



*Faculté de Technologie
Département de Génie Electrique*



MEMOIRE DE FIN DE CYCLE

*En vue de l'obtention du diplôme de MASTER en Electrotechnique
Option : Automatismes industriels*

THEME

Analyse et solution d'automatisation pour les emballages carton de la margarine 1,8 kg au niveau de CO.G.B

Fait par :

M^r MERZOUGUI Koussayla

M^r MENASRI Malek

Encadré par :

M^r TAZERART Farid (Université de Béjaïa)

M^r TAIB Nabil (Université de Béjaïa)

M^r DEKHOUKHE (Entreprise CO.G.B)

Remerciements

Au terme de ce travail, nous tenons à remercier tout particulièrement :

Allah pour sa bienveillance.

Nous remercions chaleureusement nos familles pour leur encouragement et soutien durant toute notre carrière d'études.

Notre profonde gratitude va à nos promoteurs, Monsieur Farid TAZERART et Monsieur Nabil TAIB, pour l'honneur qu'ils nous ont fait en nous encadrant, pour leurs précieux conseils, orientations et pour leurs confiances placées en nous.

Nos vives reconnaissances à Monsieur ; 'DAKHOUKH d'avoir accepté de nous encadrer.

Nous tenons à remercier Monsieur 'S.DJEMAOUI qui nous a aidé à faire un stage pratique au sein de l'entreprise CO.G.B.

Nous remercions aussi, Mr A.MELLALI, maitre-assistant de classe (A) au département de Génie Electrique YEM^{Me} N.Ameur, secrétaire au même département.

Nous tenons à remercier également les membres de jury d'avoir accepté d'examiner et de juger notre travail.

Nos remerciements les plus sincères et les plus chaleureux vont, également, à toutes les personnes qui en fait cru en nous et qui nous ont aidé.

Dédicaces

Koussayla

Dédicaces

Je tiens à dédier ce travail tout particulièrement :

A mes très chers parents qui ont tout fait pour me guider vers le chemin de la réussite; pour leur soutien, leur aide et surtout leur amour; qu'Allah vous protège et vous prête une longue et heureuse vie.

A mes adorables sœurs ; Fatiha, Samia.

A mes très chères frères ; Amar, Adel.

A Kahina très particulièrement et à toute sa famille.

A toute ma famille.

A la mémoire de ma grand-mère Aini, Amel -la petite fille de ma cousine Sabrina-, aux amis de mon frère Adel (Mouloud, Youcef, Massi, Nazim, Kamel, Amir, Abed el latif) ex-étudiants à l'école EPST du Tlemcène, auxquels je prie Allah de les accueillir dans son vaste paradis.

A mon camarade, frère Koussayla et sa famille.

A vous dont le cœur est plein d'amitié Massi, Lyes, Mourad, Sofiane, Zahir, Halim, Chaâbane, Adel, Yacine, Mouh, Nassim et tous les autres.

A toute la promotion du master 2 en Electrotechnique, en particulier Automatisme industriel (2011-2012).

Pour tout le mal que vous vous donnez chaque jour ; mère, père, frères et sœurs, je vous dédie ce travail.

MALEK

LISTE DES ABREVIATIONS ET DES SYMBOLES

1. **2D** : Deux dimensions
2. **3D** : Trois dimensions
3. **ANA** : Analogique
4. **API** : Automate Programmable Industriel
5. **CIAME** : Commission Industrie-Administration pour la Mesure
6. **COGB** : Cors Gras de Bejaia
7. **CPU** : Central Processing Unit
8. **Cr** : Couple résistant
9. **Cr mot** : Couple résistant moteur
10. **Cr ramené** : Couple résistant ramené au moteur
11. **dt** : Variation par rapport au temps
12. **dw** : Variation de la vitesse angulaire
13. **Ec** : Energie cinétique du carton chargé en déplacement
14. **ENCG** : Entreprise Nationale des Corps Gras
15. **ENL** : L'entreprise nationale du liège
16. **f** : fréquence d'alimentation
17. **F** : La force développée par les vérins
18. **FAST** : Function Analysis System Technique
19. **Fb** : Charge sur le palier du vérin
20. **Fdp** : Effort dynamique développé en poussant
21. **Fdt** : Effort dynamique développé en tirant
22. **Fsp** : Effort statique développé en poussant
23. **Fst** : Effort statique développé en tirant
24. **g** : Glissement
25. **GRAF CET** : GRAF de Commande Etapes-Transitions
26. **i** : Rapport de réduction de vitesse
27. **IHM** : Interface Homme-Machine
28. **j** : Le moment d'inertie
29. **j_{ch}** : Le moment d'inertie de l'arbre du réducteur
30. **j_{tot}** : Le moment d'inertie total
31. **l** : Longueur du ressort au repos

32. **l1** : Longueur de guidage
33. **l2** : Longueur du palier à l'extrémité de tige
34. **LOG** : Logique
35. **m** : Masse
36. **MP** : Muscle pneumatique
37. **MTBF** : Mean Time Between Failure
38. **N** : Vitesse en tours par minute
39. **NF** : Normalement Fermé
40. **NFC** : Near Field Communication (Communication de Terre Proche)
41. **NO** : Normalement Ouvert
42. **NUM** : Numérique
43. **p** : Pression d'alimentation
44. **P** : Nombre de paireu de poleu
45. **P1** : Pression atmosphérique
46. **P2** : Pression de l'air utilisé par la ventquse
47. **PC** : Partie Eommande
48. **PO** : Partie Qpérative
49. **PSI** : Pound per Square Inch, unité de pression anglo-saxonne
50. **Q** : Débit du distributeur
51. **r** : Raideur du ressort
52. **RAM** : Random Access Memory
53. **RSxxx** : Recommended standard
54. **S** : Surface
55. **S** : Sensibilité
56. **SADT** : Stuctured Analysis and Design Technique
57. **SIAN** : Société Industrielle de l'Afrique du Nord
58. **SOGEDIA** : Société de Gestion et de Développement des Industries Alimentaires
59. **SPA** : Société par action
62. **T** : Tension du ressort
63. **tc** : Taux de charge
64. **TOR** : Tout ou Rien
65. **Up7** : Unité de production 7
66. **v** : Vitesse de convoyage du tapis roulant

- 67. **VDE** : Vérin double effet
- 68. **Vmax** : Vitesse hors charge
- 69. **VSE** : Vérin simple effet
- 6. **w1** : Vitesse angulaire à l'arbre du moteur
- 8. **w2** : Vitesse angulaire à l'arbre du réducteur
- 72. **WS** : Charge en bout de tige
- 73. **x** : Rétrécissement du ressort au cours de la dynamique du système
- 74. Δ : Lettre grecque signifiant une variation
- 75. Δl : Le rétrécissement du ressort à l'équilibre du système
- 76. η : Rendement du moteur
- 77. μM : Rendement mécanique
- 78. μP : Rendement pneumatique

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : Structure d'un système automatisé	3
Figure 1.2 : Organigramme des départements de production de CO.G.B/UP7	4
Figure 1.3 : Vu de face de la machine de remplissage NOVAPAC RP 200-2	5
Figure 1.4 : Schéma explicatif du fonctionnement du système actuel d'emballage	6
Figure 1.5 : Schéma explicatif du processus actuel d'encartonnement	7
Figure 2.1 : Les principaux constituants d'un vérin	9
Figure 2.2 : Vérin simple effet (rappel par ressort)	10
Figure 2.3 : Vérin double effet (sortie de la tige)	10
Figure 2.4 : Photos et symbole d'un vérin rotatif à palette	11
Figure 2.5 : Photo des muscles pneumatiques de la firme FESTO	12
Figure 2.6 : Schéma représentative du fonctionnement du muscle pneumatique	12
Figure 2.7 : Constitution d'un distributeur pneumatique	13
Figure 2.8 : Les distributeurs 3/2 et 5/2	14
Figure 2.9 : Réducteur de vitesse mécanique à engrenages	16
Figure 2.10 : Rôle d'un capteur	17
Figure 2.11 : Structure fonctionnelle d'un capteur	18
Figure 2.12 : Les différents détecteurs de présence par contact	19
Figure 2.13 : Détecteur inductif	20
Figure 2.14 : Principe de fonctionnement d'un détecteur inductif	21
Figure 2.15 : Détecteur photoélectrique	21
Figure 2.16 : Réflecteur	21
Figure 2.17 : Centrale d'air comprimé	24
Figure 2.18 : Groupe de conditionnement	24
Figure 2.19 : Photos d'un filtre à air	25
Figure 2.20 : Photo et symbole d'un détendeur	25
Figure 2.21 : Photo et symbole d'un manomètre	26
Figure 2.22 : Photo et symbole d'un lubrificateur	26
Figure 2.23 : Système générateur de vide-ventouse	27
Figure 2.24 : Vacuostat du marque FESTO	28
Figure 2.25 : Schéma fonctionnel du vacuostat	28

Figure 2.26 : Photo et symbole d'un filtre à vide	28
Figure 2.27 : Photo et symbole d'une électrovanne	29
Figure 3.1 : Schéma descriptif de l'actigramme	31
Figure 3.2 : La structure hiérarchique de la méthode SADT	32
Figure 3.3 : Schémas de l'analyse SADT (actigramme et datagramme)	32
Figure 3.4 : Principe de la méthode FAST	33
Figure 3.5 : Diagramme fonctionnel de la méthode FAST	34
Figure 3.6 : Représentation des différentes structures de branchement	34
Figure 3.7 : Application de la méthode FAST au sélecteur de pots	45
Figure 3.8 : Application de la méthode FAST au système à automatiser	46
Figure 3.9 : Arrache du carton (vue de haut)	48
Figure 3.10 : Orientation du carton (vue de haut)	48
Figure 3.11 : Arrache et orientation du carton (vue en 3D)	49
Figure 3.12 : Fermeture du carton par-dessous (vue de haut)	40
Figure 3.13 : Fermeture du carton par-dessous (vue de face)	41
Figure 3.14 : Evacuation du carton vers le tapis roulant	41
Figure 3.15 : Arrêt du carton au poste de chargement	43
Figure 3.16 : a. Détection de l'arrivée du carton au poste de chargement	44
Figure 3.16 : b. Sortie du vérin d'arrêt V6 et arrêt du carton	44
Figure 3.17 : Organisation du produit à encartonner	45
Figure 3.18 : Fonctionnement du muscle pneumatique	46
Figure 3.19 : Chargement du produit dans le carton	48
Figure 3.20 : Evacuation du carton chargé vers la scotcheuse	50
Figure 4.1 : Les charges sur palier et en bqut de la tige d'un vérin	52
Figure 4.2 : Les forces exercées sur le vérin V1 (vue de face)	53
Figure 4.3 : Diamètres de la tige et du piston d'un vérin	54
Figure 4.4 : Les poids que supporte le vérin V2	55
Figure 4.5 : Différentes forces appliquées au ressort	56

Figure 4.6 : Flambage de la tige du vérin sous l'effet de la charge axiale	57
Figure 4.7 : Dimensionnement et choix des vérins	62
Figure 4.8 : Dispositif de fermeture par dessous des petites ailettes du carton	58
Figure 4.9 : Dispositif de fermeture par dessous des grandes ailettes du carton	58
Figure 4.10 : Dispositif de l'évacuation du carton vers le tapis roulant (vue de haut)	59
Figure 4.11 : Vérin d'arrêt vertical avec tige de piston à arrêt direct de marque Parker	59
Figure 4.12 : Les forces que supporte le vérin V7 à l'équilibre	61
Figure 4.13 : Les forces exercées sur le vérin V8 (vue de face)	62
Figure 4.14 : La vitesse d'un vérin (%) en fonction de sa charge (%)	65
Figure 4.15 : Réducteur de débit unidirectionnel	68
Figure 4.16 : Moteur et réducteur de vitesse mécanique du tapis roulant	69
Figure 4.17 : Evolution de la vitesse angulaire w en fonction du temps	71
Figure 4.18 : Couple accélérateur moyen développé par le moteur	71
Figure 4.19 : Simulation online	73
Figure 5.1 : Structure d'un système automatisé	76
Figure 5.2 : Représentation des éléments d'un GRAFCET	78
Figure 5.3 : GRAFCET de bon fonctionnement (poste de préparation carton)	79
Figure 5.4 : GRAFCET de bon fonctionnement (aiguillage du produit)	80
Figure 5.5 : GRAFCET de bon fonctionnement (poste de chargement)	81
Figure 5.6 : GRAFCET de défaut (magasin carton)	82
Figure 5.7 : GRAFCET de défaut (poste de préparation du carton)	82
Figure 5.8 : GRAFCET de défaut (poste de chargement)	83
Figure 5.9 : Schéma structurel de l'installation sous le progiciel Automation Studio	86
Figure 5.10 : Schéma d'un automate programmable industriel	87
Figure 5.11 : Schéma structurel d'un API	88
Figure 5.12 : Cycle d'exécution d'un automate	88

