



# REPUBLIQUE DU SENEGAL



UN PEUPLE

-

UN BUT

-

UNE FOI

MINISTERE DE LA FORMATION PROFESSIONNELLE ET TECHNIQUE (MFPT)



CENTRE DE FORMATION PROFESSIONNELLE ET TECHNIQUE (CFPT)

SENEGAL-JAPON

**Spécialité :** AUTOMATIQUE

**Niveau :** BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR (BTS)

**THEME:**

**Optimisation et Automatisation d'une Unité  
d'Ensachage Automatique : Package**

**Présenté par :**

**Cheikh Awa Balla Mbacke CISSE**

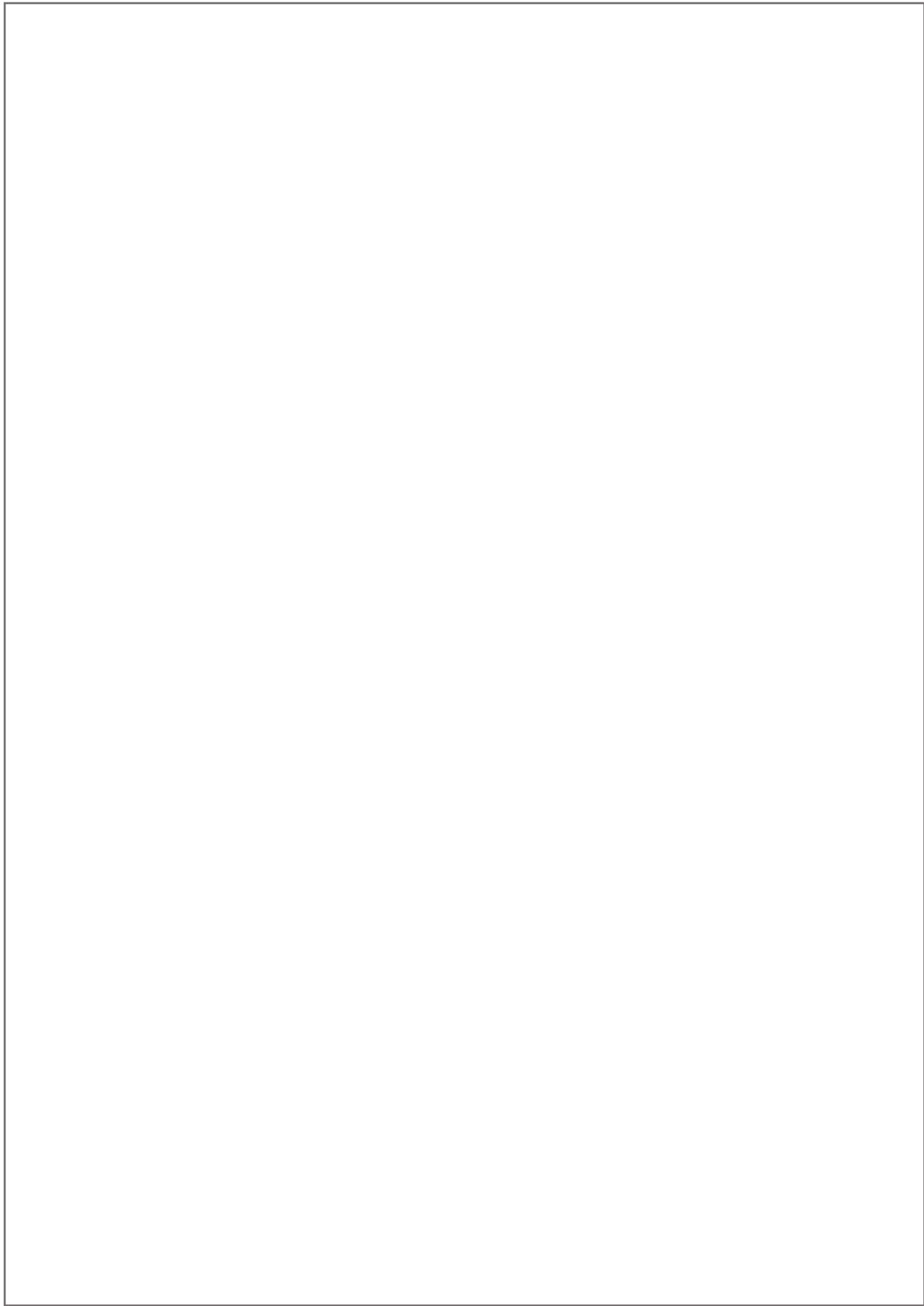
**Moustapha DIALLO**

**Pape Latyr GNING**

**Encadré par :**

**Bakary BADJI**

2024 - 2025



### DEDICACE

Je dédie ce travail, avec une profonde gratitude, à ma reine **Mère**, à qui je resterai éternellement reconnaissant...

À mon grand frère Ousmane, ces silences lourds de tendresse où le mot « je t'aime » ne trouve pas sa voix, mais vit entre les lignes...

À Amy, ma grande sœur, à Bara, mon petit frère, et à Adja, la benjamine : pour vous trois, je donnerai le meilleur de moi-même pour marquer ce monde...

À mon cher père et à mon beau-père, que Dieu vous bénisse pour tout ce que vous êtes et tout ce que vous avez donné. Merci infiniment...

Je rends grâce à Allah pour la bénédiction d'avoir croisé le chemin de Serigne Allaji Mbàkke, mon guide spirituel, et de porter le nom de Cheikh Awa Balla Mbacké, mon homonyme et source d'inspiration...

À mon frère de cœur, Lamine Bara Ndiaye,  
toujours là, toujours attentif, toujours priorisant mes besoins.

Ta bonté et ta générosité sont sans limites.

Je ne trouve pas les mots pour dire à quel point je te suis reconnaissant. Merci infiniment.

À mon acolyte Abdoulaye Niasse,

Je ne qualifierais jamais notre rencontre de simple hasard, mais plutôt de deux destinées qui se sont croisées avec justesse.

Du bac T2 avec mention Assez Bien, à ce projet de France qui n'a pas abouti, jusqu'à la licence en robotique, le CFPT Sénégal-Japon, la naissance de notre entreprise *Art'Beau-Rescence*...

Tant de jalons partagés, tant de similitudes qui témoignent que ce chemin n'est pas fortuit.

Puissent ces parcours parallèles me mener à ESP, pour que cette belle continuité se poursuive.

Moi, l'introverti, j'arrive à me lâcher avec eux.

Mouhamadou Diop, Mohamed Ba, Mouhamed Rassoul Mbaye, Abdourahmane Diallo, Serigne Mbacké Ahmed Ndiaye, Mouhamadou Sarr merci d'être là, vrais frères de cœur.

Je vous aime, mes amis.

***-Cheikh Awa Balla Mbacké CISSE***

### DEDICACE

Je dédie ce travail à mon frère et à ma mère, dont le soutien indéfectible a été une source de motivation constante tout au long de mes études.

Je pense également à mon ami Mandoye Ndiaye, ainsi qu'à mes fidèles compagnons de route Moustapha, Émile et Cheikhouna, avec qui j'ai partagé des moments inoubliables.

Mes remerciements vont aussi à mes professeurs, en particulier :

Dr Sall, M. Gning, M. Gaye, M. Faye (LTID) et M. Kébé (LTID), pour leur encadrement, leurs conseils et leur dévouement.

Merci à tous pour avoir cru en moi.

***-Pape Latyr GNING***

### DEDICACE

Je dédie ce mémoire, fruit d'un long cheminement fait de défis, de persévérance et d'espérance, à ma mère bien-aimée, femme de courage, de foi et de dignité. Maman, tu es ma première force, mon repère inébranlable. Tu as su, malgré les épreuves, nous porter avec amour et abnégation. Ce travail est l'humble reflet de ton sacrifice quotidien et de ton combat pour notre avenir.

À ma grand-mère, que Dieu lui accorde longue vie. Ta présence bienveillante, ta sagesse et tes prières sont pour moi une lumière constante. Tu me motives chaque jour à viser l'excellence, à ne jamais baisser les bras. Mon plus grand souhait est que tu sois témoin de mes réussites et que tu en sois fière. Ce mémoire t'est aussi dédié, avec tout mon amour.

À mes frères, Habib et Birane, merci pour votre affection, votre présence et vos encouragements. Vous êtes mes alliés, mes complices, et ce succès est aussi le vôtre.

À mon père, pour son soutien, ses conseils, et la confiance qu'il m'a toujours accordée, même dans le silence. Ta présence m'a toujours renforcé dans mes choix.

Je souhaite également rendre un hommage particulier à Monsieur Camara, un homme exemplaire, profondément engagé pour la jeunesse sénégalaise. Merci pour votre disponibilité, votre confiance, et pour être un véritable moteur dans mon apprentissage. Vous êtes un modèle d'humilité, de rigueur et d'inspiration.

À mes chères amies, Ndatté Diouf et Mouminatou Mbacké, merci pour votre énergie, votre loyauté et votre esprit combatif. Vous êtes des femmes formidables, et je suis honoré de vous avoir à mes côtés.

Enfin, à mes camarades de route, compagnons d'étude et d'effort, merci pour votre solidarité, votre enthousiasme et votre capacité à tirer chacun vers le haut. Vous avez été un levier dans ma progression.

À vous tous, qui m'avez porté, inspiré et soutenu, je vous dédie ce mémoire avec une profonde gratitude. Qu'il soit un témoignage vivant de ce que nous avons construit ensemble.

***-Moustapha DIALLO***

### REMERCIEMENTS

Nous tenons à exprimer notre sincère gratitude à **nos enseignants et mentors du CFPT Sénégal Japon**, notamment **Docteur Mamadou SALL, Monsieur GNING, Monsieur GAYE, Monsieur THIANDOUM, Monsieur DIA, Monsieur GNING et Docteur J. NDIAYE**, pour leur précieuse guidance et leur soutien indéfectible. Leur expertise et leur dévouement ont été essentiels à notre progression et ont grandement enrichi notre formation.

Nos remerciements vont également à **notre encadreur, Monsieur Bakary BADJI**, dont les conseils avisés et le soutien constant ont été d'une aide inestimable dans la réalisation de ce mémoire.

Nous adressons aussi nos remerciements chaleureux à **nos familles et amis** pour leur soutien inconditionnel et leurs encouragements constants. Leur présence et leur compréhension ont été une source précieuse de motivation, en particulier dans les moments difficiles.

Enfin, nous exprimons notre reconnaissance envers **toutes les personnes** qui, de près ou de loin, ont contribué à l'élaboration de ce mémoire. Leur contribution a été précieuse et a permis d'enrichir notre travail.

Ce mémoire représente non seulement un accomplissement académique, mais aussi le fruit d'une collaboration et d'un soutien précieux reçu tout au long de notre parcours. **Merci du fond du cœur à tous ceux qui ont rendu cela possible.**

## AVANT-PROPOS

*"L'automatisation appliquée à une opération efficace amplifie l'efficacité. L'automatisation appliquée à une opération inefficace amplifie l'inefficacité."*

**-Bill Gates**

Le conditionnement des produits joue un rôle essentiel dans l'industrie moderne. Il ne se limite pas à la simple protection des marchandises ; il optimise leur conservation, leur transport et leur attractivité commerciale. Dans un contexte où le Sénégal cherche à renforcer son tissu industriel et améliorer la compétitivité de ses entreprises, l'automatisation du **packaging** devient un levier stratégique pour les **PMI (Petites et Moyennes Industries)** et les **GIE (Groupements d'Intérêt Économique)**.

À travers ce mémoire intitulé "**Optimisation et Automatisation d'une Unité d'Ensachage**", nous avons cherché à répondre aux défis rencontrés par ces structures, souvent limitées par des solutions de conditionnement manuelles ou peu performantes. Notre démarche repose sur l'intégration de **technologies avancées**, notamment l'utilisation d'un **automate programmable industriel (API)**, d'une **interface homme-machine (IHM)** et d'**actionneurs performants**, pour concevoir un système d'ensachage efficace, sécurisé et rentable.

Ce projet est bien plus qu'une étude technique ; il reflète notre engagement en tant qu'étudiants en **Automatique** au Centre de Formation Professionnelle Sénégal-Japon à proposer des solutions adaptées aux réalités industrielles locales. Nous avons appris que l'automatisation ne se limite pas à améliorer la productivité, mais qu'elle permet aussi d'optimiser les ressources, d'améliorer la qualité des produits et de garantir des processus plus sûrs et plus fiables.

À travers ce travail, nous espérons apporter une contribution significative à l'essor des industries sénégalaises et inspirer d'autres initiatives visant à moderniser le secteur du packaging par des **solutions innovantes et accessibles**.

