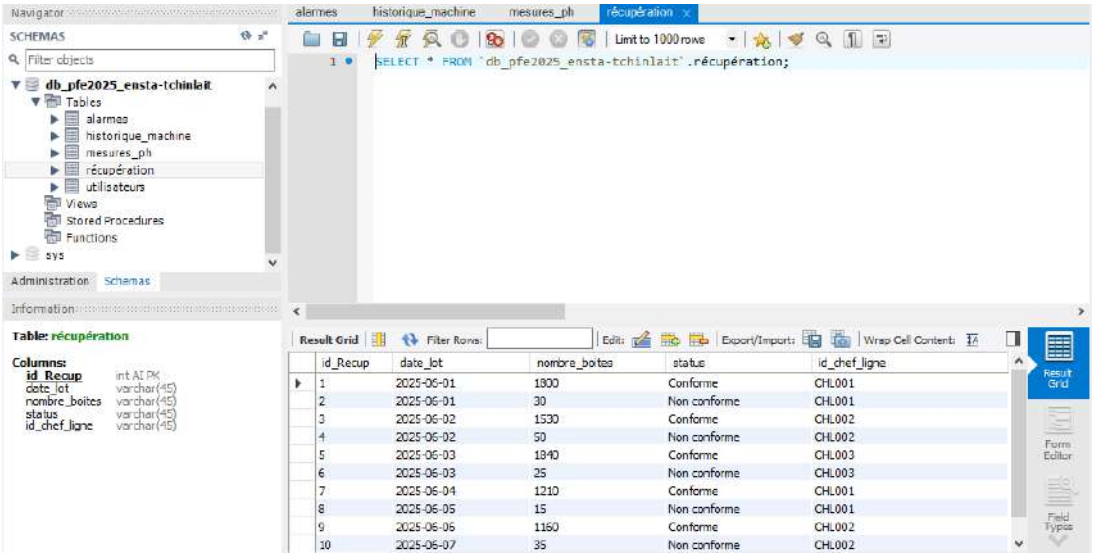



FIGURE 8 – Exemple d'insertion dans la table récupération

# Annexe C

# Travaux Pratiques Réalisés Et Essais Fonctionnels

Dans le cadre de ce projet, plusieurs travaux pratiques ont été réalisés afin de valider certaines parties du système. Bien que l'intégralité du processus automatisé n'ait pas pu être finalisée, des essais partiels ont été effectués, notamment sur la station de découpe et le convoyage initial. Ces essais permettent de démontrer la faisabilité du système et servent de base pour sa finalisation future.

## le convoyage initial

Pour commencer, une structure métallique de support a été réalisée par soudage. Cette carcasse est conçue pour supporter le convoyeur ainsi que des charges importantes. Elle a également permis de définir et de fixer l'axe de rotation le plus compatible avec l'orientation souhaitée du système.



(a) Carcasse initiale du premier convoyeur



(b) Choix de l'axe de rotation

FIGURE 9 – Vue sur la carcasse avec choix de l'axe de rotation

Plusieurs types de tapis ont été testés pour assurer une bonne adhérence et une stabilité optimale des boîtes. Les deux images suivantes présentent le premier choix et le tapis retenu.



(a) Premier choix de tapis pour le convoyeur



(b) Tapis final installé sur le convoyeur

FIGURE 10 – Comparaison entre deux choix de tapis pour le convoyeur

Après les choix techniques validés, le montage des deux premiers convoyeurs a été finalisé. La vue ci-dessous illustre l'état final du convoyage initial.

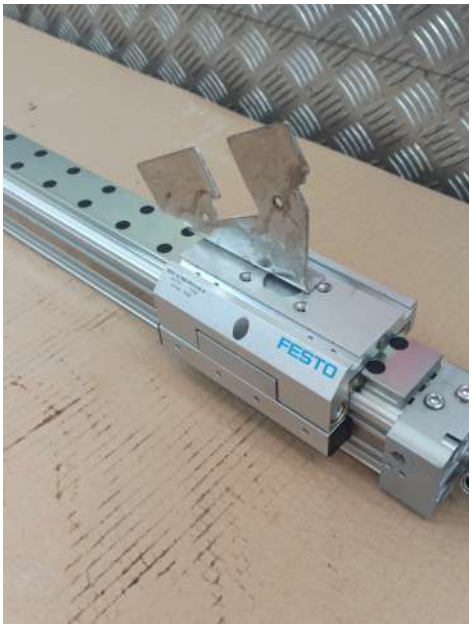




FIGURE 11 – Vue finale des deux premiers convoyeurs

# la station de découpe

Concernant la station de découpe, deux types de vérins ont été évalués. L'objectif était d'identifier le modèle le plus adapté aux efforts de coupe nécessaires. Les images suivantes illustrent cette comparaison.




(a) Premier choix de vérin pour la coupe



(b) Vérin final sélectionné

FIGURE 12 – Comparaison entre deux choix de vérin essai initial et solution finale retenue

Un support provisoire a été réalisé afin de fixer le vérin de coupe dans le but d'effectuer des essais. Ce montage a permis de vérifier si le vérin assurait une découpe efficace avec la force requise avant la conception finale du support définitif.



(a) Support destiné au vérin de coupe



(b) Vérin de coupe avec une partie du support

FIGURE 13 – Éléments de support pour le montage du vérin de coupe

Une fois le montage finalisé, une vue d'ensemble de la station de coupe de test a été capturée. Elle intègre le vérin et son support.



FIGURE 14 – Vue complète de la station de coupe de test après montage final du vérin et de son support provisoire

Des essais pratiques ont été réalisés sur la station de coupe pour évaluer son efficacité. Les images suivantes montrent les tests effectués sur une seule boîte puis sur plusieurs boîtes à la fois.



(a) Test de coupe réalisé sur une seule boîte



(b) Test de coupe effectué sur plusieurs boîtes simultanément

FIGURE 15 – Essais de fonctionnement de la station de coupe