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 4.1 : Références et principales caractéristiques des différents vérins FESTO à utiliser	63
Tableau 4.2 : Charges et vitesses (en %) des vérins choisis.....	66
Tableau 4.3 : Débits des différents distributeurs choisis.....	67
Tableau 4.4 : Références et principales caractéristiques des différents distributeurs FESTO à utiliser.	67
Tableau 4.5 : Références et principales caractéristiques des limiteurs de débit FESTO à utiliser	68
Tableau 4.6 : Principales caractéristiques du moteur à utiliser	72
Tableau 5.1 : Table des nomenclatures des entrées.....	84
Tableau 5.2 : Table des nomenclatures des sorties	85
Tableau 5.3 : Table des mnémoniques	99

SOMMAIRE

Introduction générale	1
------------------------------------	---

CHAPITRE 1 : DESCRIPTION DU FONCTIONNEMENT DU SYSTEME ACTUEL

Introduction	2
1.1. Présentation de l'entreprise d'accueil	2
1.2. Description du fonctionnement du système actuel	5
1.3. Problématique et élaboration du cahier des charges	8
Conclusion	8

CHAPITRE 2 : GENERALITES SUR LES ACTIONNEURS ET CAPTEURS

Introduction	9
2.1. Le vérin pneumatique linéaire	9
2.2. Le vérin pneumatique rotatif à palette	11
2.3. Le muscle pneumatique	12
2.4. Le distributeur pneumatique	13
2.5. Le moteur asynchrone	15
2.6. Le réducteur de vitesse mécanique	16
2.7. Les capteurs	17
2.7.1. Structure fonctionnelle d'un capteur	17
2.7.2. Familles des capteurs	18
2.8. Le générateur d'air comprimé	23
2.8.1. Caractéristiques de l'air comprimé	23
2.8.2. Centrale d'air comprimé	24
2.8.3. Le groupe de conditionnement	24
2.8.3.1. Le filtre à air	25
2.8.3.2. Le détendeur	25
2.8.3.3. Le manomètre	26
2.8.3.4. Le lubrificateur	26
2.9. Le système « générateur de vide – ventouse »	27
2.10. Quelques accessoires d'une chaîne pneumatique	28
2.10.1. Le vacuostat	28
2.10.2. Le filtre à vide	28

2.10.3. L'électrovanne	29
Conclusion	29

CHAPITRE 3 : METHODES D'ANALYSE ET SOLUTIONS TECHNIQUES

Introduction	30
3.1. Les méthodes d'analyse fonctionnelle SADT et FAST	30
3.1.1. La méthode SADT	30
3.1.2. La méthode FAST	33
3.2. Application de la méthode d'analyse FAST au système à automatiser	35
3.3. Les solutions techniques en vue de l'automatisation	37
3.3.1. Arrache et orientation du carton	37
3.3.2. Fermeture du carton par-dessous	40
3.3.3. Evacuation du carton vers le tapis roulant	41
3.3.4. Arrêt du carton au poste de chargement	43
3.3.5. Organisation du produit à encartonner	45
3.3.6. Chargement du produit dans le carton	46
3.3.7. Evacuation du carton chargé vers la scotcheuse	50
Conclusion.....	50

CHAPITRE 4 : DIMENSIONNEMENT DES ELEMENTS TECHNOLOGIQUES

Introduction	51
4.1. Dimensionnement des vérins	51
4.2. Vérification de la résistance du vérin choisis au flambage	56
4.3. Choix des vérins commercialisés	63
4.4. Vitesse des vérins	64
4.4.1. Régulation de vitesse sur des vérins pneumatiques	65
4.4.2. Vérification de l'influence de la charge sur la vitesse des vérins choisis	66
4.5. Dimensionnement des distributeurs	67
4.6. Choix des distributeurs commercialisés	67
4.7. Choix des limiteurs de débit commercialisé	68
4.8. Dimensionnement du moteur et du réducteur du tapis roulant	69
4.9. Vérification du moteur choisis au démarrage et au régime établi	70
4.9.1. Vérification du moteur au démarrage	71
4.9.2. Vérification du moteur au régime établie	72
4.10. Simulation online sur le site officiel FESTO	72
Conclusion	75

CHAPITRE 5 : AUTOMATISATION ET GRAFCET

Introduction	76
5.1. Système automatisé.....	76
5.2. Le GRAFCET	77
5.2.1. Éléments d'un GRAFCET	77
5.2.2. Symbolisation du GRAFCET	78
5.2.3. Elaboration du GRACET du système étudié	78
5.3. Simulation avec Automation Studio	85
5.4. API et programmation	87
5.4.1. Automate Programmable Industriel (API)	87
5.4.1.1. Constitution d'un automate programmable industriel	87
5.4.1.2. Principe de fonctionnement d'un automate	88
5.4.2. Programmation des automates	89
5.4.2.1. Les équations	89
5.4.2.2. La programmation en langage à contact (Ladder)	91
Conclusion	100
Conclusion générale	101

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale :

L'évolution de plus en plus rapide dans le domaine industriel et la concurrence qui règne sur ce dernier, rend l'automatisation des unités de production non un choix, mais aussi une nécessité.

Sur le marché, la demande des consommateurs à tout les produits, qu'ils soient dans le domaine de l'agroalimentaire, l'automobile, la télécommunication, l'électroménager..., ne cesse d'augmenter. Du coup, il fallait introduire de nouvelles méthodes et technologies industrielles afin de répondre à cette demande. C'est ce qui a permis à l'automatisation d'ouvrir de nouveaux horizons.

L'automatisation des systèmes de production a conduit à l'élimination de certaines tâches manuelles fatigantes et répétitives, la rapidité dans la fabrication d'où l'augmentation de la quantité des produits, l'amélioration de la qualité de ces derniers et la réduction de leurs coûts. Les entreprises industrielles sont donc soumises à l'obligation de suivre le développement technologique et la rénovation permanente des équipements d'automatisation.

A cet effet, notre travail consiste à l'automatisation entière du processus d'emballage carton des pots de margarine 1,8 kg, qui se fait manuellement à l'aide de quatre opérateurs au niveau de l'entreprise CO.G.B (La Belle), qui est une société privatisée spécialisée dans le domaine agroalimentaire des corps gras (huiles, margarine, beurre, savon).

Ainsi, le présent manuscrit est structuré en cinq chapitres principaux ;

- Le premier chapitre présente l'entreprise d'accueil et décrit le processus actuel ;
- Le second chapitre donne des généralités sur les éléments technologiques à utiliser pour la réalisation de l'automatisme ;
- Le troisième chapitre traite les méthodes d'analyse fonctionnelles et porte les solutions techniques en vue de cette automatisation ;
- Le quatrième chapitre est consacré au dimensionnement des éléments technologiques adéquats ;
- Le dernier chapitre établit les différents GRAFCET de l'installation et porte la simulation du fonctionnement à l'aide du logiciel Automation Studio et sa programmation avec API sous le logiciel Siemens STEP 7.

CHAPITRE 1 :

**DESCRIPTION DU FONCTIONNEMENT
DU SYSTEME ACTUEL**

Introduction

Dans le présent chapitre, nous commençons par la présentation de l'entreprise d'accueil Corps Gras de Béjaia (CO.G.B La Belle) en donnant un aperçu de son historique, sa zone d'implantation, ses infrastructures et équipements aussi que l'organigramme de ses différents départements. Par la suite, une description du fonctionnement du système actuel est nécessaire afin de donner la problématique et d'élaborer le cahier des charges.

1.1. Présentation de l'entreprise d'accueil [1]

L'entreprise des Cors Gras de Bejaia, existe depuis le début du 20^{ème} siècle mais sous d'autres appellations.

- Début du 20^{ème} siècle : Extraction de l'huile de grignon d'olive et fabrication de savon à base d'huile de grignon par la SIAN (Société Industrielle de l'Afrique du Nord) ;
- 1940 : Raffinage de colza et fabrication du savon de la première qualité ;
- 1953 : Fabrication du savon à ménage « Mon savon » ;
- 1966 : Conditionnement du savon de ménage en morceaux de 450 gr ;
- 1973 : Acquisition d'une saponification en continu ;
- 1974 : Nationalisation de la SIAN et naissance de SOGEDIA (Société de Gestion et de Développement des Industries Alimentaires) ;
- 1978 : Démarrage de la saponification en continu ;
- 1982 : Restructuration, création de l'ENCG (Entreprise Nationale des Corps Gras) ;
- 1987 : L'entreprise des Corps Gras de Bejaia, ouvre ses portes sous la tutelle du ministère des industries légères ;
- 1988 : Démarrage du nouveaux complexe des Corps Gras ;
- 1990 : Filialisation, naissance de CO.G.B ;
- 1997 : Fabrication de la margarine de table.

Juridiquement, depuis 1997, CO.G.B est une SPA avec un capital de 150 000 000,00 DA. Elle compte 600 personne comme effectifs dont 100 pour le département « maintenance ».

Zone d'implantation :

L'entreprise CO.G.B est implantée dans la zone industrielle d'Iheddaden, elle est limitée par :

- Ouade Seghire ;
- L'entreprise de fabrication du tissu ECOTEX et la route des Aurès ;
- L'entreprise nationale du liège ENL ;
- Et l'entreprise EDIMIA.

La superficie de l'entreprise est de 108 800 m² dont 56 500 m² couvertes.

L'illustration suivante montre l'implantation de l'entreprise CO.G.B [2].