**LISTE DES FIGURES**

FIGURE 1: DIAGRAMME PIEUVRE .....	- 8 -
FIGURE 2: SCHEMA GLOBAL DU SYSTEME D'ENSACHAGE EN 3D.....	- 10 -
FIGURE 3:SCHEMA CPU 314C .....	- 12 -
FIGURE 4: SCHEMA DE CONNEXION ENTRE LES DIFFERENTS AUTOMATES ET PERIPHERIES .....	- 14 -
FIGURE 6: CAPTEUR CAPACITIF .....	- 16 -
FIGURE 7: CAPTEUR OPTIQUE.....	- 16 -
FIGURE 8: CAPTEUR DE POIDS.....	- 17 -
FIGURE 9: CAPTEUR MECANIQUE.....	- 17 -
FIGURE 10: VERIN DOUBLE EFFET.....	- 18 -
FIGURE 11: VERIN SIMPLE EFFET .....	- 18 -
FIGURE 12: MOTEUR ELECTRIQUE .....	- 19 -
FIGURE 13: SCHEMA DES CALCULS.....	- 22 -
FIGURE 14: DIAGRAMME DU FONCTIONNEMENT GLOBAL .....	- 29 -
FIGURE 15: CIRCUIT DE PUISSANCES DES ACTIONNEURS PNEUMATIQUE.....	- 32 -
FIGURE 16: CIRCUIT DE COMMANDE ELECTRIQUE .....	- 32 -
FIGURE 17: GRAFCET POINT DE VUE COMMANDE.....	- 33 -
FIGURE 18:STRUCTURE GENERALE DU PROGRAMME .....	- 34 -
FIGURE 19: INTERFACE PRINCIPALE DU SYSTEME.....	- 35 -
FIGURE 20: VUE 1 : PANNEAU DE COMMANDE.....	- 35 -
FIGURE 21: VUE 2 : GESTIONNAIRE DES ALARMES .....	- 36 -
FIGURE 22: VUE 3 : TABLE DE VISUALISATION.....	- 36 -
FIGURE 23: VUE 4 : ETATS DES ELEMENTS.....	- 37 -
FIGURE 24: VUE 5 : PLANIFICATION DES MAINTENANCES.....	- 37 -
FIGURE 25: VUE 6 : ZONE DE CONVOYAGE ET DE CHARGEMENT .....	- 38 -
FIGURE 26 : DIAGRAMME DES SECURITES.....	- 38 -
FIGURE 27: PANNEAU DE COMMANDE ET DE CONTROLE.....	- 41 -
FIGURE 28 : DIAGRAMME AMDEC.....	- 43 -
FIGURE 29 : GRAPHIQUE D'ANALYSE COUTS /BENEFICES.....	- 44 -



### LISTE DES ABREVIATIONS

**API** : Automate Programmable Industriel

**TIA PORTAL** : Totally Integrated Automation Portal

**HMI** : Human Machine Interface

**MPI** : Multi-Point Interface

**FC** : Function Block

**DB** : Data Block

**GRAFCET** : GRAPhe Fonctionnel de Commande Etape/Transition

**RTC** : Real Time Clock

**RTD** : Resistor Temperature Detector

**DC** : Direct Current

**AC** : Alternating Current

**BMC** : Business Model Canvas

**GIE** : Groupement d'Intérêt Economique

**PLC** : Programmable Logic Controller

**OG** : Objectif Générale

**OS** : Objectif Spécifique

**LD** : Ladder Diagram

**FBD** : Function Block Diagram

**ST** : Structured Text

**IL** : Instruction List

**I/O** : Input / Output

**E/S** : Entrée/Sortie

**PMI** : Petite et Moyenne Industries

### **LISTE DES TABLEAUX**

TABLEAU 1: SPECIFICATIONS TECHNIQUES DES DIFFERENTS MODELES DE CPU .....	- 13 -
TABLEAU 2: SPECIFICATION DES VERINS .....	- 23 -
TABLEAU 3: ROLE DES COMPOSANTS .....	- 30 -
TABLEAU 4: LES ENTREES .....	- 31 -
TABLEAU 5: LES SORTIES.....	- 31 -
TABLEAU 6: STRUCTURE GENERALE DU PROGRAMME .....	- 34 -
TABLEAU 7: PLAN DE MAINTENANCE DU SYSTEME .....	- 42 -
TABLEAU 8: ANALYSE DES MODES DE DEFAILLANCE DU SYSTEME .....	- 42 -
TABLEAU 9: COMPARATIF AVANT ET APRES AUTOMATISATION .....	- 44 -

### ABSTRACT

This innovative project focuses on the **design and implementation of a highly automated bagging unit**, addressing the growing demands of modern industry in packaging. The objective is to optimize the bagging process by integrating advanced technologies, from precise filling to final packaging, while ensuring full traceability.

The system is built around the **Siemens S7-300 programmable logic controller (PLC)**, enabling smart and efficient process management. Key features include:

- **A gravimetric dosing system** for precise and consistent filling,
- **A sophisticated cutting mechanism**,
- **An ergonomic human-machine interface (HMI)** for easy supervision and control,
- **Advanced safety devices**, ensuring a reliable and secure operation.

This **Industry 4.0** solution significantly enhances **production efficiency**, **reduces packaging errors**, **optimizes material consumption**, and **improves working conditions** for operators. It represents a step towards **industrial modernization in Senegal**, demonstrating how automation can enhance competitiveness and streamline manufacturing processes.

### RESUME

Ce projet innovant porte sur la **conception et l'implémentation d'une unité d'ensachage hautement automatisée**, répondant aux exigences croissantes de l'industrie moderne en matière d'emballage. L'objectif est d'optimiser le processus d'ensachage en intégrant des technologies avancées, depuis le remplissage précis des sachets jusqu'à leur conditionnement, tout en garantissant une traçabilité efficace.

L'architecture du système repose sur l'**automate programmable Siemens S7-300**, assurant une gestion intelligente et fluide des différentes étapes du processus. Parmi les fonctionnalités clés, on retrouve :

- **Un système de dosage gravimétrique** pour un remplissage précis et homogène ;
- **Un mécanisme de découpe sophistiqué** ;
- **Des dispositifs de sécurité avancés**, garantissant un fonctionnement fiable et sécurisé.

Cette solution industrielle permet d'améliorer significativement la **productivité**, de **réduire les erreurs de conditionnement**, d'**optimiser la consommation des matières premières** et d'**offrir de meilleures conditions de travail aux opérateurs**. Elle s'inscrit dans une démarche d'innovation et d'automatisation visant à renforcer la compétitivité industrielle au Sénégal.

## SOMMAIRE

### **PARTIE 1 : INTRODUCTION GÉNÉRALE ..... - 1 -**

1.1. INTRODUCTION.....	- 2 -
1.2. CONTEXTE.....	- 3 -
1.3. PROBLEMATIQUE .....	- 3 -
1.4. SOLUTION.....	- 4 -
1.5. OBJECTIFS .....	- 4 -

### **PARTIE 2 :ETUDE THEORIQUE ..... - 6 -**

#### **CHAPITRE 2 :PANORAMA DES CONNAISSANCES ET ANALYSE DU BESOIN .. - 7 -**

2.1. SITUATION ACTUELLE DU CONDITIONNEMENT AU SENEGAL .....	- 7 -
2.2. ÉTUDE DES SOLUTIONS EXISTANTES .....	- 7 -
2.3. ANALYSE FONCTIONNELLE : BESOINS ET CONTRAINTES .....	- 8 -
2.4. CAHIER DES CHARGES FONCTIONNEL : FONCTIONS ET CONTRAINTES.....	- 9 -

#### **CHAPITRE 3 : ÉTUDE TECHNIQUE PRÉLIMINAIRE .....- 10 -**

3.1. ARCHITECTURE GENERALE DU SYSTEME .....	- 10 -
3.2. CHOIX TECHNOLOGIQUES .....	- 11 -
3.3. DESCRIPTION DES COMPOSANTS PRINCIPAUX .....	- 19 -
3.4. ÉTUDE DES CONTRAINTES SECURITAIRES.....	- 20 -

#### **CHAPITRE 4 : DIMENSIONNEMENT ET CALCULS .....- 22 -**

4.1. CALCULS DES CHARGES ET EFFORTS.....	- 22 -
4.2. DIMENSIONNEMENT DES VERINS .....	- 23 -
4.3. CALCULS DES TEMPS DE CYCLE .....	- 23 -
4.4. BILAN ÉNERGETIQUE .....	- 24 -

### **PARTIE 3 : CONCEPTION ET REALISATION ..... - 26 -**

#### **CHAPITRE 5 : DÉVELOPPEMENT DU SYSTÈME.....- 27 -**

5.1. MODELISATION DU CONTROLE .....	- 27 -
5.2. ARCHITECTURE MATERIELLE DETAILLEE.....	- 30 -
5.3. NOMENCLATURE DES ENTREES / SORTIES.....	- 31 -
5.4. CIRCUIT DE PUISSANCE ET COMMANDE.....	- 32 -
5.5. GRAFCET POINT DE VUE COMMANDE .....	- 33 -
5.6. PROGRAMME AUTOMATES.....	- 33 -
5.7. CONCEPTION DES VUES HMI .....	- 35 -
5.8. INTEGRATION DES SECURITES.....	- 38 -

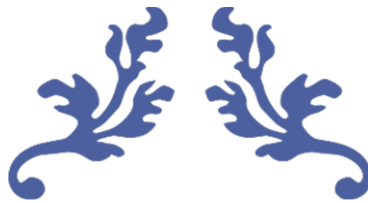
#### **CHAPITRE 6 : EXPLOITATION ET MAINTENANCE .....- 40 -**

6.1. MANUEL D'UTILISATION .....	- 40 -
6.2. PLAN DE MAINTENANCE PREVENTIVE.....	- 42 -
6.3. ANALYSE DES MODES DE DEFAILLANCE .....	- 42 -
6.4. ASPECTS ÉCONOMIQUES ET RENTABILITE .....	- 43 -

6.5. PERSPECTIVES D'AMELIORATION .....- 44 -

**PARTIE 4 : CONCLUSION GÉNÉRALE ..... - 45 -**

7.1. CONCLUSION .....- 46 -



---

## **PARTIE 1 : INTRODUCTION GÉNÉRALE**

---



### 1.1. INTRODUCTION

*"Dans l'industrie, chaque gramme compte, chaque seconde pèse, chaque erreur coûte."*

*-Elon Musk*

Alors que le monde entre de plein pied dans l'ère de l'Industrie 4.0, les chaînes de production se réinventent sous l'impulsion de l'automatisation, de l'intelligence artificielle et de la connectivité. Dans cette course à la performance, le secteur du conditionnement souvent relégué au second plan joue un rôle pourtant fondamental : il incarne la dernière étape critique entre la production et le marché, où chaque produit doit être prêt à convaincre, à voyager, à durer.

Au Sénégal, le tissu industriel repose en grande partie sur des Petites et Moyennes Industries (PMI) et des Groupements d'Intérêt Économique (GIE), moteurs silencieux de l'économie nationale. Mais ces structures font face à un paradoxe : alors que la demande s'intensifie et que les standards de qualité s'élèvent, leurs moyens techniques restent souvent rudimentaires. L'absence d'équipements automatisés freine la productivité, compromet la régularité des produits et engendre des surcoûts importants.

Ce mémoire s'inscrit dans cette réalité. Il ambitionne de proposer une réponse concrète, pragmatique et surtout adaptée aux enjeux locaux : la conception d'une **unité d'ensachage automatisée**, fondée sur des technologies accessibles, performantes et évolutives. Bien plus qu'un simple projet technique, il s'agit d'un levier de transformation industrielle au service de la compétitivité des entreprises sénégalaises.

À travers une démarche structurée, nous explorerons les problématiques actuelles du conditionnement, les choix technologiques pertinents (notamment l'automate Siemens S7-300), et les résultats mesurables que peut offrir l'automatisation. Ce travail vise à démontrer qu'il est possible de moderniser sans importer, d'innover sans complexifier, et d'optimiser sans compromettre l'humain.

Ce mémoire n'est pas une fin, mais un début : celui d'une industrie locale plus intelligente, plus résiliente et plus ambitieuse.



### 1.2. Contexte

#### 1.2.1. Contexte général

Depuis plusieurs années, l'industrie mondiale est entrée dans une nouvelle phase de transformation. L'automatisation, la robotique, l'analyse de données en temps réel et l'interconnexion des équipements sont devenus les piliers de ce que l'on nomme l'Industrie 4.0. Dans ce paysage en mutation rapide, la compétitivité ne dépend plus seulement du produit fabriqué, mais aussi de la manière dont il est conçu, conditionné et livré.

Le conditionnement, autrefois perçu comme une simple étape logistique, est aujourd'hui un **vecteur stratégique de valeur ajoutée**. Il influence la perception du produit, son efficacité de transport, sa durée de vie, et surtout, la régularité de la production. Dans les industries modernes, automatiser le conditionnement, c'est gagner en précision, en cadence, et en traçabilité.

#### 1.2.2. Contexte Spécifique

Au Sénégal, le tissu industriel repose essentiellement sur des structures agiles mais modestes les PMI et GIE. Ces entités constituent l'épine dorsale de la production locale, notamment dans les secteurs agroalimentaires, chimique ou artisanal. Pourtant, elles souffrent souvent d'un **retard technologique** important. L'absence de solutions automatisées freine leur évolution, les rendant vulnérables face à la concurrence étrangère et limitant leur capacité d'exportation.

Ce constat s'inscrit dans un contexte plus large : celui de la **Vision Sénégal 2050**, qui place la transformation industrielle au cœur de sa stratégie de développement. Pour atteindre cet objectif, il est impératif d'équiper ces industries locales d'outils modernes, accessibles et adaptés aux réalités économiques nationales.

### 1.3. Problématique

Malgré la volonté de modernisation et les opportunités offertes par la croissance du secteur industriel, un frein majeur subsiste : **le manque d'automatisation dans les systèmes de conditionnement**. Cette situation se traduit par plusieurs difficultés concrètes :

- Des rendements limités, dus à une forte dépendance à la main-d'œuvre manuelle ;
- Des erreurs de dosage fréquentes, affectant la qualité finale du produit ;
- Des pertes de matière première, augmentant les coûts de production ;

- Des équipements importés coûteux et souvent inadaptés aux contraintes locales.

Ces facteurs combinés contribuent à un **désavantage compétitif pour les entreprises sénégalaises**, les empêchant de répondre efficacement aux exigences des marchés régionaux et internationaux.

### 1.4. Solution

Face à cette problématique, ce projet propose une réponse claire : concevoir et mettre en œuvre une **unité d'ensachage automatisée**, conçue localement, utilisant des composants standardisés et une architecture éprouvée.

Basée sur l'automate Siemens S7-300, cette solution intègre :

- Des capteurs intelligents pour le contrôle de position, de niveau et de poids ;
- Des actionneurs pneumatiques pour la manipulation précise du produit ;
- Une interface homme-machine intuitive pour le pilotage et la supervision ;
- Des dispositifs de sécurité conformes aux normes internationales.

Ce système vise non seulement à **améliorer les performances techniques**, mais aussi à rendre l'automatisation **accessible, durable et rentable** pour les industries sénégalaises.

### 1.5. Objectifs

#### 1.5.1. Objectif General (OG)

Le projet a pour objectif principal de **développer une unité d'ensachage entièrement automatisée**, adaptée aux réalités industrielles du Sénégal, capable d'améliorer la productivité, la qualité et la sécurité des opérations de conditionnement.

#### 1.5.2. Objectifs Spécifiques (OS)

Pour atteindre cette ambition, plusieurs objectifs spécifiques ont été définis :

- **Automatiser le processus d'ensachage** de bout en bout, en réduisant l'intervention humaine ;
- **Améliorer la précision du dosage** afin de limiter les pertes de matière première et garantir la régularité des produits finis ;

- **Intégrer une interface de supervision (HMI)** pour simplifier le pilotage et assurer un suivi en temps réel du processus ;
- **Respecter les normes de sécurité et de qualité**, garantissant un fonctionnement fiable pour les opérateurs et les équipements ;
- **Analyser les performances du système** (cadence, consommation, erreurs), dans une logique d'amélioration continue ;
- **Favoriser la maintenance préventive**, en intégrant des alertes et diagnostics automatisés.