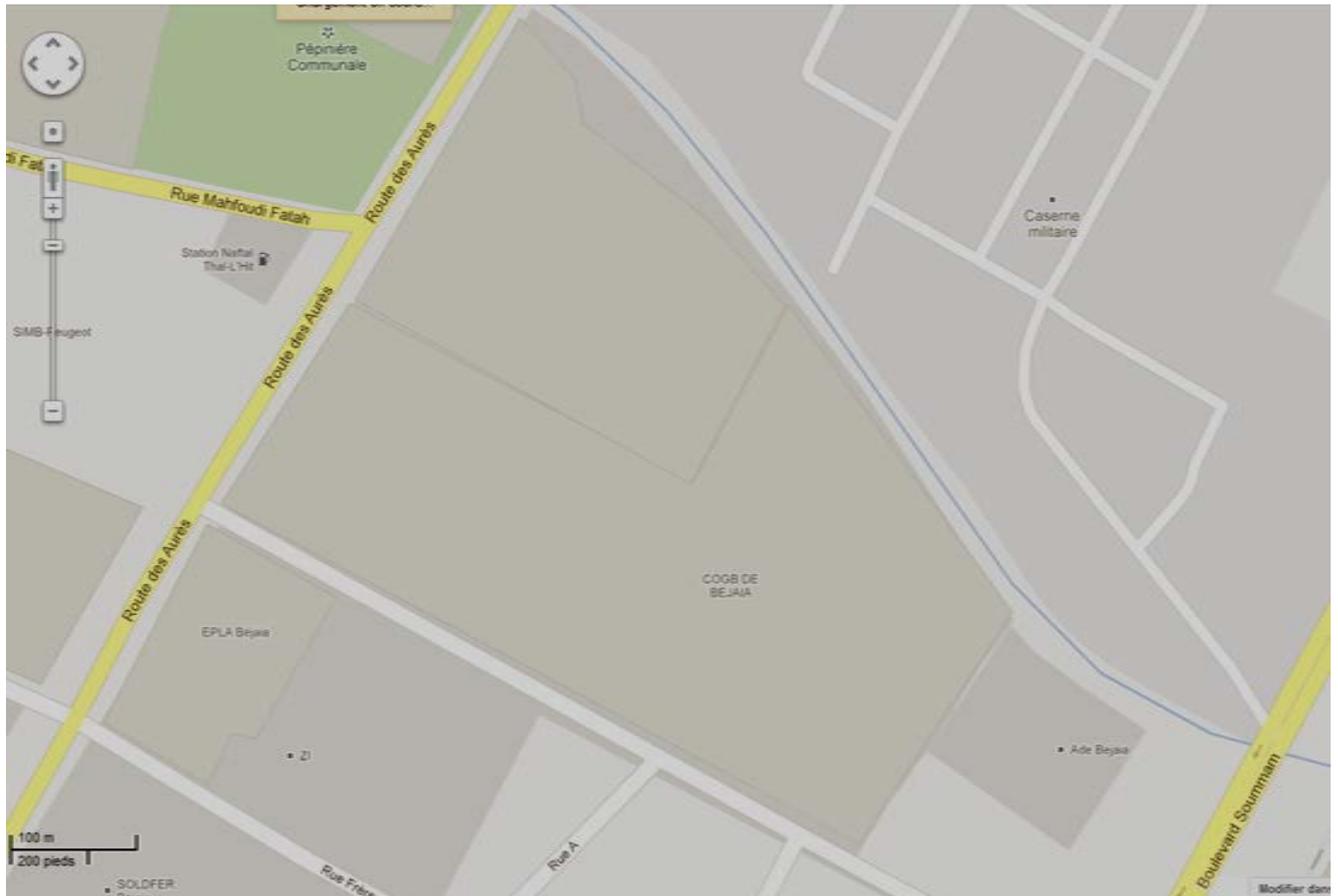


Figure 1.1 : Zone d'implantation CO.G.B (Béjaia)

Infrastructures et équipements :

- Raffinerie d'huile (une capacité de production de 400 *T/jour*) ;
- Fabrication de bouteilles et conditionnement d'huile ;
- Savonnerie et conditionnement savon (une capacité de production de 50 *T/jours*) ;
- Glycérineriez (une capacité de production de 80 *T/jours*) ;
- Unités (chaufferie, dissolution, soude, traitement des eaux usées) ;
- Margarine (80 *T/jours*) ;
- Atelier de maintenance ;
- Bacs de stockage (12 bacs de 500 m^3 et 15 bacs de 1 200 m^3).

La structure de l'entreprise : L'entreprise est constituée de plusieurs départements qui sont à leur tour repartis en différents services, comme le montre l'organigramme ci-dessous.

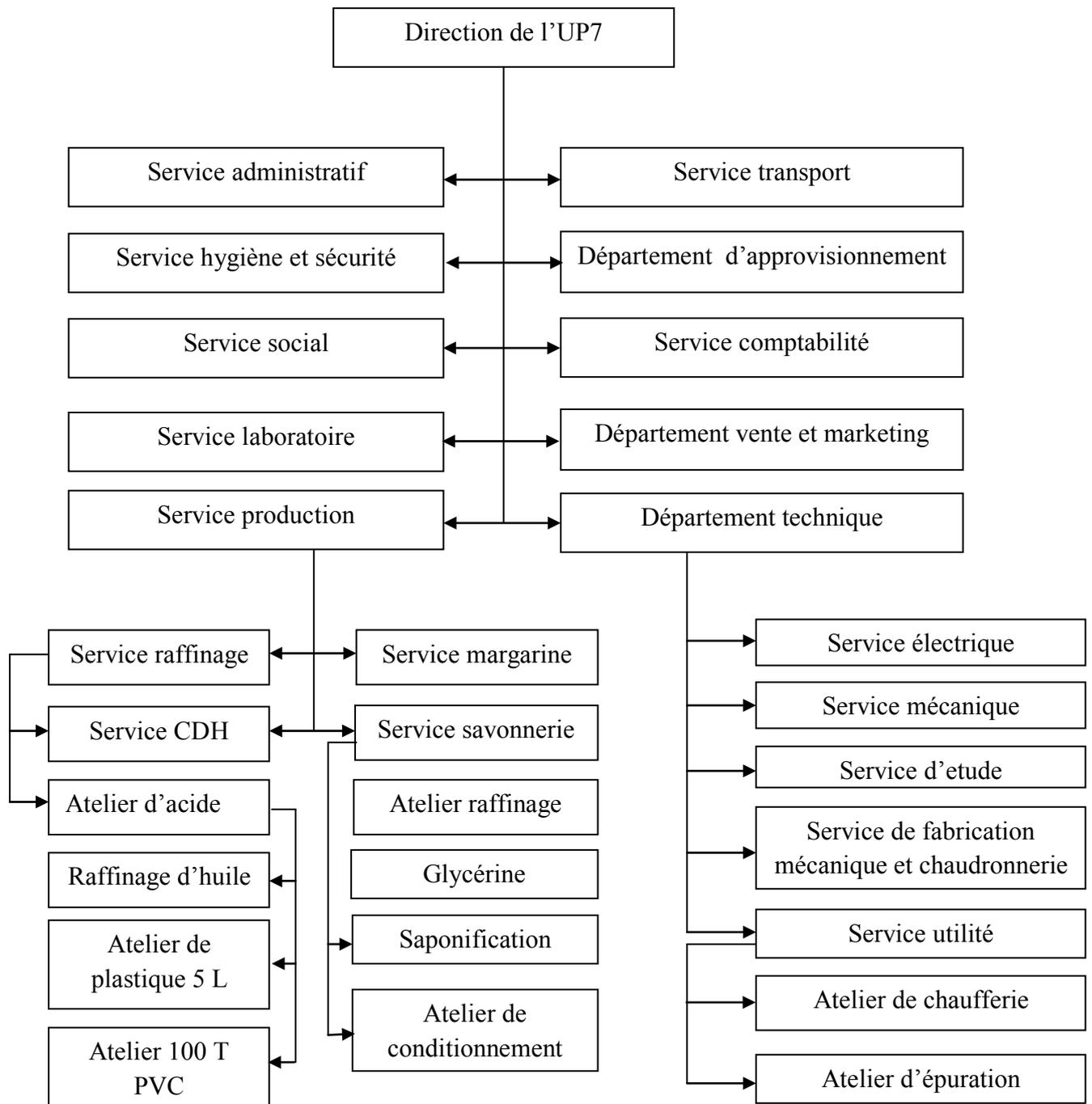


Figure 1.2 : Organigramme des départements de production de CO.G.B/UP7

1.2. Description du fonctionnement du système actuel

La machine de remplissage est de marque « NOVAPAC », référence RP 200-2, de dimensions (2000X2000X2500) *mm* respectivement en longueur, largeur et hauteur, pèse 1380 *kg*, elle est alimentée avec une puissance électrique d'environ 5 *kW*, et demande une pression pneumatique de service de 6 *bar*.

La machine remplit des pots de margarine de formes rectangulaires de dimensions (240X140X130) *mm*, et pesant chacun 1,8 *kg*.

Les pots sont évacués deux à deux vers une table d'accumulation à travers un convoyeur.



Figure 1.3 : Vue de face de la machine de remplissage NOVAPAC RP 200-2

Quatre (04) opérateurs sont répartis comme montré dans la figure 1.4 et qui s'en charge chacun d'effectuer respectivement les opérations suivantes :

- tirer un carton ouvert ;
- positionner (orienter) le carton (voir la figure 1.5) ;
- fermer le carton par-dessous ;
- charger (encartonner) quatre (04) pots de margarine dedans ;
- mettre le carton chargé sur le tapis roulant menant vers la scotcheuse.

Remarque :

- ✓ Le carton est de dimensions (490X290X130) *mm*
- ✓ La fermeture du carton par-dessus est assurée par la scotcheuse.

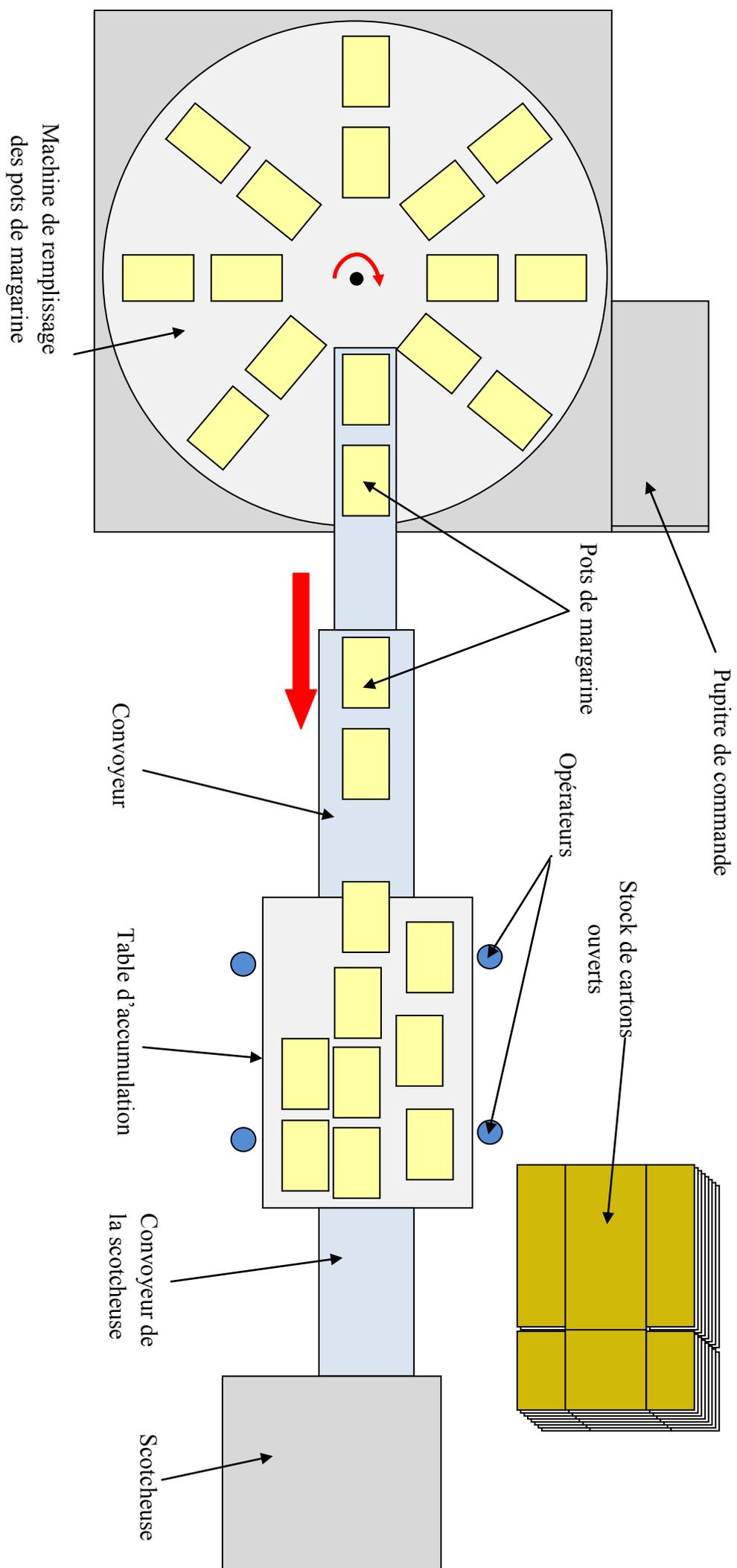


Figure 1.4 : Schéma explicatif du fonctionnement du système actuel d'emballage

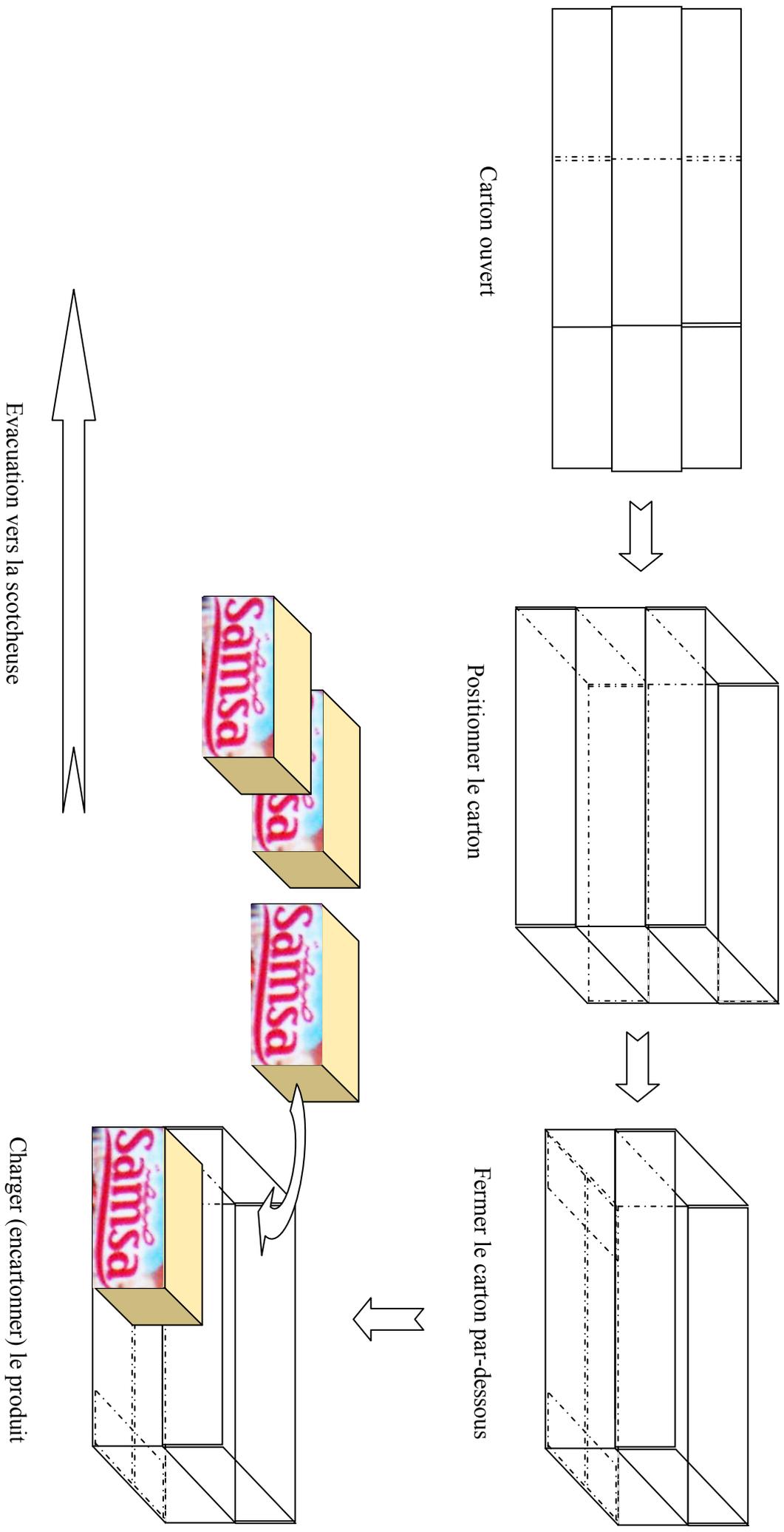


Figure 4.5 : Schéma explicatif du processus actuel d'encartonnement

1.3. Problématique et élaboration du cahier des charges

Problématique:

Le système actuel présente certains inconvénients, à savoir :

- tâche fatigante sur les opérateurs ;
- risques d'accident de travail ;
- productivité limitée (long procédé, processus répétitif et risque de manque d'effectifs) ;
- coût assez élevé (quatre opérateurs payés mensuellement) ;
- le travail est peu organisé.

Elaboration du cahier des charges :

Notre problématique s'agit d'automatiser l'encartonnement des boites de margarine 1,8 kg. A cet effet, et afin de réaliser ce processus, l'automatisme doit assurer les tâches suivantes :

- détecter la présence du carton ;
- arracher un seul carton à la fois ;
- positionner (orienter) le carton arraché ;
- fermer le carton par-dessous ;
- bloquer le mouvement du carton ;
- emballer (charger) quatre (04) pots de margarine 1,8 kg dedans ;
- libérer le mouvement du carton ;
- évacuer le carton chargé vers la scotcheuse.

Conclusion

Le processus d'encartonnement actuel se fait d'une manière manuelle, où, chacun des quatre opérateurs arrache un carton ouvert, pour l'orienter et le ferme par-dessous puis le charge de quatre pots de margarine 1,8 kg et enfin l'évacuer vers la scotcheuse qui assure la fermeture et le scotchage du carton chargé. Ce fonctionnement présente tellement d'inconvénients : tâche fatigante sur les opérateurs, processus répétitif, risques d'accident de travail, productivité limitée, coût assez élevé... C'est ce qui nous mène à élaborer un cahier des charges remédiant à tout ça d'une manière automatisée.

Introduction

Toute installation industrielle a besoin des éléments technologiques, qui assurent la réalisation des différentes tâches menant au bon fonctionnement de cette installation. Chaque système automatisé est constitué de deux parties principales : la partie opérative (PO) englobant les éléments fonctionnels, qui agissent sur le processus automatisé et la partie commande (PC) qui gère de façon coordonnée ces éléments grâce à des capteurs et détecteurs. Ce chapitre intitulé « Généralités sur les actionneurs et capteurs », va nous permettre de présenter quelques généralités, définition et exemples des principaux éléments à utiliser afin de répondre aux exigences du cahier des charges préalablement établi.

2.1. Le vérin pneumatique linéaire

Un vérin pneumatique est un actionneur qui permet de transformer l'énergie de l'air comprimé en un travail mécanique. Il est soumis à des pressions d'air comprimé qui permettent d'obtenir des mouvements dans un sens puis, dans un autre. Les mouvements obtenus peuvent être linéaires ou rotatifs [3].

Constitution d'un vérin : Un vérin est constitué principalement d'un piston muni d'une tige qui se déplace librement à l'intérieur d'un tube (voir la figure 2.1) [4].

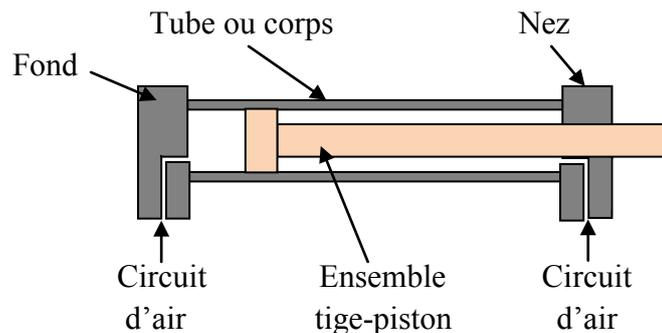


Figure 2.1 : Les principaux constituants d'un vérin

Classification des vérins : Leur classification tient compte de la nature du fluide, pneumatique ou hydraulique, et du mode d'action de la tige : simple effet (air comprimé admis sur une seule face du piston), double effet (air comprimé admis sur les deux faces du piston) [3].

- **Vérins simple effet (VSE) :**

L'ensemble tige-piston se déplace dans un seul sens sous l'action du fluide sous pression. Le retour est effectué par un autre moyen que l'air comprimé : (ressort, charge...). Pendant le retour, l'orifice d'admission de l'air comprimé est mis à l'échappement.

La figure 2.2 illustre ce type de vérins [3].

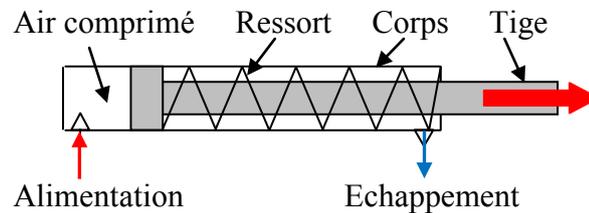


Figure 2.2 : Vérin simple effet (rappel par ressort)

Avantages : Les vérins simples effet sont économiques, et la consommation de fluide est réduite.

Inconvénients :

- à course égale, ils sont plus longs que les vérins double effet ;
- la vitesse de la tige est difficile à régler ;
- en pneumatique, les courses proposées sont limitées (jusqu'à 200 mm).

Utilisation : travaux simples (serrage, éjection, levage...)

- **Vérins double effet (VDE) :**

L'ensemble tige-piston peut se déplacer dans les deux sens sous l'action du fluide sous pression (air comprimé).

L'effort en poussant (sortie de la tige) est légèrement plus grand que l'effort en tirant (entrée de la tige), car la pression n'agit pas sur la partie de surface occupée par la tige (Figure 2.3) [3].

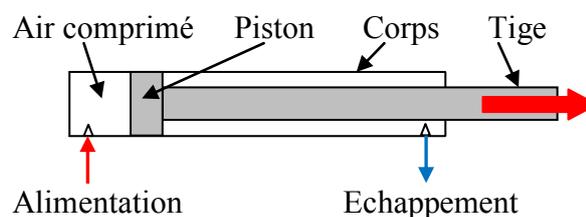


Figure 2.3 : Vérin double effet (sortie de la tige)

Avantages :

- Plus grande souplesse d'utilisation ;
- Réglage plus facile de la vitesse, par contrôle du débit à l'échappement ou à l'admission ;
- Ils offrent de nombreuses réalisations.

Inconvénients : ils sont plus coûteux.

Utilisation : ce sont les vérins les plus utilisés en industrie et ils présentent un grand nombre applications.

Détermination d'un vérin pneumatique : Les vérins pneumatiques sont choisis généralement en fonction de la force à développer et de la pression disponible. Il s'ajoute d'autres critères tels que [5]:

- taux de charge ;
- nécessités d'amortissement ;
- résistance de la tige ;
- débit et consommation d'air.

2.2. Le vérin pneumatique rotatif à palette

Ces actionneurs ont la particularité de transformer directement l'énergie pneumatique en rotation, sans transformation mécanique du mouvement. La pression qui s'applique sur la palette solidaire de l'arbre de sortie entraîne cet ensemble en rotation. Les sections sont identiques dans les deux sens de mouvement. La simplicité de construction de cet actionneur en fait un produit peu onéreux, mais limité dans ses possibilités d'usage. Il permet des rotations d'angle réglables mais limités à 180°. Le taquet permet de régler le débattement de l'arbre et peut actionner des capteurs de fin de course disposés sur son parcours, voir la figure (2.4) suivante [6].

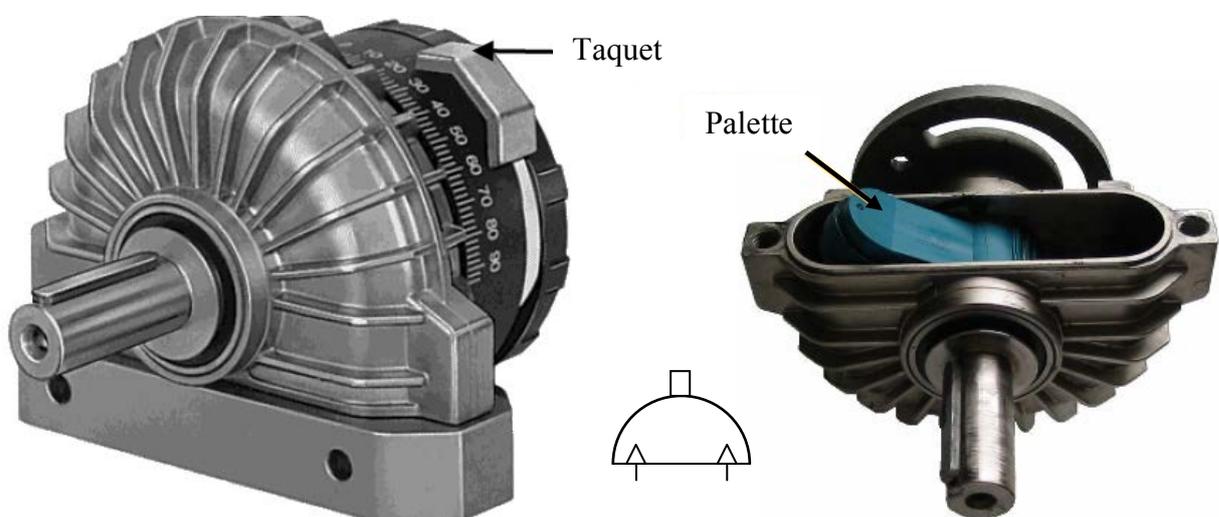


Figure 2.4 : Photos et symbole d'un vérin rotatif à palette

2.3. Le muscle pneumatique

Le muscle pneumatique est un développement FESTO, il s'agit d'un genre d'actionneur pneumatique complètement nouveau [7].