---

## **PARTIE 2 : ETUDE THEORIQUE**

---



### CHAPITRE 2 : PANORAMA DES CONNAISSANCES ET ANALYSE DU BESOIN

#### 2.1. Situation actuelle du conditionnement au Sénégal

Le secteur du conditionnement au Sénégal connaît une croissance soutenue, portée par l'essor des industries agroalimentaires, pharmaceutiques et chimiques. Toutefois, de nombreuses entreprises, en particulier les Petites et Moyennes Industries (PMI) et les Groupements d'Intérêt Économique (GIE), font face à des défis majeurs :

- **Faible niveau d'automatisation** : De nombreuses unités de production utilisent encore des procédés manuels ou semi-automatisés, limitant la productivité et augmentant les erreurs ;
- **Coût élevé des équipements modernes** : Les solutions importées sont souvent onéreuses et inaccessibles aux petites structures ;
- **Manque de main-d'œuvre qualifiée** : L'utilisation d'équipements avancés nécessite des compétences spécifiques, encore peu répandues sur le marché local.

Face à ces défis, l'adoption de systèmes automatisés adaptés aux besoins locaux représente une opportunité stratégique pour améliorer la compétitivité industrielle du pays.

#### 2.2. Étude des solutions existantes

L'étude des systèmes d'ensachage actuels met en évidence plusieurs approches :

- **Systèmes manuels** : Peu coûteux mais peu efficaces, avec un risque élevé d'erreurs humaines.
- **Systèmes semi-automatiques** : Amélioration de la cadence de production mais nécessitant encore une intervention humaine importante.
- **Systèmes entièrement automatisés** : Offrent une précision et une rapidité optimales, mais sont souvent coûteux et complexes à mettre en œuvre.

Notre projet vise à proposer une solution intermédiaire, combinant efficacité, accessibilité et adaptabilité aux contraintes locales.

### 2.3. Analyse fonctionnelle : besoins et contraintes

L'analyse fonctionnelle permet de définir les attentes et les limites du système à concevoir.

#### 2.3.1. Diagramme pieuvre

Le diagramme pieuvre met en évidence les interactions entre notre système et son environnement. Voici les principales relations identifiées :

- **Utilisateur** : Interagit avec l'interface pour paramétrer l'ensachage ;
- **Matière première** : Alimente le système et est transformée en sachets conditionnés ;
- **Dispositifs de contrôle qualité** : Vérifient le bon fonctionnement et la conformité des sachets ;
- **Éléments de stockage** : Permettent d'organiser et de gérer les produits finis.

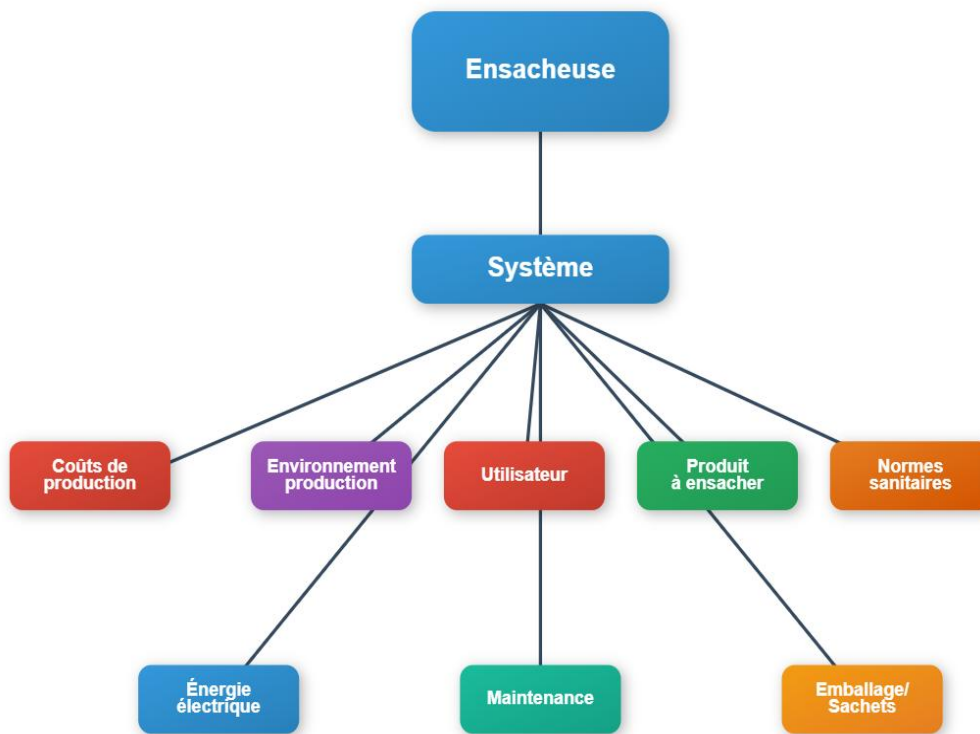


Figure 1: Diagramme pieuvre

### 2.3.2. Analyse des contraintes

Le projet doit répondre à plusieurs contraintes :

- **Techniques** : Compatibilité avec l'automate S7-300, précision de dosage, rapidité d'exécution.
- **Économiques** : Coût de production optimisé pour une adoption viable par les PMI et GIE.
- **Environnementales** : Réduction des déchets et optimisation de la consommation énergétique.
- **Sécuritaires** : Intégration de dispositifs de protection pour éviter les incidents en production.

### 2.4. Cahier des charges fonctionnel : fonctions et contraintes

#### 2.4.1. Fonctions principales

Le système devra assurer les fonctionnalités suivantes :

- **Dosage précis** de la matière première.
- **Ensachage automatisé** avec fermeture hermétique.
- **Contrôle qualité** en temps réel pour détecter les anomalies.

#### 2.4.2. Contraintes techniques

- **Précision** : Une marge d'erreur inférieure à 2 % sur le poids des sachets.
- **Cadence** : Une capacité de production de 60 sachets par minute.
- **Robustesse** : Matériaux résistants pour garantir la durabilité de l'équipement.

Ce chapitre permet ainsi de poser les bases du projet en identifiant les besoins industriels, les solutions existantes et les contraintes à prendre en compte pour concevoir un système performant et adapté aux réalités du marché sénégalais.

## CHAPITRE 3 : ÉTUDE TECHNIQUE PRÉLIMINAIRE

### 3.1. Architecture Générale du Système

Le système d'ensachage automatisé repose sur un ensemble de composants électromécaniques et électroniques qui assurent le conditionnement efficace des produits. Il est structuré autour des éléments suivants :

- **Une trémie de stockage** : Assure l'alimentation en matière première et contrôle le niveau des produits grâce aux capteurs de niveau.
- **Un système de dosage** : Détermine la quantité précise de produit à ensacher avant le scellage.
- **Un mécanisme de scellage et découpe** : Garantit la fermeture hermétique des sachets et leur découpe propre.
- **Un tapis de transport** : Transporte les sachets remplis vers la zone de conditionnement.
- **Un poste de fermeture de carton** : Regroupe les sachets ensachés et assure leur conditionnement dans des cartons.

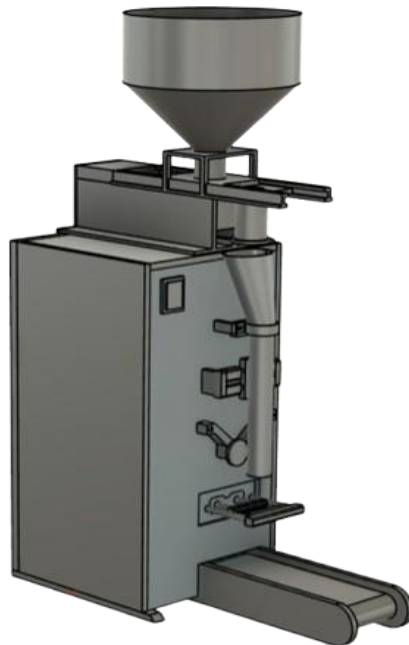


Figure 2: Schéma global du système d'ensachage en 3d



### 3.2. Choix Technologiques

#### 3.2.1. Automate S7-300

L'automate **Siemens S7-300** est un contrôleur programmable utilisé pour l'automatisation industrielle. Il est adapté aux environnements exigeants et permet de gérer efficacement les processus de production grâce à sa modularité et sa compatibilité avec divers périphériques.

- **Fiabilité industrielle éprouvée** : Cet automate est largement utilisé dans les industries pour son endurance et sa stabilité.
- **Compatibilité avec les capteurs et actionneurs sélectionnés** : Permet l'intégration aisée des entrées/sorties nécessaires au bon fonctionnement du système.
- **Facilité de programmation et d'intégration** : Grâce à l'environnement de programmation TIA Portal, il est possible de concevoir un programme structuré et efficace.
- **Gestion optimisée des cycles de production** : Réduit les temps d'arrêt et améliore l'efficacité du processus de conditionnement.

#### 1. Présentation du S7-300

L'automate S7-300 se compose de plusieurs modules montés sur un rail DIN et interconnectés via un bus interne. Il est utilisé pour exécuter des programmes de contrôle en temps réel et piloter divers actionneurs et capteurs dans le système d'ensachage.

##### 3.2.1.1. Composants Principaux du S7-300

- **CPU (Unité Centrale de Traitement)** : Gère l'exécution du programme et la communication avec les modules d'E/S.
- **Modules d'Entrées/Sorties (E/S)** : Interface entre l'automate et les capteurs/actionneurs du système.
- **Alimentation (PS)** : Fournit l'énergie nécessaire au fonctionnement des modules.
- **Module de Communication (CP)** : Permet la connexion avec d'autres équipements via différents protocoles industriels (MPI, Profibus, Ethernet, etc.).
- **Modules d'extension** : Augmentent les capacités du système en ajoutant des entrées/sorties supplémentaires ou des fonctionnalités avancées.



Figure 3:Schéma CPU 314C

### 3.2.1.2. Unité Centrale de Traitement (CPU)

Le CPU du S7-300 est le cœur du système. Il traite les instructions du programme et communique avec les modules d'E/S et autres dispositifs.

Les modèles de CPU varient en fonction de la taille du programme, du temps de cycle et des fonctionnalités requises.

#### 3.2.1.2.1 Caractéristiques principales du CPU

- **Mémoire utilisateur** : Stocke le programme et les données de fonctionnement.
- **Processeur rapide** : Exécute les instructions en temps réel.
- **Interfaces de communication intégrées** : Comme MPI ou Profibus pour connecter d'autres équipements.
- **Surveillance des erreurs** : Détection des défauts et gestion des alarmes pour éviter les dysfonctionnements du système.

Modèle CPU	Mémoire de travail (kB)	Temps de cycle (µs/instruction)	Interfaces de communication	Nombre max. de modules E/S	Protocole supporté
CPU 312	16	100	MPI	32	MPI
CPU 313C	32	70	MPI, Profibus	64	MPI, Profibus
CPU 314	48	50	MPI, Profibus	128	MPI, Profibus
CPU 315-2 PN/DP	128	40	MPI, Profibus, Profinet	256	MPI, Profibus, Profinet
CPU 317-2 PN/DP	512	25	MPI, Profibus, Profinet	512	MPI, Profibus, Profinet
CPU 319-3 PN/DP	1024	10	MPI, Profibus, Profinet	1024	MPI, Profibus, Profinet

Tableau 1: Spécifications techniques des différents modèles de CPU

Ce tableau permet de choisir le **CPU** en fonction des besoins du projet, notamment en termes de mémoire, vitesse de traitement et connectivité.

- **Communication et Réseaux**

Le S7-300 peut être connecté à divers périphériques via des interfaces de communication industrielles.

- **Protocole MPI (Multi-Point Interface)**

Protocole standard utilisé pour la communication entre plusieurs automates ou entre un automate et un PC de supervision.

Permet l'échange de données entre plusieurs S7-300 connectés sur un même réseau.

Utilisé pour le diagnostic et la programmation via un câble spécifique **MPI-PPI USB Adapter**.

- **Protocole Profibus :**

Réseau de terrain rapide permettant la connexion d'E/S déportées et de variateurs de vitesse.

Utilisé pour l'échange rapide de données entre l'automate et les équipements externes.

- **Protocole Ethernet/Profinet :**

Permet une communication avec un PC ou un serveur SCADA pour la supervision et facilite l'intégration avec des bases de données et systèmes de gestion d'usine.

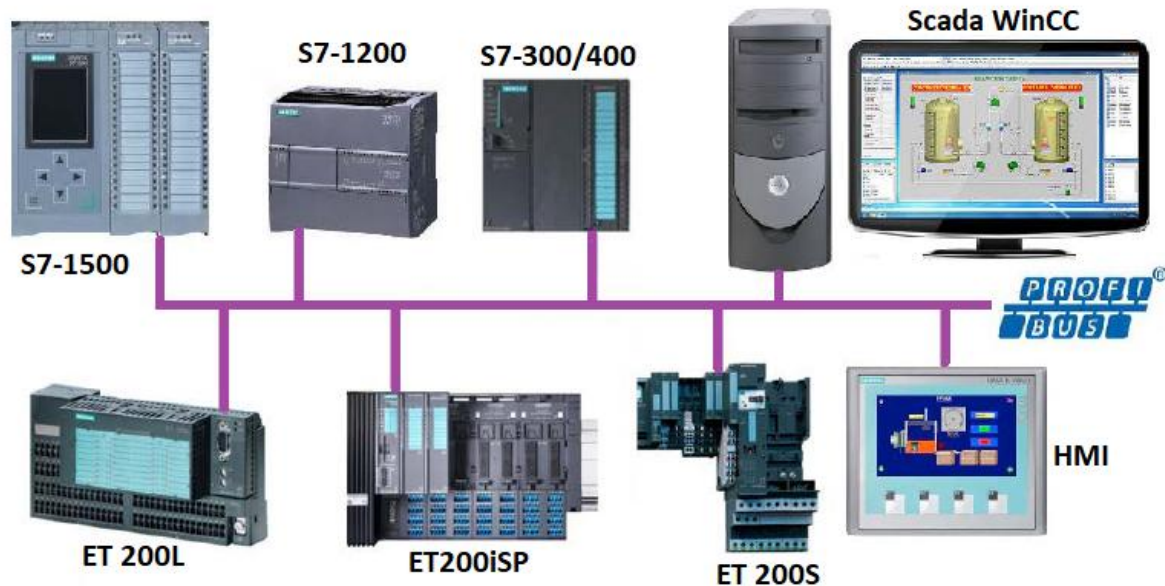


Figure 4: Schéma de connexion entre les différents automates et périphéries

### 3.2.2. Câblage et Installation

L'installation du S7-300 nécessite un câblage structuré et conforme aux normes industrielles.

#### 3.2.2.1. Types de câbles utilisés

- **Câbles d'alimentation** : Pour connecter le bloc d'alimentation 24V DC.
- **Câbles d'Entrées/Sorties** : Relient les capteurs/actionneurs aux modules E/S.
- **Câble MPI** : Relie l'automate à un PC pour la programmation et la supervision.
- **Câble Profibus** : Utilisé pour la communication avec d'autres automates ou périphériques.