Principe de fonctionnement : Le muscle pneumatique est un actionneur en traction imitant un muscle biologique, il se compose d'un tuyau de contraction muni, à ses deux extrémités, de raccords appropriés. Le tuyau de contraction est constitué d'un tuyau de caoutchouc renforcé par une gaine tressée de fibres à haute résistance. La mise sous pression du tuyau provoque une dilatation qui engendre une traction axiale (correspond à la contraction du muscle). Le muscle pneumatique permet d'exploiter une course à 25 % de sa longueur nominale [8].

La figure suivante illustre une photo d'un muscle pneumatique.



Figure 2.5 : Photo d'un muscle pneumatique de la firme FESTO

La figure qui suit schématise le fonctionnement d'un muscle pneumatique.

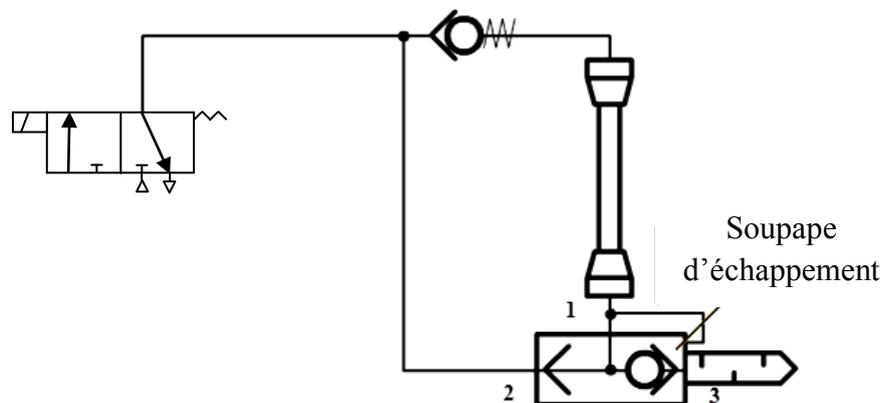


Figure 2.6 : Schéma représentatif du fonctionnement du muscle pneumatique

La soupape d'échappement : Ces soupapes permettent d'atteindre des vitesses plus élevées sur des vérins à simple et à double effet. A l'admission, l'air comprimé s'écoule du distributeur de pilotage vers le vérin, via la soupape d'échappement rapide (de 2 vers 1), l'échappement 3 est alors fermé. Lorsque l'orifice 2 n'est plus sous pression, l'air présent dans la chambre repousse le clapet qui revient en position de départ pour obturer l'orifice d'admission 2. Ainsi l'air s'échappe par l'orifice 3 à débit élevé puisqu'il ne passe pas par le distributeur [8].

2.4. Le distributeur pneumatique

Fonction : Les distributeurs pneumatiques ont pour fonction essentielle de distribuer le fluide dans des canalisations qui aboutissent aux chambres de vérins. Ils jouent le même rôle que les contacteurs pour les moteurs électriques [4].

Constitution : Un distributeur comprend 3 éléments principaux :

- coulisseau ;
- corps ;
- chapeau.

La figure 2.7 donne la constitution d'un distributeur pneumatique [4].

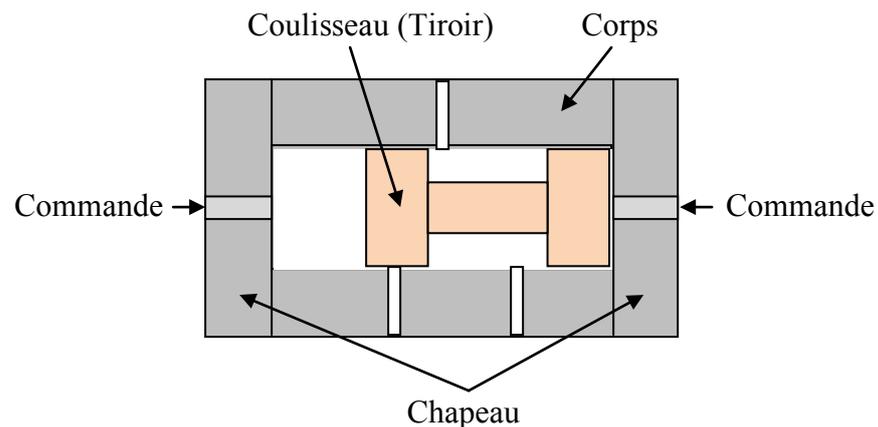


Figure 2.7 : Constitution d'un distributeur pneumatique

Caractéristique d'un distributeur : Un distributeur est caractérisé :

- par le nombre des orifices : 2, 3, 4 ou 5 ;
- par le nombre des modes de distribution ou positions : 2 ou 3 ;
- par le type de commande du pilotage assurant le changement de position ;
- par la technologie de pilotage : pneumatique, électropneumatique ou mécanique.

Désignation des distributeurs [3] : Plusieurs types de distributeurs existent :

- **Distributeur normalement fermé (NF) :** lorsqu'il n'y a pas de circulation du fluide à travers le distributeur en position repos (ou initiale), le distributeur est dit normalement fermé.
- **Distributeur normalement ouvert (NO) :** c'est l'inverse du cas précédent ; au repos, il y a pas de circulation du fluide à travers le distributeur.
- **Distributeur monostable :** distributeur ayant une seule position stable. Dans ce type de construction, un ressort de rappel ramène systématiquement le dispositif dans sa position initiale au repos, dès que le signal de commande ou d'activation est interrompu.
- **Distributeur bistable :** admet deux positions stables. Pour passer de l'une à l'autre, une impulsion de commande est nécessaire. Le maintien en position est assuré par adhérence ou par aimantation.

Exemple de distributeurs :

Distributeur 3/2 (NF et NO) : Les distributeurs à 3 orifices et à 2 positions sont utilisés pour commander le fonctionnement des récepteurs à simple effet (voir figure 2.8 a).

Ils sont aussi utilisés comme capteurs de fin de course [9].

Distributeur 5/2 (12 et 14) : Les distributeurs à 5 orifices et à 2 positions servent à commander les récepteurs à double effet. Ils sont munis de deux orifices de travail reliés au récepteur, d'un orifice d'alimentation en air comprimé et de deux orifices d'échappement [9]. (voir figure 2.8 b).

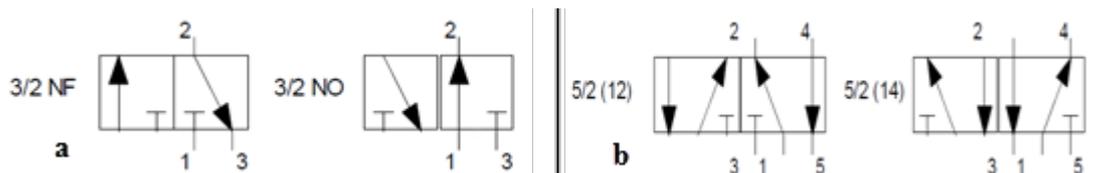


Figure 2.8 : Les distributeurs 3/2 et 5/2

System de commande : Ce dispositif réalise la commande du distributeur, il doit être indiqué pour chaque position du distributeur, ce qui suit illustre quelques exemples :

Ressort : Un ressort est utilisé comme moyen de rappel du tiroir avec les distributeurs à deux positions et comme moyen de centrage du tiroir pour les distributeurs à trois positions.



Électro-aimant : L'électro-aimant fait appel à la force créée par un champ magnétique, lui-même engendré par le passage d'un courant électrique dans une bobine. Un noyau de fer placé au centre de la bobine se déplace sous l'effet de cette force. Le déplacement du noyau provoque le mouvement du tiroir vers la position voulue.



Choix d'un distributeur pneumatique par fonction (nombre d'orifices) : Ce choix dépend naturellement de l'actionneur à alimenter, à l'exemple :

- 2/2 pour moteur à un sens de marche, blocage ou ventouse ;
- 3/2 pour vérin simple effet, ventouse ;
- 4/2 ou 5/2 pour vérin double effet ou actionneur deux sens de marche ;
- 5/3 pour les moteurs pneumatiques, ou les vérins double effet ;
- les distributeurs 4/3 sont très utilisés en hydraulique.

2.5. Le moteur asynchrone

Le moteur asynchrone est le moteur le plus utilisé dans toutes les applications industrielles ou domestiques de l'électricité, du fait de sa facilité d'installation, de son bon rendement et de son excellente fiabilité [10].

Le moteur asynchrone triphasé comporte une partie tournante nommée rotor ou induit et une partie fixe dite stator ou inducteur.

- Stator :

Il porte à l'intérieur des encoches, un bobinage (enroulement) formant « p » paires de pôles, dont les deux extrémités aboutissent à la source et à la plaque à bornes avec laquelle on choisit le type de couplage : étoile ou triangle [11].

- Rotor :

Le rotor n'est lié électriquement à aucune source d'énergie, ce qui simplifié beaucoup sa construction. Le courant dans ces enroulements est uniquement induit par le champ tournant statorique, c'est pourquoi l'enroulement rotorique est encore appelé induit [11].

Les différents types de moteurs asynchrones ne se distinguent que par le rotor (moteur à rotor bobiné ou à cage). Dans tous les cas, le stator reste, au moins dans son principe, le même.

Principe de fonctionnement : Le principe de fonctionnement des moteurs asynchrones est basé sur la création d'un champ tournant par les trois bobinages fixes, qui sont décalés de 120° et parcourus par des courants alternatifs.

Le rotor est parcouru par des courants induits qui donnent naissance à un couple moteur capable de faire tourner le rotor. Ce dernier sera entraîné dans le sens du champ tournant à une vitesse inférieure à celle du champ, d'où découle le nom « machine asynchrone ».

2.6. Le réducteur de vitesse mécanique [12]

La machine à commander fonctionne en général à vitesse et à couple uniques dits caractéristiques d'utilisation, avec des variations de l'ordre de 2 % à 20 %. Il est donc nécessaire d'adapter les caractéristiques du moteur à celles de la machine et pour cela l'élément d'adaptation entre moteur et machine est un réducteur de vitesse ou un multiplicateur de vitesse de rapport i constant. Il se nomme aussi réducteur de couple ou multiplicateur de couple. Différents types de transmissions existent où on rencontre les poulies et courroies, les roues dentées et chaînes, et les engrenages, utilisables suivant les critères de fonctionnement imposés.

L'engrenage est la solution la plus répandue car :

- il assure une sécurité cinématique, puisqu'il ne peut pas se produire de glissement ;
- la résistance aux efforts est très importante avec une très bonne fiabilité ;
- la puissance transmise par unité de masse est la plus forte obtenue parmi toutes les solutions, avec plus de précision;
- le rendement mécanique est très voisin de l'unité dans le cas d'une bonne fabrication ($\eta = 0,96$ à $0,99$) ; La figure 2.9 représente un réducteur de vitesse mécanique à engrenages [12].



Figure 2.9 : Réducteur de vitesse mécanique à engrenages

Un capteur est constitué des éléments suivants :

- un corps d'épreuve : cet élément mécanique réagit sélectivement à la grandeur physique à mesurer (mesurande), il faut citer que la réaction du corps d'épreuve peut être électrique ou non ;

- un élément de transduction : Dans la plus part des cas il faut convertir la réaction du corps d'épreuve en un signal électrique par un élément de transduction. Cet élément est important, car il garantit qu'en bout de ligne le signal qui sera reçu est électrique ;

- un conditionneur (adaptateur) : Le signal issu du capteur peut être directement exploitable ou non. Dans ce dernier cas, il faut recourir à un élément nommé conditionneur ou adaptateur, et qui permet la mise en forme du signal du capteur (filtrage, amplification...) [8].

Tout ça peut être représenté par la figure 2.11 suivante.

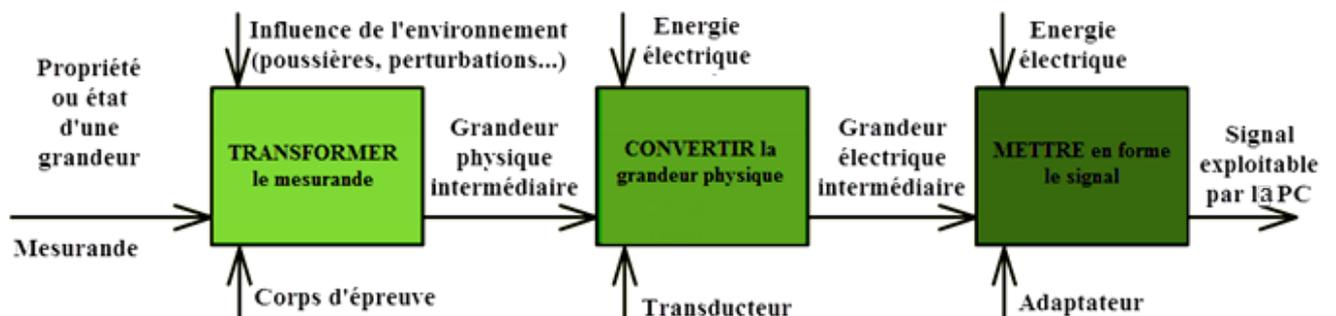


Figure 2.11 : Structure fonctionnelle d'un capteur

En fonction du signal de sortie du capteur, la terminologie est la suivante :

- détecteur pour un signal de sortie logique (TOR/LOG) ;
- codeur pour un signal de sortie numérique (NUM) ;
- capteur pour un signal de sortie analogique (ANA).

2.7.2. Familles des capteurs :

Plusieurs firmes de développement des composants industriels (FESTO, Schneider...) présente une multitude de choix, d'où la diversité des familles des capteurs, chacun adapté à un type d'application, de mesure ou d'actionneur...

La famille la plus fournie est celle des détecteurs de présence. Pour détecter la position d'un mobile ou mesurer son déplacement, on utilise principalement des codeurs optiques.

Autres familles [8] :

- capteur de vitesse ;
- capteur de température ;
- capteur de pression, pressostat ;
- capteur de débit ;
- capteur de force/couple ;
- capteur de vibration/acoustique...

Les détecteurs de présence par contact (ou action mécanique)

Ces capteurs sont aussi appelés « interrupteurs de position ». Ce sont des commutateurs actionnés par le déplacement d'un organe de commande.

Lorsqu'ils sont actionnés, ils ouvrent ou ferment un ou plusieurs circuits électriques ou pneumatiques. De nombreuses versions existent en fonction de l'usage prévu pour leur utilisation (encombrement, nature des mouvements à prendre en compte...). Le signal de sortie est TOUT ou RIEN [8].

La figure 2.12 illustre les différents organes de commande des détecteurs de présence [8].

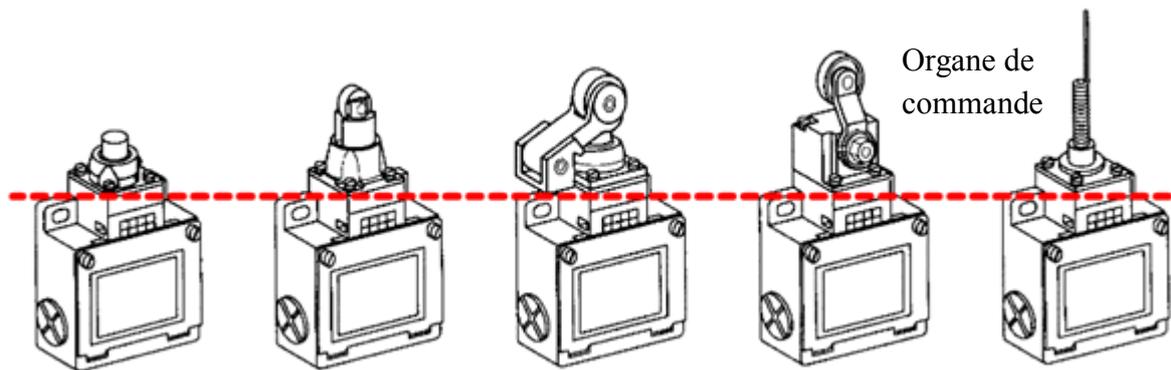


Figure 2.12 : Les différents détecteurs de présence par contact

Les capteurs pour la détection sans contact sont très répandus. On les utilise chaque fois qu'il est nécessaire de détecter la présence d'un élément sans contact physique avec lui.

Avantages de la détection sans contact :

- pas de contact physique avec l'élément détecté ;
- pas d'usure ;
- possibilité de détecter des objets fragiles, fraîchement peints...

On distingue 6 familles de détecteurs de proximité électriques :

- détecteurs inductifs ;
- détecteurs capacitifs ;
- détecteurs magnétiques ;
- détecteurs photoélectriques ;
- détecteurs à effet Hall ;
- détecteurs à ultrasons.

Pour des usages particuliers, il existe des détecteurs de proximité pneumatiques [8].

Détecteurs inductifs [8] :

Ces détecteurs fonctionnent grâce à la variation d'un champ électromagnétique perturbé par la proximité d'un objet métallique.

La distance de détection varie de 1 à 60 *mm* selon le type de capteur, les conditions d'utilisation et la nature de l'objet à détecter (acier, aluminium, cuivre...)

Ils supportent bien les ambiances humides, ou poussiéreuses.

Le détecteur inductif est représenté dans la figure 2.13.

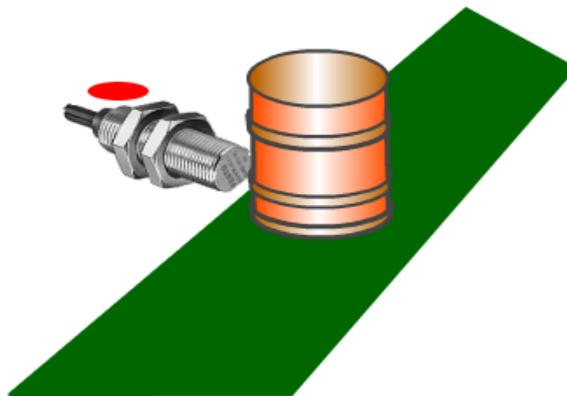


Figure 2.13 : Détecteur inductif

Principe de fonctionnement du détecteur inductif :

Un détecteur inductif se compose essentiellement d'un oscillateur dont les bobinages constituent la face sensible du capteur. Ainsi, à l'avant du capteur, un champ magnétique alternatif est créé (comme s'il s'agissait d'un aimant dont la polarité changerait en permanence).

Lorsqu'un objet conducteur est placé dans ce champ, il développe à sa surface des courants induits qui contrarient le champ magnétique initial et provoquent l'arrêt des oscillations.

Un circuit électronique placé à l'intérieur du capteur détecte cette modification et délivre alors un signal de sortie (Figure 2.14) [8].

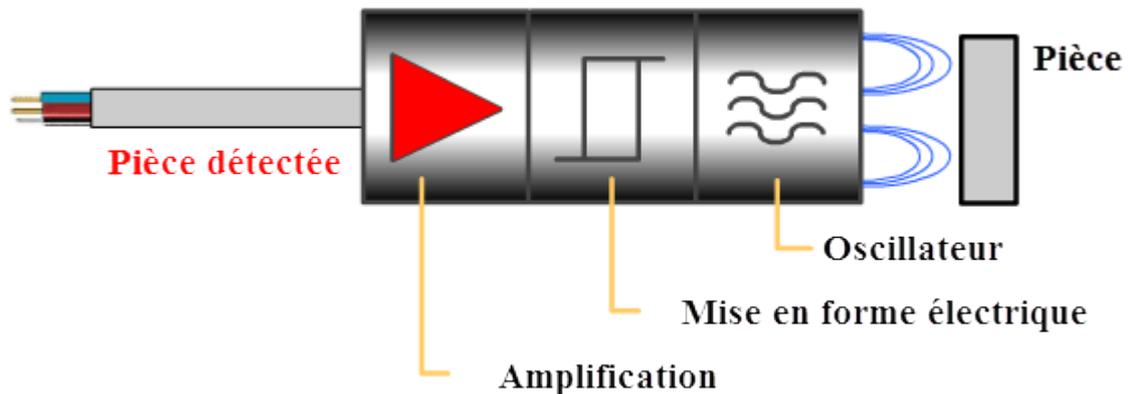


Figure 2.14 : Principe de fonctionnement d'un détecteur inductif

Détecteur capacitif :

Ces capteurs détectent des matériaux de toute nature (verre, matière plastique, métaux, liquides, poudres...)

Ils sont plus spécifiquement employés pour détecter des éléments non conducteurs (non détectés par des capteurs inductifs).

Ils sont très sensibles aux modifications de l'environnement (saletés, poussières).

Leur distance de détection est faible (quelques millimètres). Ils sont donc délicats à mettre en œuvre et ne seront employés que lorsqu'il n'est pas possible d'utiliser une autre technologie [8].

Détecteur photoélectrique :

Un détecteur photoélectrique est constitué d'un émetteur (qui est généralement une diode électroluminescente) associé à un récepteur de lumière (généralement un phototransistor).

Il délivre une information chaque fois que le faisceau lumineux issu de l'émetteur est interrompu par un obstacle (objet opaque). Le récepteur détecte la coupure de ce faisceau [8].

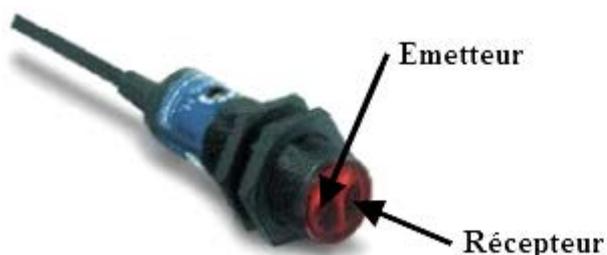


Figure 2.15 : Détecteur photoélectrique

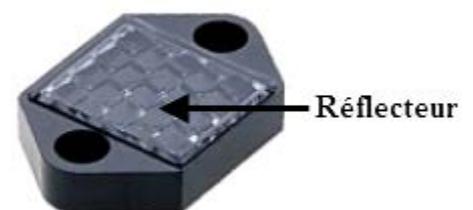


Figure 2.16 : Réflecteur

Si l'émetteur et le récepteur sont dans le même boîtier, le faisceau lumineux doit être renvoyé par un réflecteur ou par l'objet à détecter (objet réfléchissant).

Afin de rendre le dispositif insensible à la lumière ambiante, l'émission de lumière se fait à fréquence fixe (infrarouge par exemple).

Caractéristiques : Chaque capteur ou élément de mesure présente certaines caractéristiques métrologiques qui définissent ses limites d'utilisation et de précision, ces limites dépendent non seulement de mesurande mais aussi des grandeurs d'influence qui viennent perturber les mesures. A cet effet, on caractérise un capteur selon plusieurs critères dont les plus courants sont les suivants :

- la sensibilité : la sensibilité d'un capteur représente le rapport de la variation du signal de sortie à la variation correspondante du signal d'entrée $S = \Delta \text{Sortie} / \Delta \text{Entrée}$, pour une mesure donnée. C'est donc la pente de la courbe de réponse de cet élément ;

- la résolution et le seuil : la résolution correspond à la petite variation discernable par le capteur. (Plus les lignes de graduation sont serrées meilleure est la résolution). Le seuil est la résolution au voisinage de la valeur 0 de l'opérande ;

- la précision : aptitude d'un capteur à donner une valeur mesurée proche de la valeur vraie d'un mesurande. Un capteur précis est juste et fidèle ;

- la fidélité : c'est le degré de concordance entre les résultats d'un certain nombre de mesures consécutives du signal de sortie obtenus pour une même entrée et dans les mêmes conditions [14].