#### 3.2.2.2. Recommandations pour le câblage :

- **Séparation des câbles** : Séparer les câbles de puissance et de signal pour éviter les interférences électromagnétiques.
- **Protection contre les surtensions** : Installation de filtres et de disjoncteurs pour protéger le système.
- **Numérotation des câbles** : Pour faciliter la maintenance et le dépannage.

### 3.2.3. Programmation avec TIA Portal

La programmation du S7-300 se fait à l'aide du logiciel **TIA Portal (Totally Integrated Automation Portal)**.

### 3.2.3.1. Principales étapes de programmation

- **Déclaration des entrées/sorties** : Configuration des capteurs et actionneurs connectés ;
- **Écriture du programme en langage LADDER (LAD)** ;
- **Mise en œuvre des boucles de contrôle** pour gérer les cycles d'ensachage ;
- **Simulation et test** avant téléchargement dans l'automate ;
- **Supervision et diagnostic en temps réel** via TIA Portal ;

L'automate **Siemens S7-300** constitue le cœur du système d'ensachage. Grâce à sa modularité, sa compatibilité avec les capteurs/actionneurs et ses interfaces de communication avancées (MPI, Profibus, Ethernet), il assure un contrôle précis et fiable du processus. Son câblage et sa programmation via **TIA Portal** permettent d'optimiser le fonctionnement du système et d'assurer une maintenance efficace.

### 3.2.4. Actionneurs et Capteurs

#### 3.2.4.1. Capteurs

##### 3.2.4.1.1 Capteur Capacitif (nb et nh - Niveau trémie)

- **Explication du fonctionnement** :
  - Un capteur capacitif détecte la présence d'un matériau sans contact physique. Il fonctionne en générant un champ électrique qui est modifié par la présence d'un objet à proximité.
- **Rôle dans le système** :
  - Permet de détecter si la trémie est pleine (**nh - niveau haut**) ou si elle est presque vide (**nb - niveau bas**), afin de déclencher le réapprovisionnement.



Figure 5: Capteur capacitif

#### 3.2.4.1.2 Capteur Photoélectrique (Sr - Détection du sachet en position)

- **Explication du fonctionnement :**

Ce capteur fonctionne avec un faisceau lumineux. Lorsque le sachet interrompt ce faisceau, le capteur envoie un signal de détection.

- **Rôle dans le système :**

Vérifie que le sachet est bien en position avant le remplissage pour éviter les erreurs de dosage.



Figure 6: Capteur optique

#### 3.2.4.1.3 Capteur de Poids (Ps - Détection du poids suffisant)

- **Explication du fonctionnement :**

Il s'agit d'un capteur de type **cellule de charge**, qui mesure le poids du produit ensaché à l'aide d'un pont de Wheatstone.

- **Rôle dans le système :**

Assure que le sachet a reçu la bonne quantité de produit avant le scellage et l'acheminement.



Figure 7: Capteur de poids

#### 3.2.4.1.4 Capteur mécanique (c1 et c2)

- **Explication du fonctionnement :**

Capteur mécanique qui fonctionne par contact physique avec le carton.

- **Rôle dans le système :**

Vérifie la présence d'un carton vide avant l'empilement des sachets.



Figure 8: Capteur mécanique

### 3.2.4.2. Actionneurs

#### 3.2.4.2.1 Vérin Pneumatique Kv1 (Rentrée trappe de dosage)

- **Explication du fonctionnement :**

Actionné par de l'air comprimé, ce vérin contrôle l'ouverture et la fermeture de la trappe de dosage.

- **Rôle dans le système :**

Permet l'écoulement précis de la matière première dans les sachets.



Figure 9: Vérin double effet

#### 3.2.4.2.2 Vérin Pneumatique Kv2 (Scellage et découpage)

- **Explication du fonctionnement :**

Applique une pression sur la barre chauffante pour sceller hermétiquement le sachet.

- **Rôle dans le système :**

Garantit un scellage solide pour éviter toute fuite du produit.



Figure 10: Vérin simple effet

#### 3.2.4.2.3 Vérin Pneumatique KV3 (Éjection du carton rempli)

- **Explication du fonctionnement :**



Un cylindre pneumatique actionne un bras mécanique qui pousse le carton plein vers le poste de fermeture.

- **Rôle dans le système :**

Assure une gestion fluide des cartons remplis, en évitant les blocages.

### 3.2.4.2.4 Moteurs Électriques Km1 et Km2 (Tapis de transport)

- **Explication du fonctionnement :**

Convertissent l'énergie électrique en mouvement rotatif pour entraîner les courroies.

- **Rôle dans le système :**

Permettent le déplacement des sachets d'une station à une autre.



Figure 11: moteur électrique

## 3.3. Description des Composants Principaux

### 3.3.1. Trémie de Stockage

La trémie est un réservoir permettant de stocker la matière première utilisée pour l'ensachage. Elle est équipée de **capteurs de niveau capacitif (nb et nh)** permettant de surveiller la quantité de matière restante. Lorsque le niveau bas est détecté, une alerte est envoyée pour indiquer qu'un réapprovisionnement est nécessaire.

### 3.3.2. Système de Dosage

Le dosage est une étape cruciale pour assurer une répartition homogène du produit dans chaque sachet. Le système de dosage fonctionne de la manière suivante :

- **Détection du sachet en position (Sr)** avant l'ouverture de la trappe de dosage.

- **Libération de la quantité exacte de produit** mesurée grâce au **capteur de poids (Ps)**.
- **Fermeture de la trappe** après l'atteinte du poids prédéfini.

### 3.3.3. Dispositif de Scellage et Découpe

Une fois le sachet rempli, le dispositif de scellage assure une fermeture hermétique à l'aide d'un **vérin pneumatique (Kv2)** qui applique une pression sur la bande thermosoudable. Un système de découpe intégré permet de séparer chaque sachet après le scellage.

### 3.3.4. Tapis de Transport

Le tapis transporte les sachets remplis vers la zone de conditionnement final. Il est entraîné par des **moteurs électriques (Km1 et Km2)** permettant un déplacement fluide et continu.

### 3.3.5. Poste de Fermeture et d'Éjection des Cartons

Les sachets remplis sont regroupés dans des cartons détectés par les **capteurs mécaniques (c1 et c2)**. Une fois le carton complet (12 sachets), il est éjecté automatiquement vers le poste de fermeture grâce au **vérin pneumatique (KV3)**.

## 3.4. Étude des Contraintes Sécuritaires

La mise en place du système doit garantir un **fonctionnement sécurisé** pour les opérateurs et éviter toute détérioration prématurée des équipements. Plusieurs aspects ont été pris en compte :

### 3.4.1. Sécurité des Opérateurs

- **Arrêt d'urgence (S0)** : Bouton permettant l'arrêt immédiat de la machine en cas de danger.
- **Carter de protection** : Mise en place de barrières physiques empêchant l'accès aux parties mobiles.
- **Détection des anomalies** : Un voyant **H3** signale tout dysfonctionnement nécessitant une intervention technique.

### 3.4.2. Sécurité des Équipements

- **Surveillance du niveau de la trémie** : Évite tout fonctionnement à vide pouvant endommager la machine.

- **Maintenance préventive** : Des alertes sont programmées après un certain nombre d'heures de fonctionnement pour prévenir l'usure des composants.
- **Capteurs de surcharge** : Protègent les moteurs en cas de blocage du tapis transporteur.

### 3.4.3. Normes et Réglementations

Le système respecte plusieurs normes industrielles :

- **Norme ISO 13849-1** pour la sécurité des machines et des systèmes de commande.
- **Norme IEC 60204-1** relative aux équipements électriques des machines industrielles.
- **Conformité aux réglementations locales** sur la sécurité des travailleurs et la protection des biens.

Ce chapitre a permis d'établir une base technique solide pour la mise en œuvre de l'unité d'ensachage automatisée. À travers l'analyse de l'architecture générale du système, le choix de l'automate S7-300, ainsi que la sélection des capteurs, actionneurs et composants mécaniques, nous avons défini les éléments essentiels à intégrer.

L'étude des contraintes sécuritaires est également venue compléter cette démarche, garantissant une future installation conforme aux normes en vigueur. Ces éléments serviront de fondement pour aborder, dans le prochain chapitre, la conception détaillée du système automatisé et sa mise en œuvre pratique.

## CHAPITRE 4 : DIMENSIONNEMENT ET CALCULS

### 4.1. Calculs des Charges et Efforts

#### 4.1.1. Bilan des Masses

Le bilan des masses permet de déterminer la répartition des charges sur l'ensemble du système. Nous considérons les éléments suivants :

- **Masse du produit ensaché** : dépend du type de matière conditionnée.
- **Masse du sachet vide** : matériau de l'emballage.
- **Masse des composants mobiles** : actionneurs, trémie, tapis transporteur.

L'objectif est de garantir que les vérins et moteurs choisis puissent supporter ces charges sans compromettre la performance du système.

#### 4.1.2. Forces Appliquées

L'étude des forces appliquées est essentielle pour le bon dimensionnement des actionneurs.

**Forces agissant sur le système :**

- **Force gravitationnelle** :  $F = m \times g$
- **Force de frottement** :  $F_f = \mu \times N$  (coefficient de frottement  $\times$  force normale)
- **Force exercée par les vérins** :  $F = P \times A$  (pression  $\times$  surface du piston)

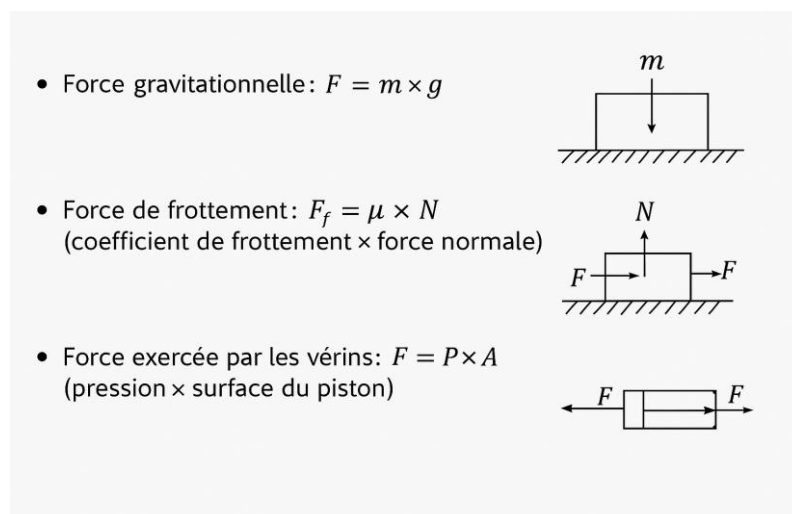


Figure 12: Schéma des calculs

### 4.2. Dimensionnement des Vérins

Les vérins pneumatiques jouent un rôle crucial dans l'activation des différents mécanismes du système d'ensachage.

#### 4.2.1. Calcul de la force des vérins

La force d'un vérin pneumatique est donnée par la relation :

$$F = P \times A$$

Où :

- **F** = Force exercée (N)
- **P** = Pression d'alimentation (Pa)
- **A** = Surface du piston (m<sup>2</sup>)

En fonction de la charge à déplacer et de la pression d'alimentation disponible, nous choisissons des vérins avec un diamètre de piston adapté.

Référence du Vérin	Diamètre du Piston (mm)	Pression d'Alimentation (bar)	Surface du Piston (m <sup>2</sup> )	Force Théorique (N)	Course (mm)	Type d'Actionnement
Vérin KV1	50	6	0.00196	1176	100	Double effet
Vérin KV2	63	6	0.00312	1872	150	Double effet
Vérin KV3	80	5	0.00502	2510	200	Simple effet

Tableau 2: Spécification des vérins

### 4.3. Calculs des Temps de Cycle

L'optimisation du temps de cycle est essentielle pour garantir un rendement élevé.

#### 4.3.1. Temps de remplissage

Le temps nécessaire pour remplir un sachet dépend du débit de la trémie et du volume du sachet :

$$T_{\text{remplissage}} = V_{\text{sachet}} / Q$$

Où :

- **T\_remplissage** = temps de remplissage (s)
- **V\_sachet** = volume du sachet (m<sup>3</sup>)
- **Q** = débit de la trémie (m<sup>3</sup>/s)

### 4.3.2. Temps de scellage et découpe

Déterminé en fonction de la vitesse de montée du vérin et de la puissance de chauffe de la barre de scellage.

### 4.3.3. Temps de transport et d'éjection

Le temps de déplacement des sachets sur le convoyeur est donné par :

$$T=d \times v =$$

Où :

- **D** = distance parcourue (m)
- **V** = vitesse du tapis (m/s)

## 4.4. Bilan Énergétique

L'étude du bilan énergétique permet d'évaluer la consommation du système.

### 4.4.1. Consommation des moteurs

La puissance consommée par un moteur est donnée par :

$$P=U \times I \times \cos (\phi)$$

Où :

- **P** = puissance (W)
- **U** = tension d'alimentation (V)
- **I** = courant consommé (A)
- **Cos(φ)** = facteur de puissance

### 4.4.2. Consommation des vérins pneumatiques

La consommation d'air comprimé est calculée par :

$$V=A \times L \times NV$$

Où :

- $V$  = volume d'air consommé (L/min)
- $A$  = section du piston (m<sup>2</sup>)
- $L$  = course du vérin (m)
- $N$  = nombre de cycles par minute

### 4.4.3. Estimation du coût énergétique

Le coût énergétique global du système peut être estimé en fonction de la durée d'exploitation quotidienne et du prix du kWh.

Ce chapitre a permis de poser les bases du **dimensionnement du système** en définissant les **charges appliquées**, les **forces en jeu**, le **dimensionnement des vérins**, ainsi que les **temps de cycle** et la **consommation énergétique** du système. Ces analyses garantissent que les composants choisis sont adaptés aux besoins de l'ensacheuse et optimisent son efficacité industrielle.



---

### **PARTIE 3 : CONCEPTION ET REALISATION**

---





### CHAPITRE 5 : DÉVELOPPEMENT DU SYSTÈME

#### 5.1. Modélisation du Contrôle

La modélisation du contrôle permet d'assurer une gestion fluide et efficace du processus d'ensachage automatisé. Elle repose sur une approche séquentielle qui organise les différentes étapes du cycle de production.

##### 5.1.1. Description du Système

Le système d'ensachage automatisé est conçu pour assurer un conditionnement précis et rapide de produits granulaires ou pulvérulents dans des sachets, lesquels sont ensuite empilés dans des cartons. Le processus est entièrement automatisé et piloté par un automate Siemens S7-300.