Caractères de choix du capteur : Afin de bien choisir un capteur, il faudra définir tout d'abord :

- le type d'évènement à détecter ;
- la grandeur d'évènement ;
- l'environnement de l'évènement.

En fonction de ces paramètres, on pourra effectuer un ou plusieurs choix pour un type de détection. D'autres éléments peuvent permettre de cibler précisément le capteur à utiliser tels que ses performances, son encombrement, sa fiabilité MTBF (Mean Time Between Failure).

Plusieurs types et modèles de capteurs existent, et afin d'assurer un fonctionnement optimal de la machine, il faut bien choisir le capteur adéquat à l'installation suivant la fonction à réaliser.

2.8. Le générateur d'air comprimé

L'air comprimé est une des formes les plus anciennes de l'énergie que l'homme a utilisée. Les premières traces d'applications exploitant l'air remontent à plus de 2000 ans.

La pneumatique vient du mot grec « pneuma » signifiant « Vent » : elle traite des phénomènes qui résultent de la dynamique de l'air.

Bien que connue depuis des siècles, il a fallu attendre le 19^{ème} siècle pour en voir l'étude systématique et le milieu du 20^{ème} siècle pour que la technologie pneumatique fasse son entrée dans toutes les branches de l'industrie.

L'air comprimé est une énergie offrant de nombreux avantages et permettant de résoudre de manière simple et rationnelle les problèmes de l'automatisation [8].

2.8.1. Caractéristiques de l'air comprimé :

- disponibilité : l'air est partout présent en quantités illimitées ;
- transport : l'air comprimé peut être facilement transporté à l'aide de canalisations ;
- stockage : l'air peut être emmagasiné dans des cuves et prélevé à la demande ;
- antidéflagrant et ininflammable : aucun risque d'explosion ;
- propreté : aucun risque de pollution, inutile de prévoir des canalisations de retour ;
- vitesse : l'air comprimé s'écoule très rapidement (vitesse habituelle des vérins : 2 m/s) ;
- tolérance à la surcharge : en cas de surcharge, les équipements pneumatiques fonctionnent jusqu'à l'arrêt sans risque de rupture ou détérioration [8].

Inconvénients :

- traitement : obtenu à partir de l'air ambiant, l'air comprimé doit être purifié et séché pour éviter l'usure des équipements ;
- compressibilité : l'air étant, par nature, compressible ;
- pression limitée : la compression de l'air n'est économiquement rentable que jusqu'à une pression de 6 à 10 *bar*. Au-delà, le coût serait coûteux en raison du faible rendement de production dû à la perte d'énergie par dégagement de chaleur ;
- bruit : les échappements d'air sont bruyants et imposent l'installation de silencieux ;
- coût : la production et le traitement de l'air comprimé restent d'un coût assez élevé.

2.8.2. Centrale d'air comprimé :

La production de l'air comprimé nécessite l'installation d'une centrale chargée de comprimer l'air, mais aussi de le stocker et de le maintenir disponible et de bonne qualité pour les équipements [8].

La figure 2.17 illustre une centrale d'air comprimé.

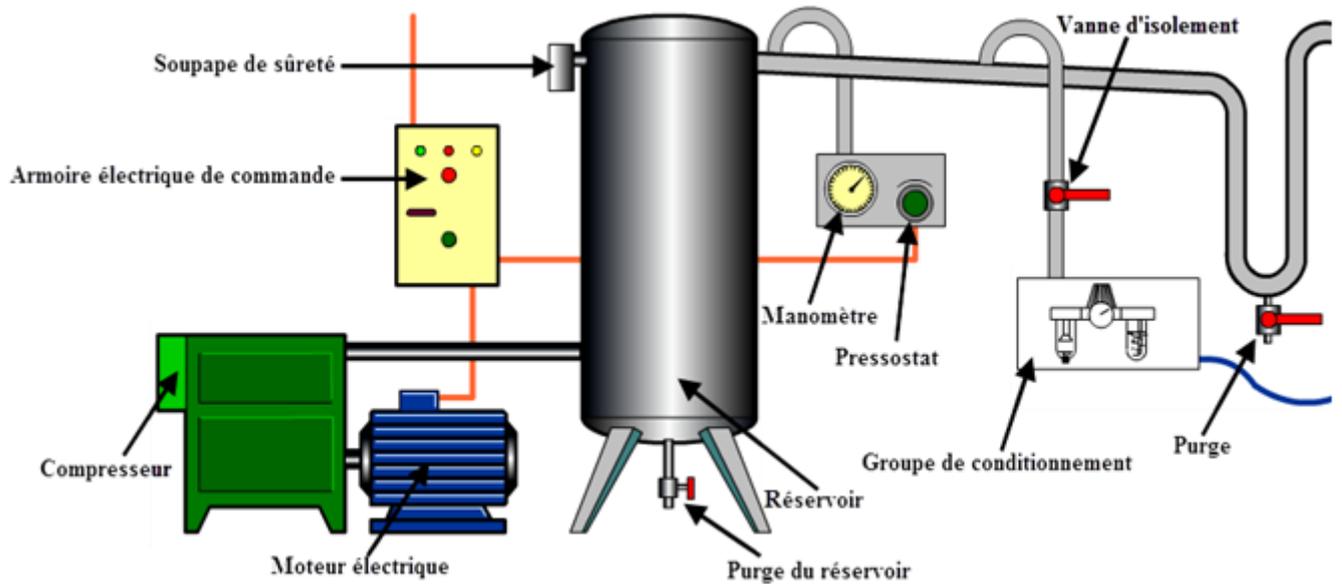


Figure 2.17 : Centrale d'air comprimé

2.8.3. Le groupe de conditionnement :

Les constructeurs d'équipements pneumatiques proposent des groupes de conditionnement d'air, réunissant en un seul appareil les constituants nécessaires à la réalisation des principales fonctions [8].

Il peut être schématisé comme suit.

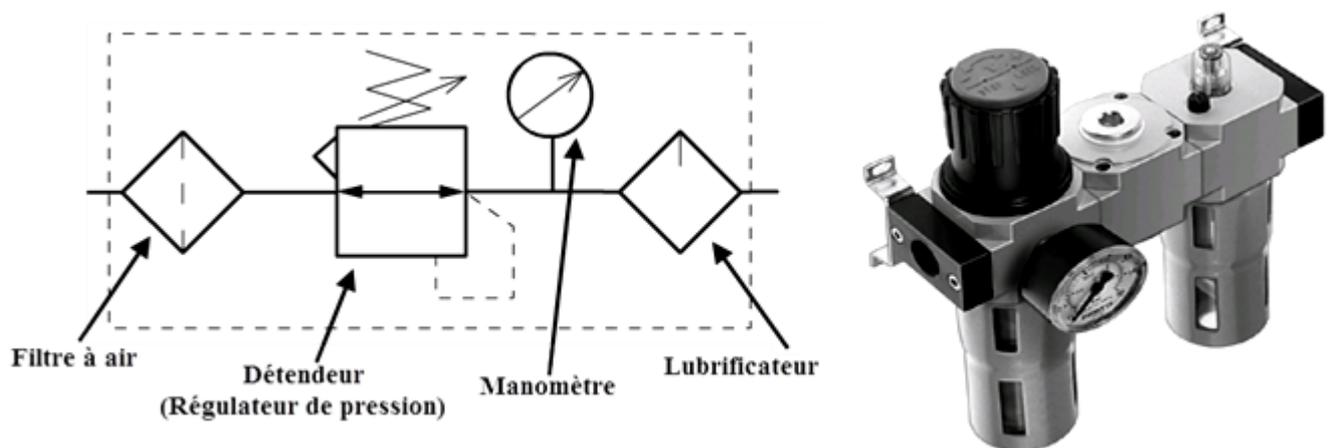


Figure 2.18 : Groupe de conditionnement

2.8.3.1. Le filtre à air :

Le filtre a pour rôle de débarrasser l'air comprimé de toutes les impuretés et de l'eau condensée en suspension afin de protéger les équipements de l'installation. Selon la cartouche filtrante choisie pour le filtre, les impuretés retenues varieront de $0.01 \mu\text{m}$ à $40 \mu\text{m}$.

Il convient de vider régulièrement le bol de la condensation récupérée et de nettoyer la cartouche des impuretés qui pourraient obturer ses pores [8].



Figure 2.19 : Photos d'un filtre à air

2.8.3.2. Le détendeur :

Le régulateur de pression, ou détendeur permet de garantir une pression de travail (pression de secondaire) aussi régulier que possible tant que la pression d'alimentation (pression du primaire) est supérieure à la pression demandée. Le réglage de la pression souhaitée se fait manuellement [8].

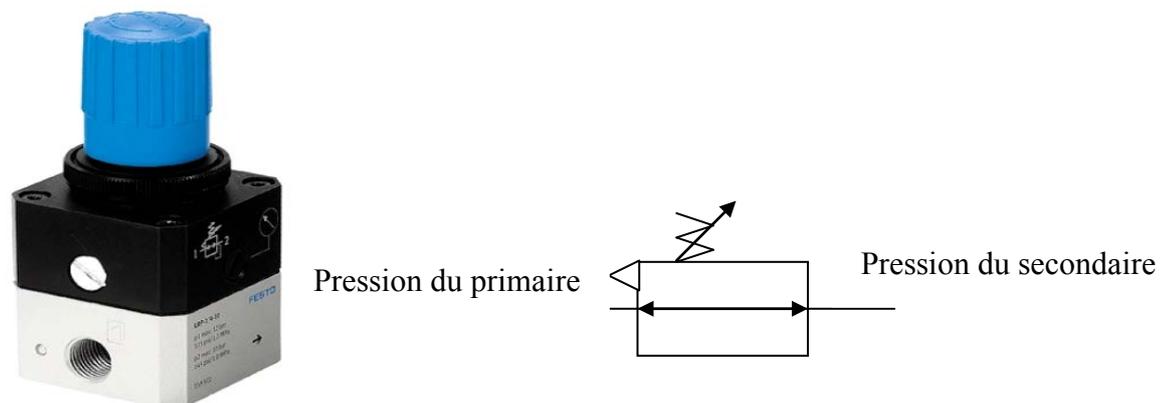


Figure 2.20 : Photo et symbole d'un détendeur

2.8.3.3. Le manomètre :

Le manomètre est l'appareil de mesure des pressions. Les manomètres les plus courants sont à aiguille, ils indiquent la pression relative dans le circuit : l'air comprimé agit sur un fin tube qui se déforme et provoque la déviation de l'aiguille. La mesure est faite en bars ou parfois en PSI (Pound per Square Inch, unité de pression anglo-saxonne) [8].



Figure 2.21 : Photo et symbole d'un manomètre

2.8.3.4. Le lubrificateur :

Le lubrificateur n'est pas systématiquement utilisé dans les installations. Il est chargé de lubrifier l'air comprimé en injectant un brouillard d'huile dans le fluide. Ce brouillard d'huile ira se disposer sur les surfaces en mouvement des appareils pneumatique. il participera à leur lubrification, réduisant les forces de frottement et prévenant l'usure et la corrosion [8].