##### 5.1.2. Fonctionnement du Système

En situation initiale, la trémie est fermée et remplie jusqu'au niveau haut, ce qui active le capteur nh. Un carton vide est placé manuellement par l'opérateur sur la zone de réception, et le système est alors prêt à démarrer son cycle de fonctionnement.

Le cycle débute lorsque l'opérateur appuie sur le bouton "départ cycle". Cette action déclenche automatiquement la descente du sachet qui sera immédiatement fermé longitudinalement par soudure sur sa longueur. Le capteur Sr détecte alors la présence du sachet en position, ce qui provoque l'ouverture automatique de la trappe de la trémie et le début du remplissage.

Une fois que le poids souhaité est atteint et que le capteur Ps s'active, la trappe de la trémie se referme automatiquement. Le sachet est alors découpé transversalement pendant une durée précise de 2 secondes pour assurer sa fermeture complète. Le tapis transporteur T1 prend ensuite le relais pour acheminer le sachet rempli et fermé directement dans le carton placé en attente.

Le système compte automatiquement chaque sachet déposé dans le carton. Lorsque six sachets ont été acheminés dans le carton, le cycle s'arrête temporairement pour ce carton, permettant à l'opérateur de procéder à sa fermeture et de le remplacer par un nouveau carton vide.

Le système reste actif et peut redémarrer automatiquement de nouveaux cycles tant que le niveau bas de la trémie n'est pas atteint, c'est-à-dire tant que le capteur nb n'est pas activé. Si le niveau bas est atteint, le système s'arrête automatiquement pour éviter tout dysfonctionnement dû au manque de produit.

L'arrêt d'urgence est assuré par le bouton S2 qui, lorsqu'il est actionné, arrête immédiatement tout le système sans délai. La signalisation lumineuse comprend le voyant H1 qui s'allume en permanence lorsque le système est sous tension, confirmant ainsi l'alimentation électrique. Le voyant H2 s'allume spécifiquement lorsque six sachets ont été mis dans le carton, indiquant que celui-ci est plein et prêt à être fermé.

La signalisation sonore H3 constitue une sonnerie d'appel destinée à alerter l'opérateur qu'il doit procéder à la fermeture du carton plein et le remplacer par un nouveau carton vide pour continuer la production. Cette sonnerie garantit que l'opérateur intervient au bon moment dans le processus.

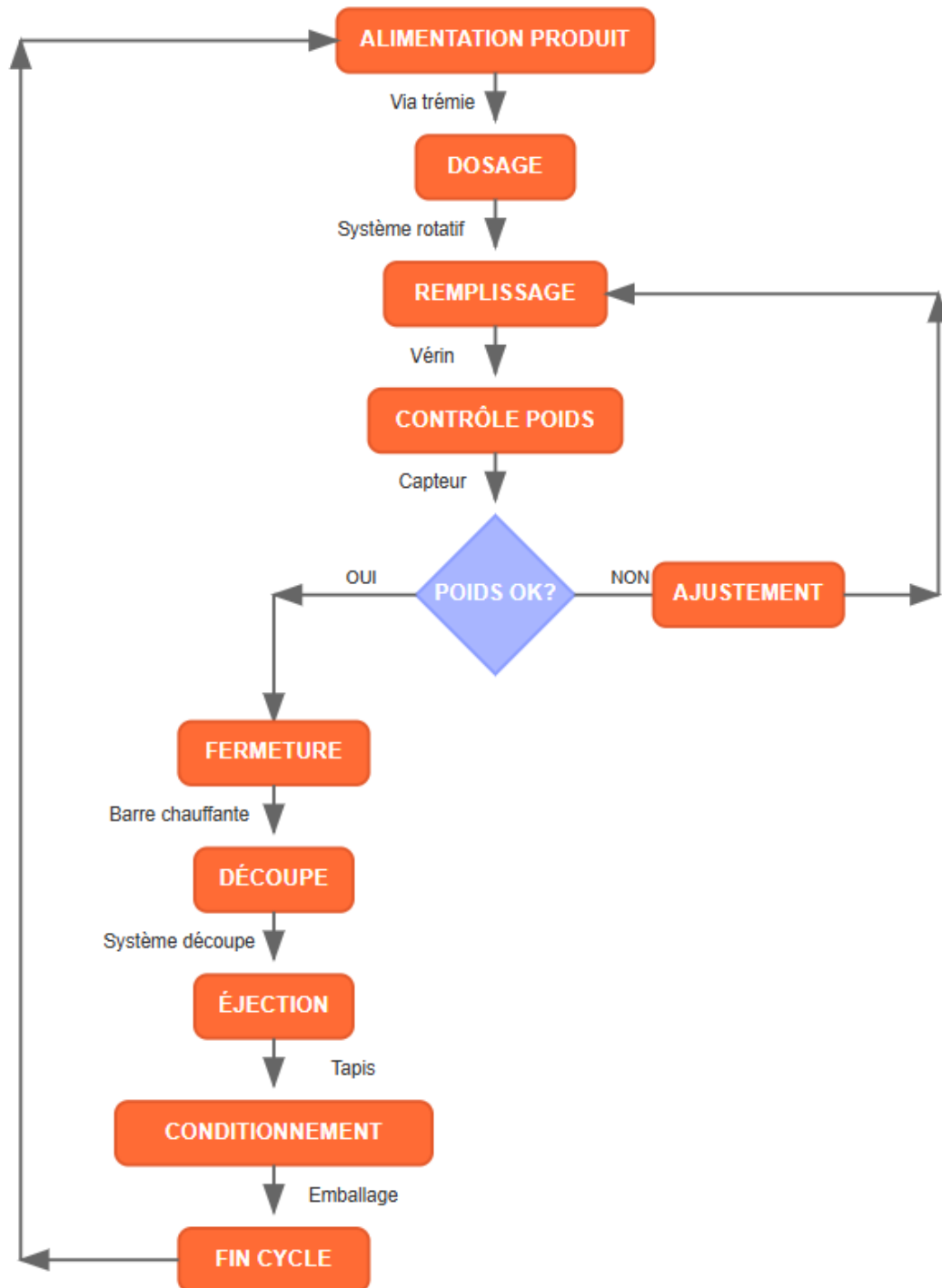


Figure 13: Diagramme du fonctionnement global

### 5.2. Architecture Matérielle Détaillée

L'architecture matérielle repose sur une combinaison de composants mécaniques, électriques et pneumatiques, contrôlés par un automate programmable industriel (API).

#### 5.2.1. Automate Programmable Industriel (API)

L'automate Siemens S7-300 assure la gestion centralisée des entrées/sorties et l'exécution des tâches séquentielles.

- ❖ Caractéristiques principales :
  - ✓ Programmation avec TIA Portal
  - ✓ Nombre suffisant d'entrées/sorties numériques et analogiques
  - ✓ Modules d'extension pour adaptation future

#### 5.2.2. Actionneurs et Capteurs

Les capteurs et actionneurs sélectionnés permettent un contrôle optimal du système :

- ❖ Capteurs capacitifs : Détection du niveau dans la trémie
- ❖ Capteurs photoélectriques : Détection de la présence des sachets
- ❖ Capteurs de poids : Vérification du remplissage
- ❖ Vérins pneumatiques : Action sur les trappes, le scellage et l'éjection
- ❖ Moteurs électriques : Mouvement des tapis roulants

Composant	Description
Automate Siemens S7-300	API centrale assurant le traitement logique, les séquences et la sécurité
Sonnerie H3	Appel opérateur pour fermeture carton
Capteurs capacitifs	Surveillance du niveau dans la trémie
Capteurs photoélectriques	Détection de sachets
Capteurs de poids	Contrôle du poids de produit
Vérins pneumatiques	Action sur trappes, découpe et éjection
Moteurs électriques	Commande des tapis roulants
Interface HMI	Supervision, contrôle manuel, alarmes
Voyants lumineux H1 & H2	H2 = Tension présente H2 =Carton poste de fermeture

Tableau 3: Rôle des composants

### 5.3. Nomenclature des Entrées / Sorties

#### 5.3.1. Entrées

Nom	Désignation	Type	Fonction
S0	Bouton de démarrage cycle	Bouton poussoir	Lancement du cycle
S1	Commutateur Manuel/Automatique	Bouton poussoir	Fonctionnement automatique
S2	Bouton d'arrêt d'urgence	Bouton poussoir	Sécurité arrêt total
S3	Bouton reset	Bouton poussoir	
Nh	Capteur capacitif niveau haut	Capteur capacitif	Niveau haut de la trémie
Nb	Capteur capacitif niveau bas	Capteur capacitif	Niveau bas de la trémie
Tf	Trappe fermée	Capteur magnétique	Détection présence carton
A1	Rentrée vérin 3	Capteur photoélectrique	Détection rentrée vérin 1
Ns	Capteur de présence sachet	Capteur optique	Détection nombre de sachet
Ps	Capteur de poids	Cellule de charge	Vérifie la masse du produit

Tableau 4:Les entrées

#### 5.3.2. Sorties

Nom	Fonction	Type
KT	Moteur Tapis	Monophasé
Km2	Poulie 1	Monophasé
Km3	Poulie 2	Monophasé
Kv1	Vérin scellage 1	Monostable
Kv2	Vérin scellage 2/découpe	Monostable
Kv3	Vérin de découpage	Monostable
Kv4	Vérin ouverture trappe	Monostable
H1	Voyant vert (tension présente)	Signalisation
H2	Voyant orange (carton au poste de chargement)	Signalisation
H3	Sonnerie (appel opérateur)	Signalisation

Tableau 5: : Les sorties

## 5.4. Circuit de puissance et commande

### 5.4.1. Circuit de puissance des actionneurs pneumatique

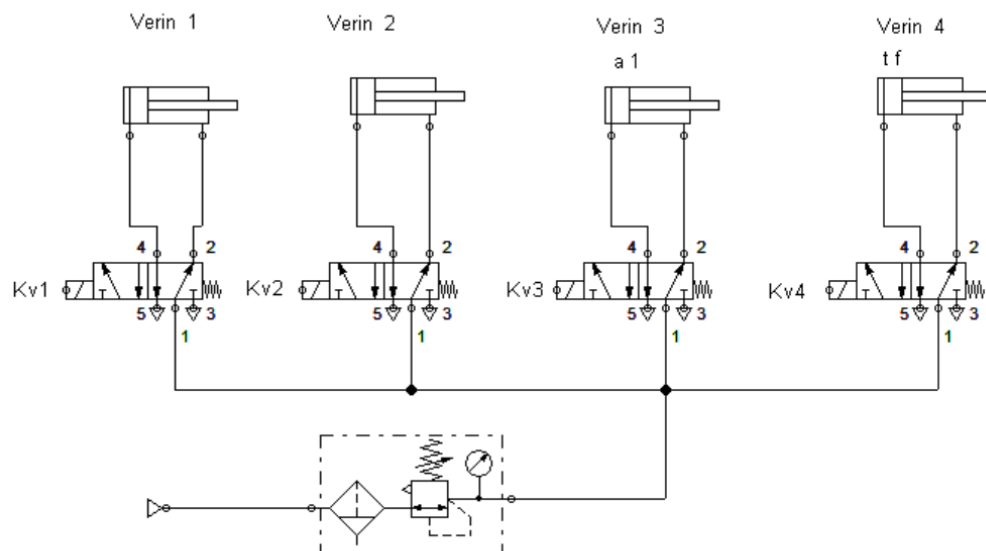


Figure 14: Circuit de puissances des actionneurs pneumatique

### 5.4.2. Circuit de commande électrique (Câblage API)

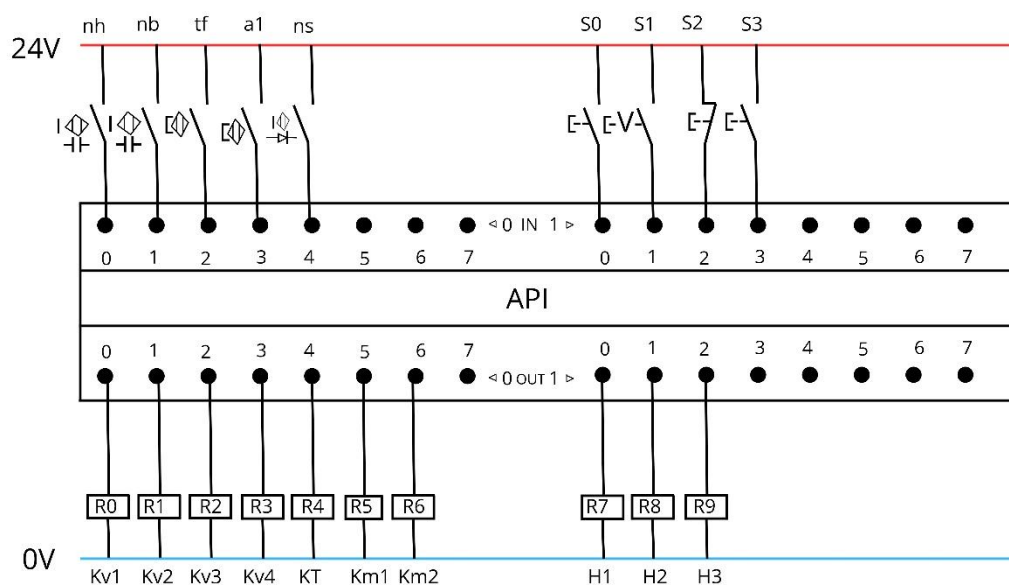


Figure 15: Circuit de commande électrique

### 5.5. Grafcet point de vue commande

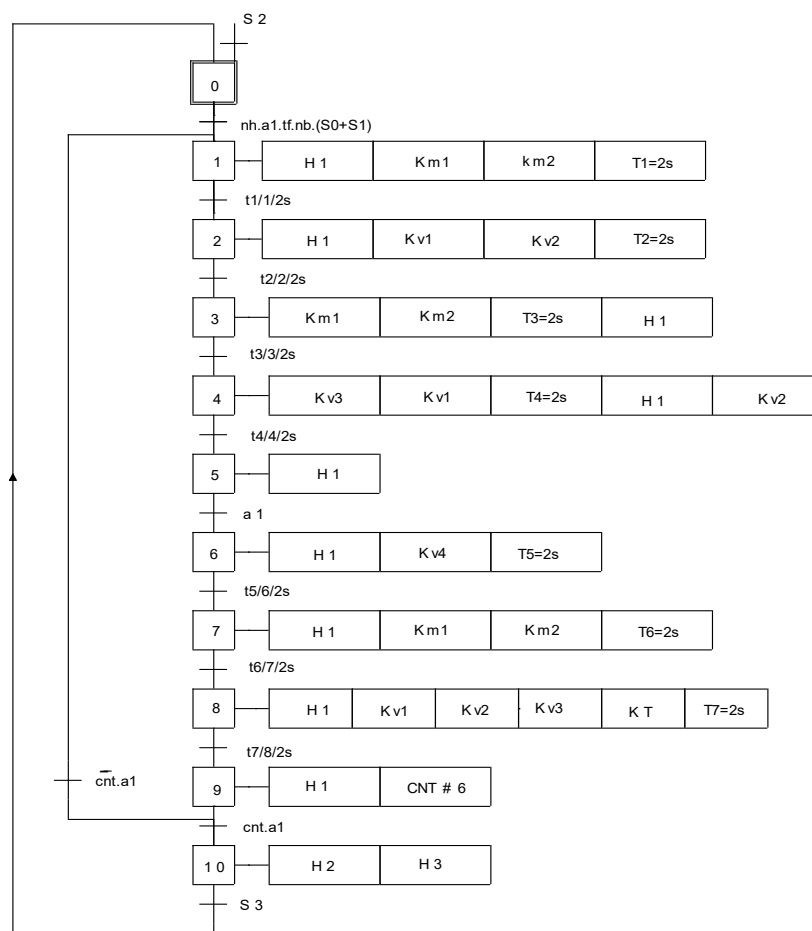


Figure 16: Grafcet point de vue commande

### 5.6. Programme Automates

Cette section est consacrée à la programmation du système automatisé, basée sur la structure développée dans le GRAFCET niveau 2. L'automate Siemens S7-313C a été programmé dans l'environnement TIA Portal, en utilisant principalement les langages LADDER (LD) et SFC (GRAFCET).

#### 5.6.1. Structure Générale du Programme

Le programme de l'automate est structuré en blocs fonctionnels (OB/FC/DB) répartis comme suit :

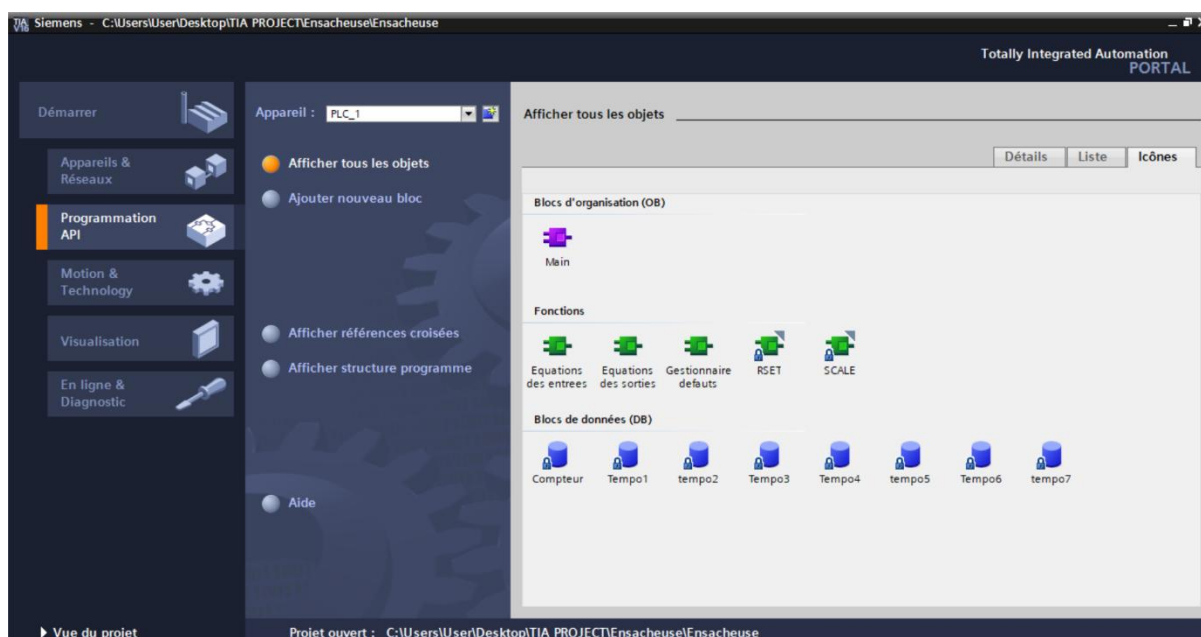


Figure 17: Structure générale du programme

Nom du bloc	Type	Fonction principale
OB1	Organisation Block	Bloc principal exécuté en boucle
FC1	Function	Gestion des équations d'activation des étapes
FC2	Function	Gestion des équations d'activation des sorties
FC3	Function	Gestion des défauts à afficher sur l'écran HMI
FC4	Function	Gestion du poids dans le sachet
DB1	Function	Gestion du comptage
DB2,DB3,DB4,DB5,DB6,DB7	Data Block	Stockage des temporisations

Tableau 6: Structure générale du programme



## 5.6.2. Le programme (Document annexe)

## 5.7. Conception des vues HMI



Figure 18: Interface principale du système

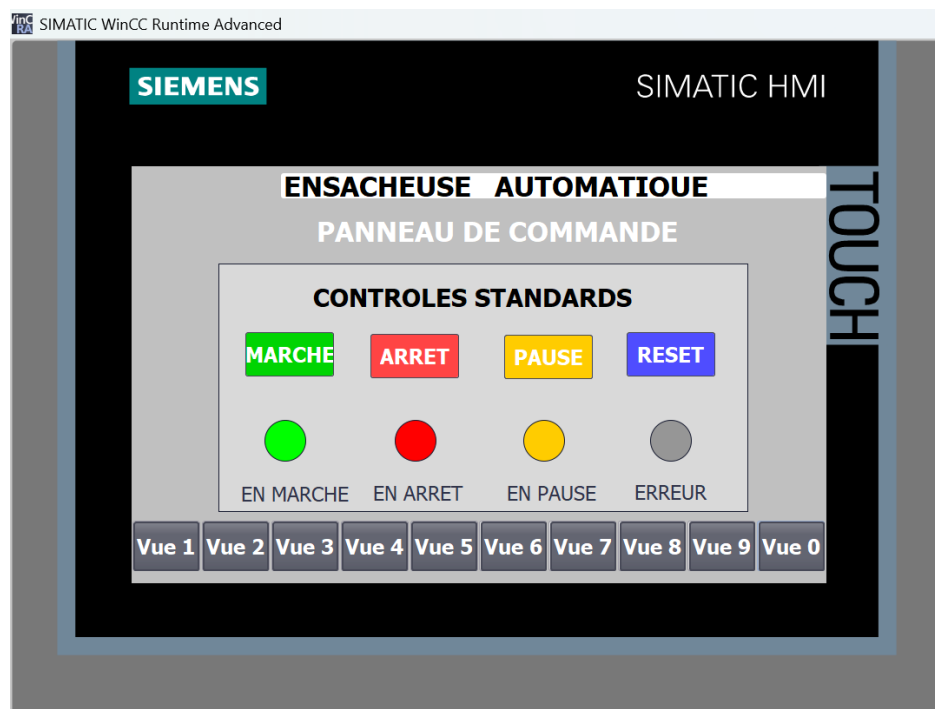


Figure 19: Vue 1 : Panneau de commande

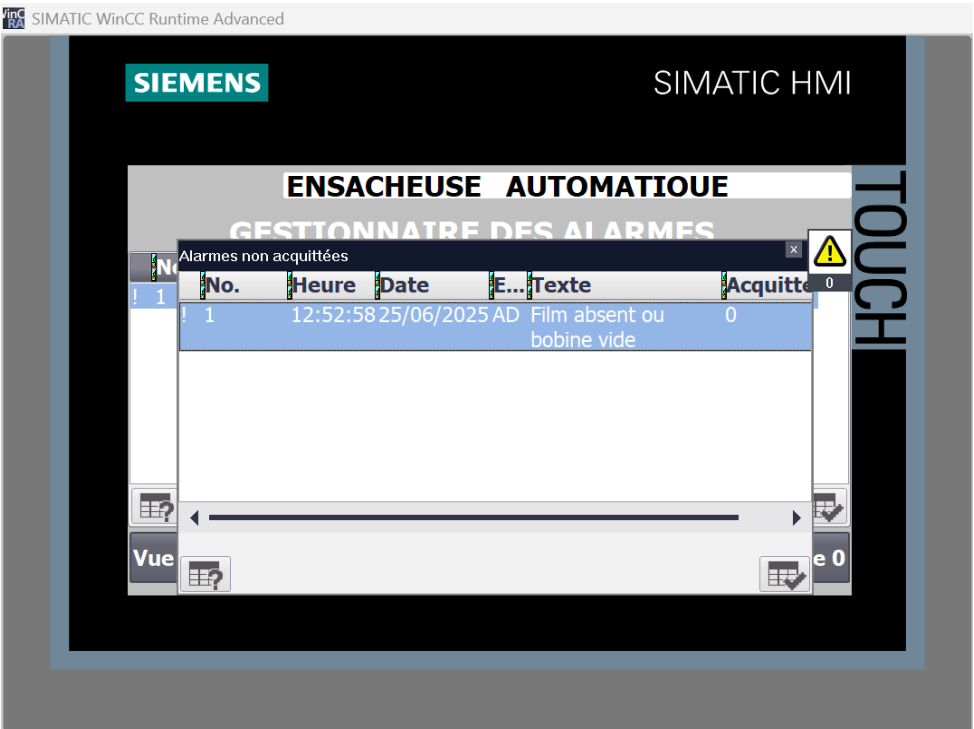


Figure 20: Vue 2 : Gestionnaire des alarmes



Figure 21: Vue 3 : Table de visualisation

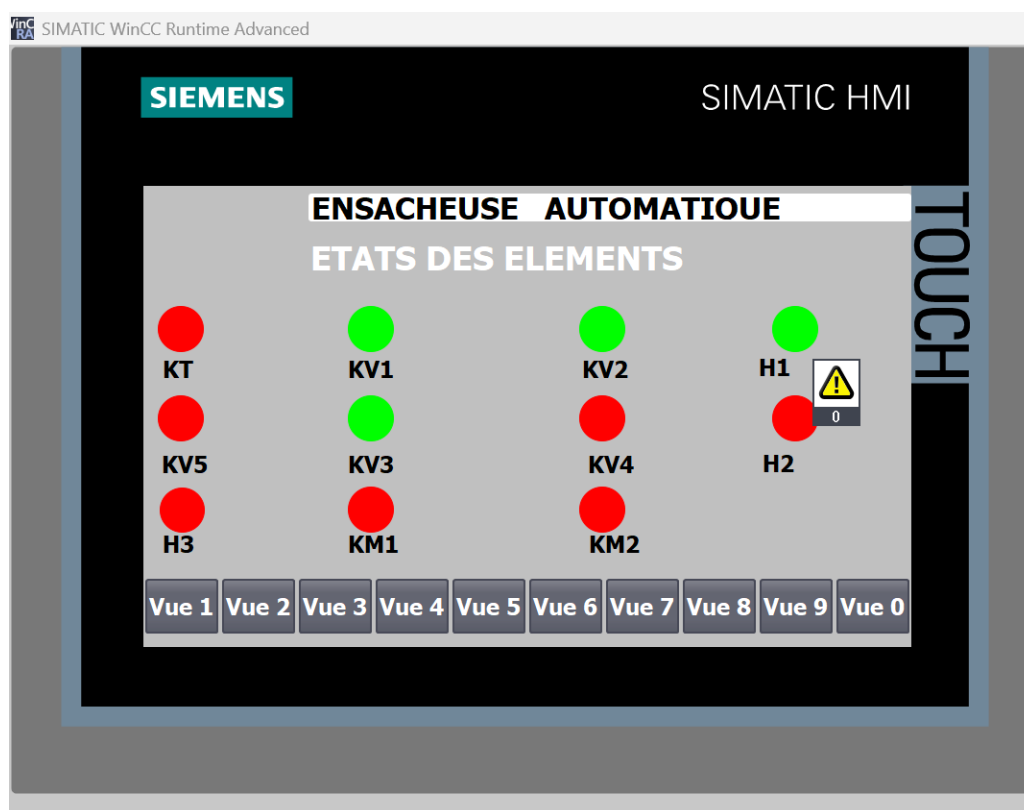


Figure 22: Vue 4 : Etats des éléments

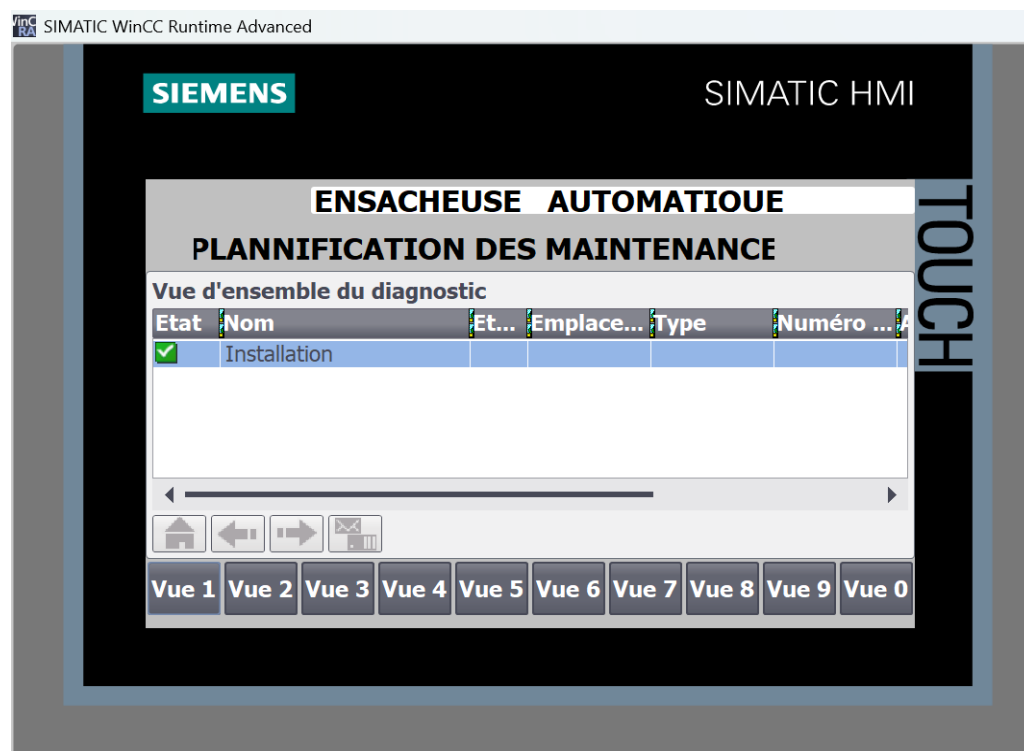


Figure 23: Vue 5 : Planification des maintenances

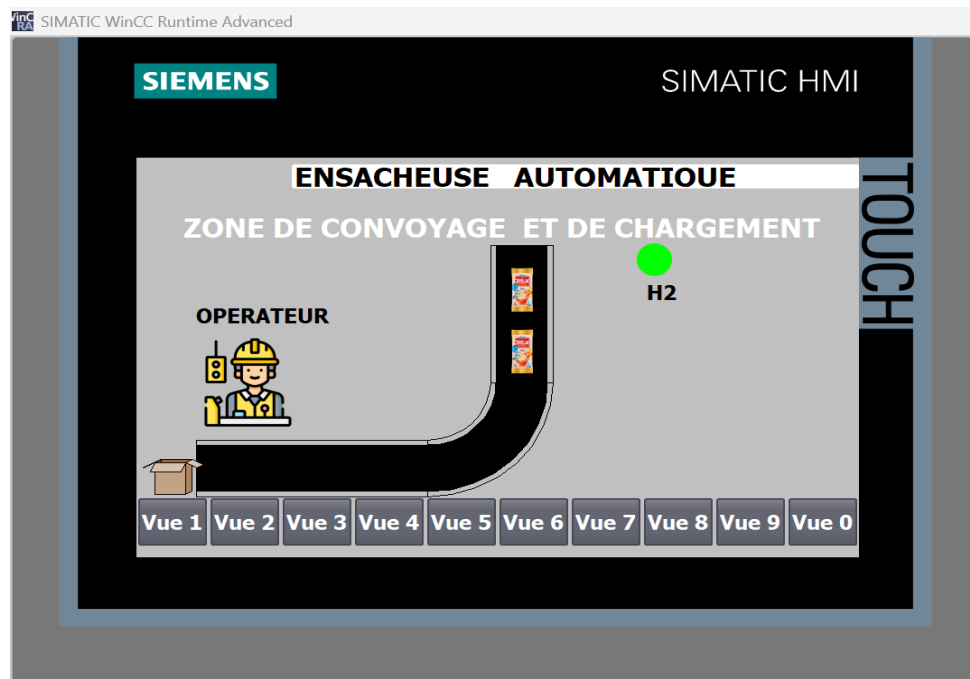


Figure 24: Vue 6 : Zone de convoyage et de chargement

### 5.8. Intégration des Sécurités

L'intégration des sécurités est essentielle pour garantir une utilisation sans risque.

- ❖ Sécurités matérielles : Arrêts d'urgence, barrières immatérielles
- ❖ Sécurités logicielles : Détection d'anomalies et verrouillage des séquences dangereuses

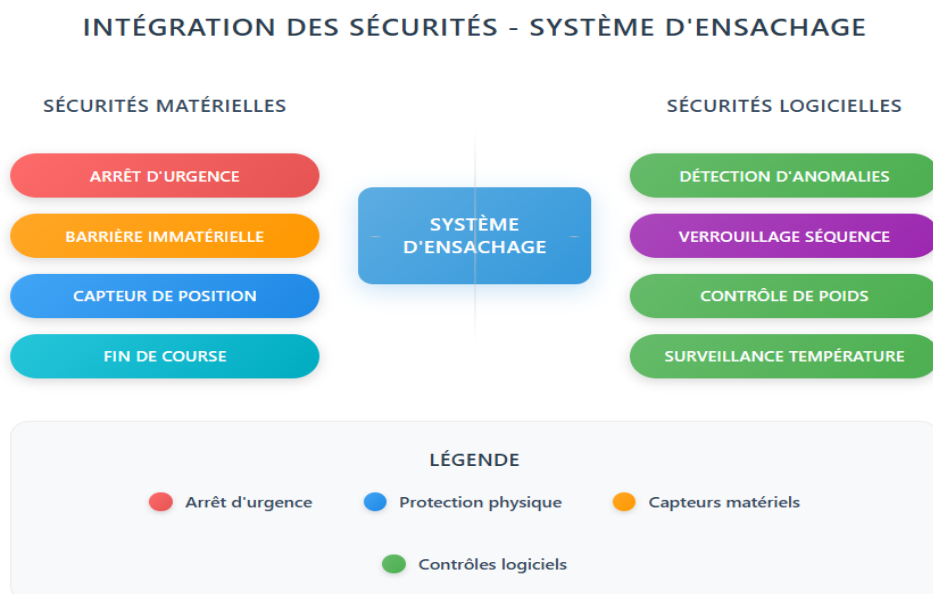


Figure 25 : Diagramme des sécurités

Ce chapitre a détaillé le développement du système, de la modélisation du contrôle à l'intégration des sécurités, en passant par l'architecture matérielle et logicielle. Ces éléments sont fondamentaux pour assurer un fonctionnement fiable et efficace du système d'ensachage automatisé.

## CHAPITRE 6 : EXPLOITATION ET MAINTENANCE

### 6.1. Manuel d'Utilisation

#### 6.1.1. Présentation Générale du Système

Le système d'ensachage automatisé repose sur une série de composants électromécaniques et électroniques permettant le conditionnement rapide et précis des produits. Il comprend :

- Une trémie de stockage,
- Un système de dosage,
- Un mécanisme de scellage et découpe,
- Un tapis de transport,
- Un poste de fermeture de cartons,
- Une interface de supervision (HMI).

#### 6.1.2. Démarrage du Système

##### 1. Vérification préalable

- Assurez-vous que l'alimentation électrique est en marche.
- Vérifiez que la trémie contient suffisamment de produit à ensacher.
- Assurez-vous que les cartons vides sont correctement positionnés.
- Inspectez l'état des capteurs et des actionneurs.

##### 2. Mise sous tension

- Appuyez sur l'interrupteur général du coffret électrique.
- Vérifiez que l'interface HMI affiche l'écran d'accueil.
- Sélectionnez le mode de fonctionnement (manuel ou automatique).

##### 3. Lancement du cycle d'ensachage

- En mode automatique, appuyez sur le bouton "Démarrer" sur l'HMI.
- Le processus se déroule en boucle jusqu'à l'arrêt manuel ou l'apparition d'une alerte.

### 4. Surveillance et correction des erreurs

- En cas d'alarme, identifiez la cause sur l'HMI.
- Appliquez la procédure de dépannage correspondante.

#### 6.1.3. Arrêt du Système

##### 1. Arrêt normal

- Sélectionnez "Arrêt" sur l'HMI.
- Laissez le cycle en cours se terminer avant de couper l'alimentation.
- Nettoyez les composants en contact avec le produit.

##### 2. Arrêt d'urgence

- Appuyez sur le bouton d'arrêt d'urgence (rouge).
- Identifiez et corrigez le problème avant de redémarrer.

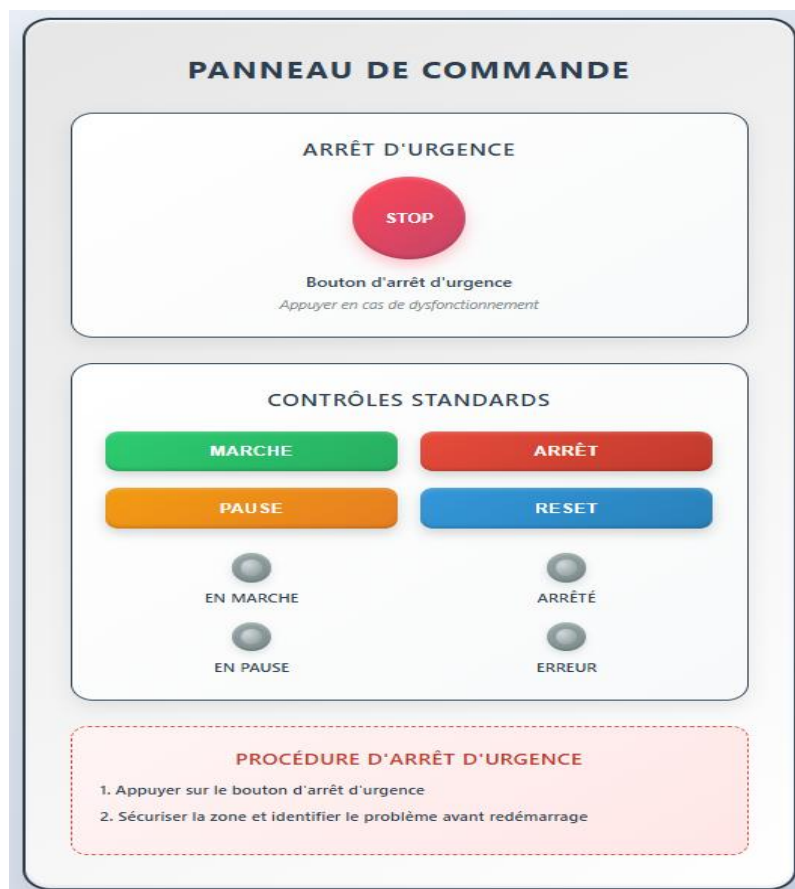


Figure 26: Panneau de commande et de contrôle

### 6.2. Plan de Maintenance Préventive

La maintenance préventive est essentielle pour assurer la fiabilité du système. Le plan suivant décrit les actions à mener à différentes fréquences :

Composant	Fréquence	Action Maintenance de	Observation
Trémie de stockage	Quotidien	Vérification du niveau et nettoyage	Assurer un bon écoulement
Capteurs	Hebdomadaire	Vérification et nettoyage	Prévenir les erreurs de détection
Vérins pneumatiques	Mensuel	Contrôle des joints et lubrification	Éviter les fuites d'air
Moteurs électriques	Trimestriel	Vérification du câblage et de l'usure	Assurer un fonctionnement optimal
Interface HMI	Annuel	Mise à jour logicielle et calibration	Améliorer la précision

Tableau 7: Plan de Maintenance du système

### 6.3. Analyse des Modes de Défaillance

L'analyse AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité) permet d'identifier les risques et d'améliorer la fiabilité du système.

Défaillance	Cause possible	Effet sur le système	Solution corrective
Capteur défectueux	Poussière ou usure	Arrêt intempestif	Nettoyage ou remplacement
Vérin bloqué	Fuite d'air ou défaut mécanique	Blocage du processus	Vérification et réparation
Erreur HMI	Bug logiciel	Mauvaise supervision	Redémarrage et mise à jour
Moteur en surchauffe	Surcharge électrique	Arrêt du convoyeur	Vérification des connexions

Tableau 8: Analyse des modes de défaillance du système



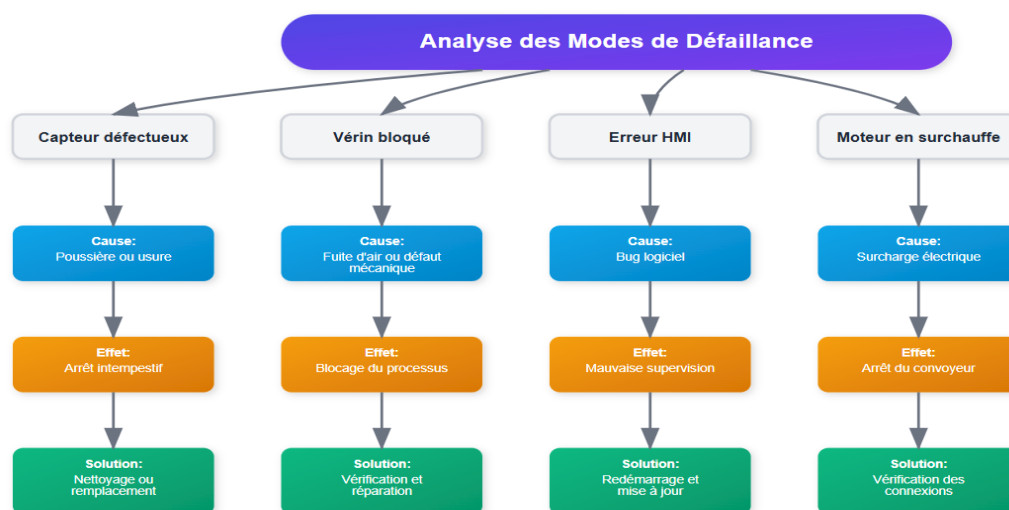


Figure 27 : Diagramme AMDEC

### 6.4. Aspects Économiques et Rentabilité

L'optimisation du système d'ensachage repose sur une rentabilité prévisionnelle accrue grâce à :

- **Réduction des pertes de matière** : grâce à une précision améliorée des capteurs ;
- **Diminution des arrêts non planifiés** : via une maintenance préventive rigoureuse ;
- **Automatisation avancée** : minimisation de l'intervention humaine et des erreurs ;

**Comparatif prévisionnel avant/après automatisation :**

Critère	Avant Automatisation	Après Automatisation
Cadence de production	30 unités/heure	60 unités/heure
Erreurs de dosage	8%	1%
Temps d'arrêt annuel	100 heures	20 heures
Coût de production	Élevé	Réduit

Tableau 9: Comparatif prévisionnel avant et après automatisation

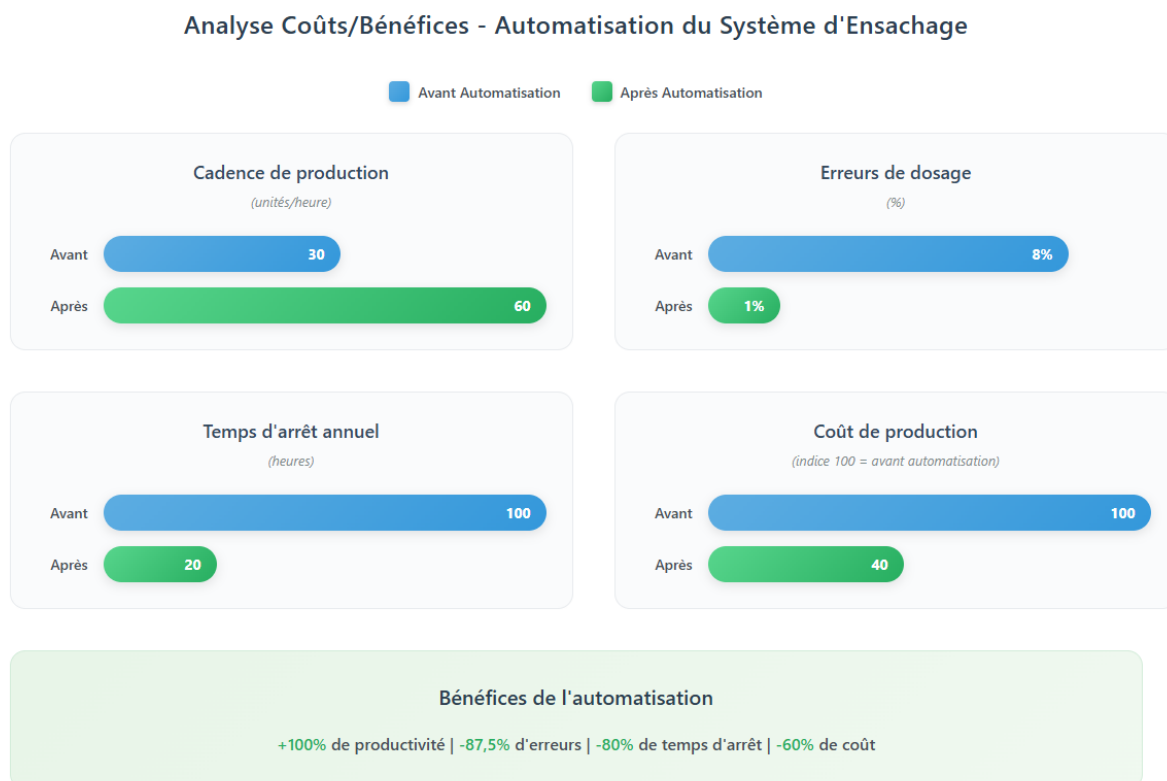


Figure 28 : Graphique prévisionnel d'analyse coûts /bénéfices

### 6.5. Perspectives d'Amélioration

Pour améliorer encore le système, plusieurs axes sont envisageables :

- **Intégration d'une intelligence artificielle** pour ajuster les paramètres de dosage en temps réel.
- **Ajout d'un module de maintenance prédictive** pour détecter les pannes avant qu'elles ne surviennent.
- **Amélioration de l'ergonomie HMI** pour une meilleure accessibilité des opérateurs.
- **Mise en place d'un système de gestion des données** pour suivre en temps réel les indicateurs de performance.

Ce chapitre fournit une vision complète de l'exploitation et de la maintenance du système. Il assure une bonne utilisation et garantit sa longévité, tout en ouvrant des perspectives d'évolution pour les futures améliorations technologiques.



---

#### **PARTIE 4 : CONCLUSION GÉNÉRALE**

---



### 7.1. CONCLUSION

Ce présent mémoire, intitulé « **Automatisation et Optimisation d'une Unité d'Ensachage : Packaging** », s'inscrit dans une dynamique de modernisation des procédés industriels au Sénégal, en réponse aux besoins pressants des Petites et Moyennes Industries (PMI) et des Groupements d'Intérêt Économique (GIE) confrontés aux défis du conditionnement.

À travers ce projet, nous avons conçu une solution technique complète, reposant sur l'automate Siemens S7-300, intégrant des capteurs de précision, des vérins pneumatiques, des dispositifs de sécurité, une interface homme-machine ergonomique et une architecture de commande adaptée aux contraintes du terrain. L'objectif principal était d'assurer un ensachage précis, rapide, sécurisé et économe en ressources, tout en garantissant une traçabilité efficace et une facilité de maintenance.

Les résultats démontrent une amélioration significative de la cadence de production, une réduction des erreurs de dosage, ainsi qu'une meilleure fiabilité globale du système. En comparant les performances avant et après automatisation, on constate un gain évident en productivité et en qualité, rendant cette solution non seulement techniquement viable mais aussi économiquement rentable.

Ce mémoire ne se limite pas à une étude technique, il est le reflet d'une volonté d'apporter des réponses concrètes aux problématiques industrielles locales, en valorisant des solutions accessibles, évolutives et compatibles avec les standards de l'industrie 4.0. Il montre également qu'un projet bien conçu, basé sur une analyse rigoureuse des besoins et des contraintes, peut avoir un impact direct sur la compétitivité et la résilience des structures industrielles.

Enfin, ce travail ouvre des perspectives d'amélioration continues, telles que l'intégration de la maintenance prédictive, l'optimisation énergétique par intelligence embarquée, ou encore l'interconnexion avec des systèmes de supervision. Ainsi, « **Automatisation et Optimisation d'une Unité d'Ensachage Automatique** » constitue une contribution concrète au développement technologique du tissu industriel sénégalais et s'inscrit pleinement dans les ambitions de transformation numérique et industrielle du pays à l'horizon 2050.

### BIBLIOGRAPHIE

#### Normes (ISO / IEC / ISA / API) :

- ISO 4414. (2010). *Power fluid systems – Pneumatic fluid power – General rules and safety requirements for systems and their components*. International Organization for Standardization.
- ISO 4413. (2010). *Hydraulic fluid power – General rules and safety requirements for systems and their components*. ISO.
- IEC 61131-3. (2013). *Programmable controllers – Part 3: Programming languages*. International Electrotechnical Commission.
- IEC 60204-1. (2016). *Safety of machinery – Electrical equipment of machines – Part 1: General requirements*. IEC.
- IEC 61499-1. (2012). *Function blocks – Part 1: Architecture*. IEC.
- IEC 61499-2. (2012). *Function blocks – Part 2: Software tool requirements*. IEC.
- IEC 61499-4. (2013). *Function blocks – Part 4: Rules for compliance profiles*. IEC.
- IEC 62061. (2021). *Safety of machinery – Functional safety of safety-related control systems*. IEC.
- ISA-62443 series (IEC 62443). *Security for Industrial Automation and Control Systems*. International Society of Automation / IEC.
- IEC 62541. (2020). *OPC Unified Architecture – Part 1 to 14*. IEC.
- ISO 13849-1. (2015). *Safety of machinery – Safety-related parts of control systems – Part 1: General principles for design*. ISO.

#### Fiches techniques et ressources industrielles :

- Pneuparts. (2023). *What ISO standards are there for pneumatic cylinders?*. Consulté sur <https://www.pneuparts.com> Consulté le 18 décembre 2024 à 11 :45
- API Pneumatic. (2023). *Certifications & technical documents*. Consulté sur <https://www.api-pneumatic.com> Consulté le 28 décembre 2024 à 09 :25

- Pilz GmbH. (2023). *EN ISO 4414 – Safety in Pneumatics*. Consulté sur <https://www.pilz.com> Consulté le 16 janvier 2025 à 21 :12
- Siemens. (2023). *SIMATIC S7-300 – Technical specifications and manuals*. Consulté sur <https://support.industry.siemens.com> Consulté le 27 mai 2025 à 17 :22
- PDH Online. (2023). *Pneumatics and Compressed Air Systems Guide*. Consulté sur <https://www.pdhonline.com> Consulté le 27 mai 2025 à 19 :13

### **Ouvrages et articles académiques :**

- Lewis, R. W. (2014). *Modelling Control Systems Using IEC 61499*. The Institution of Engineering and Technology (IET).
- Vyatkin, V. (2011). *IEC 61499 Function Blocks for Embedded and Distributed Control Systems Design*. ISA.
- John, K.-H., & Tiegelkamp, M. (2010). *IEC 61131-3: Programming Industrial Automation Systems*. Springer-Verlag.
- Zhang, T., Wang, G., Xue, C., & Han, S. (2023). *Time-Sensitive Networking (TSN) for Industrial Automation: Current Advances and Future Directions*. arXiv preprint arXiv:2306.12190.
- Thramboulidis, K. (2015). *Service-Oriented Architecture in Industrial Automation: Review and Challenges in the Context of IEC 61499*. arXiv:1506.02059.
- Karnouskos, S., Leitão, P., & Colombo, A. W. (2021). *Assessing the Integration of Software Agents with Industrial Standards using ISO/IEC 25010*. arXiv:2108.08833.

**TABLE DES MATIERES**

<b>DEDICACE .....</b>	<b>I</b>
<b>DEDICACE .....</b>	<b>II</b>
<b>DEDICACE .....</b>	<b>III</b>
<b>REMERCIEMENTS .....</b>	<b>IV</b>
<b>AVANT-PROPOS .....</b>	<b>V</b>
<b>LISTE DES FIGURES.....</b>	<b>VI</b>
<b>LISTE DES ABREVIATIONS.....</b>	<b>VII</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX .....</b>	<b>VIII</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>IX</b>
<b>RESUME .....</b>	<b>X</b>
<b>SOMMAIRE.....</b>	<b>XI</b>
1.1. INTRODUCTION.....	- 2 -
1.2. Contexte.....	- 3 -
1.2.1. Contexte général .....	- 3 -
1.2.2. Contexte Spécifique.....	- 3 -
1.3. Problématique.....	- 3 -
1.4. Solution .....	- 4 -
1.5. Objectifs .....	- 4 -
1.5.1. Objectif General (OG).....	- 4 -
1.5.2. Objectifs Spécifiques (OS) .....	- 4 -
CHAPITRE 2 :PANORAMA DES CONNAISSANCES ET ANALYSE DU BESOIN .....	- 7 -
2.1. Situation actuelle du conditionnement au Sénégal.....	- 7 -
2.2. Étude des solutions existantes .....	- 7 -
2.3. Analyse fonctionnelle : besoins et contraintes .....	- 8 -
2.3.1. Diagramme pieuvre .....	- 8 -
2.3.2. Analyse des contraintes .....	- 9 -
2.4. Cahier des charges fonctionnel : fonctions et contraintes .....	- 9 -
2.4.1. Fonctions principales.....	- 9 -
2.4.2. Contraintes techniques.....	- 9 -
CHAPITRE 3 :ÉTUDE TECHNIQUE PRÉLIMINAIRE .....	- 10 -
3.1. Architecture Générale du Système .....	- 10 -

3.2. Choix Technologiques .....	- 11 -
3.2.1. Automate S7-300.....	- 11 -
3.2.1.1. Composants Principaux du S7-300.....	- 11 -
3.2.1.2. Unité Centrale de Traitement (CPU) .....	- 12 -
3.2.1.2.1 Caractéristiques principales du CPU .....	- 12 -
3.2.2. Câblage et Installation .....	- 14 -
3.2.2.1. Types de câbles utilisés .....	- 14 -
3.2.2.2. Recommandations pour le câblage : .....	- 14 -
3.2.3. Programmation avec TIA Portal .....	- 14 -
3.2.3.1. Principales étapes de programmation .....	- 15 -
3.2.4. Actionneurs et Capteurs.....	- 15 -
3.2.4.1. Capteurs .....	- 15 -
3.2.4.1.1 Capteur Capacitif (nb et nh - Niveau trémie).....	- 15 -
3.2.4.1.2 Capteur Photoélectrique (Sr - Détection du sachet en position) .....	- 16 -
3.2.4.1.3 Capteur de Poids (Ps - Détection du poids suffisant) .....	- 16 -
3.2.4.1.4 Capteur mécanique (c1 et c2) .....	- 17 -
3.2.4.2. Actionneurs.....	- 18 -
3.2.4.2.1 Vérin Pneumatique Kv1 (Rentrée trappe de dosage).....	- 18 -
3.2.4.2.2 Vérin Pneumatique Kv2 (Scellage et découpage) .....	- 18 -
3.2.4.2.3 Vérin Pneumatique KV3 (Éjection du carton rempli) .....	- 18 -
3.2.4.2.4 Moteurs Électriques Km1 et Km2 (Tapis de transport) .....	- 19 -
3.3. Description des Composants Principaux.....	- 19 -
3.3.1. Trémie de Stockage.....	- 19 -
3.3.2. Système de Dosage.....	- 19 -
3.3.3. Dispositif de Scellage et Découpe .....	- 20 -
3.3.4. Tapis de Transport.....	- 20 -
3.3.5. Poste de Fermeture et d'Éjection des Cartons .....	- 20 -
3.4. Étude des Contraintes Sécuritaires .....	- 20 -
3.4.1. Sécurité des Opérateurs .....	- 20 -
3.4.2. Sécurité des Équipements.....	- 20 -
3.4.3. Normes et Réglementations.....	- 21 -
CHAPITRE 4 :DIMENSIONNEMENT ET CALCULS .....	- 22 -
4.1. Calculs des Charges et Efforts.....	- 22 -



4.1.1. Bilan des Masses .....	- 22 -
4.1.2. Forces Appliquées .....	- 22 -
4.2. Dimensionnement des Vérins.....	- 23 -
4.2.1. Calcul de la force des vérins.....	- 23 -
4.3. Calculs des Temps de Cycle .....	- 23 -
4.3.1. Temps de remplissage .....	- 23 -
4.3.2. Temps de scellage et découpe .....	- 24 -
4.3.3. Temps de transport et d'éjection .....	- 24 -
4.4. Bilan Énergétique .....	- 24 -
4.4.1. Consommation des moteurs.....	- 24 -
4.4.2. Consommation des vérins pneumatiques .....	- 24 -
4.4.3. Estimation du coût énergétique .....	- 25 -
CHAPITRE 5 :DÉVELOPPEMENT DU SYSTÈME .....	- 27 -
5.1. Modélisation du Contrôle.....	- 27 -
5.1.1. Description du Système.....	- 27 -
5.1.2. Fonctionnement du Système.....	- 27 -
5.2. Architecture Matérielle Détaillée .....	- 30 -
5.2.1. Automate Programmable Industriel (API) .....	- 30 -
5.2.2. Actionneurs et Capteurs.....	- 30 -
5.3. Nomenclature des Entrées / Sorties.....	- 31 -
5.3.1. Entrées .....	- 31 -
5.3.2. Sorties .....	- 31 -
5.4. Circuit de puissance et commande .....	- 32 -
5.4.1. Circuit de puissance des actionneurs pneumatique .....	- 32 -
5.4.2. Circuit de commande électrique (Câblage API) .....	- 32 -
5.5. Grafset point de vue commande.....	- 33 -
5.6. Programme Automates .....	- 33 -
5.6.1. Structure Générale du Programme .....	- 33 -
5.6.2. Le programme (Document annexe).....	- 35 -
5.7. Conception des vues HMI .....	- 35 -
5.8. Intégration des Sécurités .....	- 38 -
CHAPITRE 6 :EXPLOITATIONETMAINTENANCE.....	- 40 -
6.1. Manuel d'Utilisation .....	- 40 -

6.1.1. Présentation Générale du Système .....	- 40 -
6.1.2. Démarrage du Système .....	- 40 -
6.1.3. Arrêt du Système .....	- 41 -
6.2. Plan de Maintenance Préventive .....	- 42 -
6.3. Analyse des Modes de Défaillance .....	- 42 -
6.4. Aspects Économiques et Rentabilité .....	- 43 -
6.5. Perspectives d'Amélioration .....	- 44 -
7.1. CONCLUSION .....	- 46 -
<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>- 47 -</b>
<b>TABLE DES MATIERES.....</b>	<b>- 49 -</b>