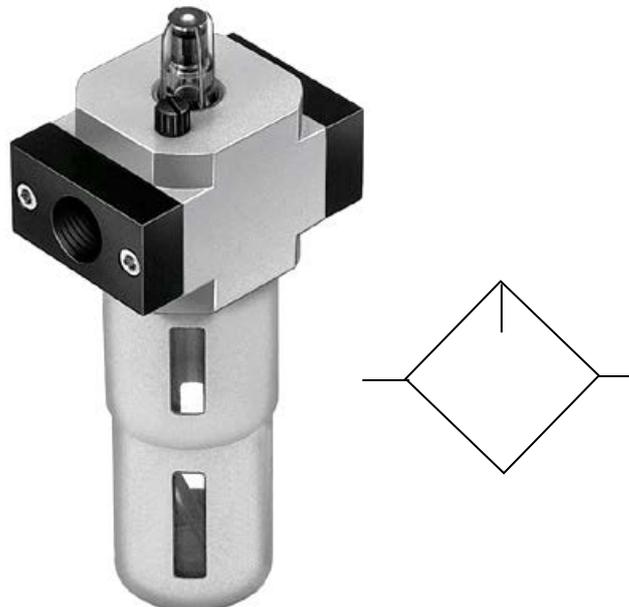


Figure 2.22 : Photo et symbole d'un Lubrificateur

2.9. Le système « générateur de vide – ventouse »

Contrairement aux vérins qui fonctionnent avec de l'air à une pression supérieure à la pression atmosphérique, la ventouse utilise de l'air à une pression inférieure à la pression atmosphérique [15].

Le passage de l'air dans le rétrécissement augmente la vitesse de l'air et diminue sa pression ($p_2 < p_1$). Il se crée alors une dépression qui permet d'aspirer l'air de la ventouse, ou un fluide. Ce phénomène s'appelle l'effet Venturi.

La figure 2.23 illustre le principe de fonctionnement du système « générateur de vide-ventouse ».

q : Le débit pneumatique.

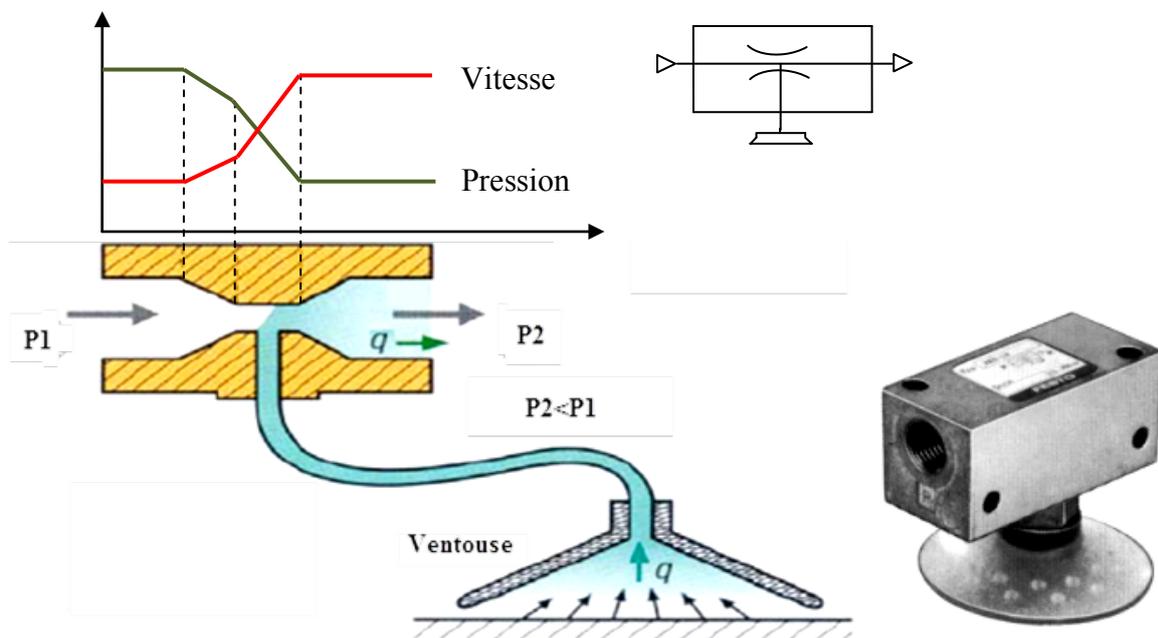


Figure 2.23 : Système générateur de vide-ventouse

2.10. Quelques accessoires d'une chaîne pneumatique

2.10.1. Le vacuostat :

Le vacuostat est un capteur qui détecte la présence d'une dépression dans une installation. Le contrôle de la présence du vide se fait de manière différentielle : le capteur délivre l'information lorsque l'écart entre la pression appliquée et une pression de référence dépasse un seuil réglé. Si la pression de référence est la pression atmosphérique, le capteur peut détecter une dépression. La plage de dépression contrôlée peut varier de $-0,2$ à -1 bar [8].

Les figures 2.24 et 2.25 présentent respectivement un type du vacuostat de marque FESTO, et un schéma fonctionnel de se dernier.



Figure 2.24 : Vacuostat du marque FESTO

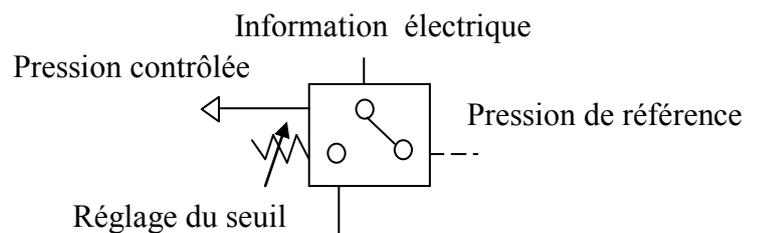


Figure 2.25 : Schéma fonctionnel du vacuostat

2.10.2. Le filtre à vide :

Lors de l'aspiration de l'air présent dans la ventouse, des particules, poussier et autres éléments solides risquent de circuler dans les tuyaux et traverser les composants de la chaîne d'action et les détériorer (principalement le générateur de vide). Un filtre à vide est alors placé entre la ventouse et les autres composants. Il contient une membrane poreuse laissant passer l'air mais bloquant les particules qu'il pourrait contenir [8].

La figure 2.26 présente une photo d'un filtre à vide avec son symbole.



Figure 2.26 : Photo et symbole d'un filtre à vide

2.10.3. L'électrovanne :

Une électrovanne est tout simplement une vanne électriquement actionnée. Elle est composée de deux parties :

- Une tête magnétique constituée principalement d'une bobine, tube, culasse, bague de déphasage, ressort
- Un corps, comprenant des orifices de raccordement, obturés par clapet, membrane piston...

L'ouverture et la fermeture de l'électrovanne est liée à la position du noyau mobile qui est déplacé sous l'effet du champ magnétique engendré par la mise sous tension de la bobine [8].

La figure 2.27 ci-dessous donne la photo et le symbole d'une électrovanne.

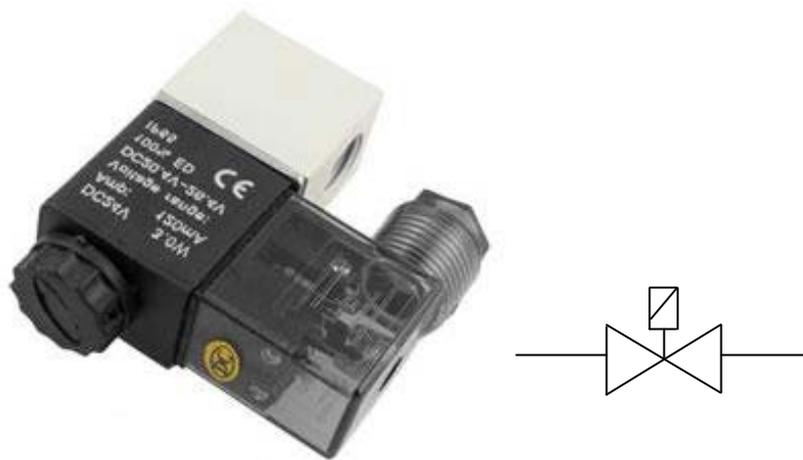


Figure 2.27 : Photo et symbole d'une électrovanne

Conclusion :

En connaissant les différents éléments technologiques qui assurent le fonctionnement d'une tâche voulue, et en comprenant le principe de fonctionnement de ces derniers, le choix et la sélection des éléments à utiliser afin de réaliser l'automatisme voulue, n'est qu'une question de réflexion aux bonnes solutions techniques répondant au cahier des charges, et assurant un rendement et un coup optimal, et c'est ce qui nous mène aux solutions techniques dans le « chapitre 3 » suivant.

CHAPITRE 2 :

GENERALITES SUR LES ACTIONNEURS
ET CAPTEURS

CHAPITRE 3 :

**METHODES D'ANALYSE ET SOLUTIONS
TECHNIQUES**

Introduction

Afin de remédier à la problématique et de répondre au cahier des charges exposés au « chapitre 1 », une démarche pédagogique est nécessaire, il s'agit d'utiliser une méthode d'analyse fonctionnelle permettant d'avoir des solutions techniques pour l'automatisme voulu. C'est ce qui traite ce chapitre intitulé « Méthodes d'analyse et solutions techniques ».

3.1. Les méthodes d'analyse fonctionnelle SADT et FAST

L'analyse fonctionnelle est un outil performant pour recenser, caractériser, ordonner, hiérarchiser et valoriser les fonctions d'un produit, elle permet d'avoir une vision claire des exigences attendues de ce dernier, ce qui permet :

- d'aboutir à un cahier des charges précis du produit attendu ;
- de fournir une méthode à la fois technique et pédagogique qui s'inscrit dans une démarche rationnelle de construction ;
- d'apporter des repères suffisants pour permettre d'analyser ;
- de déterminer et décomposer une fonction en sous-fonctions de plus en plus simples auxquelles on apportera des solutions techniques.

3.1.1. La méthode SADT :

La méthode SADT (Structured Analysis and Design Technique) propose une structure hiérarchisée de diagrammes. Le principe utilisé pour décrire un automatisme est qu'il est possible de définir un système par des fonctions reliées entre elles par des relations. Les relations sont des interfaces qui véhiculent les grandeurs physiques prises en compte par des fonctions, chaque activité va transformer les entrées en sorties grâce au support d'activité et sous le contrôle des contraintes [16].

Objectifs : La méthode SADT a pour objectifs :

- de modéliser pour comprendre ;
- de discipliner la démarche d'analyse (grouper, hiérarchiser) ;
- de séparer le quoi du comment ;
- de modéliser la réalité (actigramme, datagramme).

Description de l'actigramme : L'actigramme permet de définir la fonction globale du système étudié. Les questions fondamentales permettent de cerner la fonction globale d'un système :

- à quoi sert le système ? La réponse est la fonction globale du système ;
- sur quoi le système agit-il ? La réponse est la matière d'œuvre du système (produit, énergie, information) ;
- sous quelles conditions la transformation peut-elle s'opérer ? La réponse définit les données de contrôle (configuration, réglage, exploitation) ;
- quels sont les éléments matériels qui réalisent cette fonction ? La réponse définit le processeur.

La figure 3.1 qui suit schématise l'actigramme

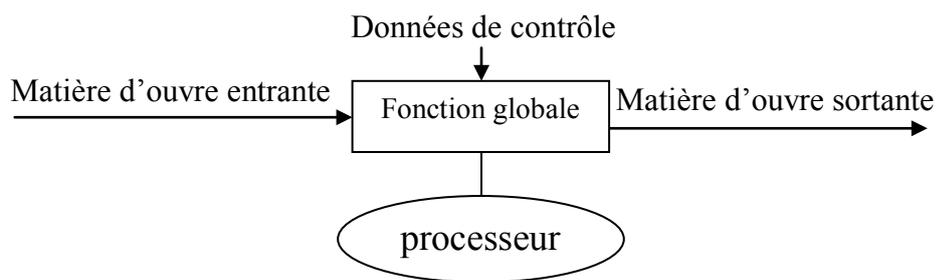


Figure 3.1 : Schéma descriptif de l'actigramme

Structure hiérarchique de la méthode SADT :

La méthode SADT se présente sous forme d'une série de diagrammes. Le diagramme principal est appelé A-0, chaque diagramme peut contenir de 3 à 6 blocs appelés actigrammes ou datagrammes, selon le cas.

Chaque bloc présente un autre diagramme qui lui-même peut contenir de 3 à 6 blocs et ainsi de suite. Ces blocs sont reliés entre eux par des liaisons orientées indiquant le passage de l'information.

La figure 3.2 de la page 32 donne la structure hiérarchique de la méthode SADT.

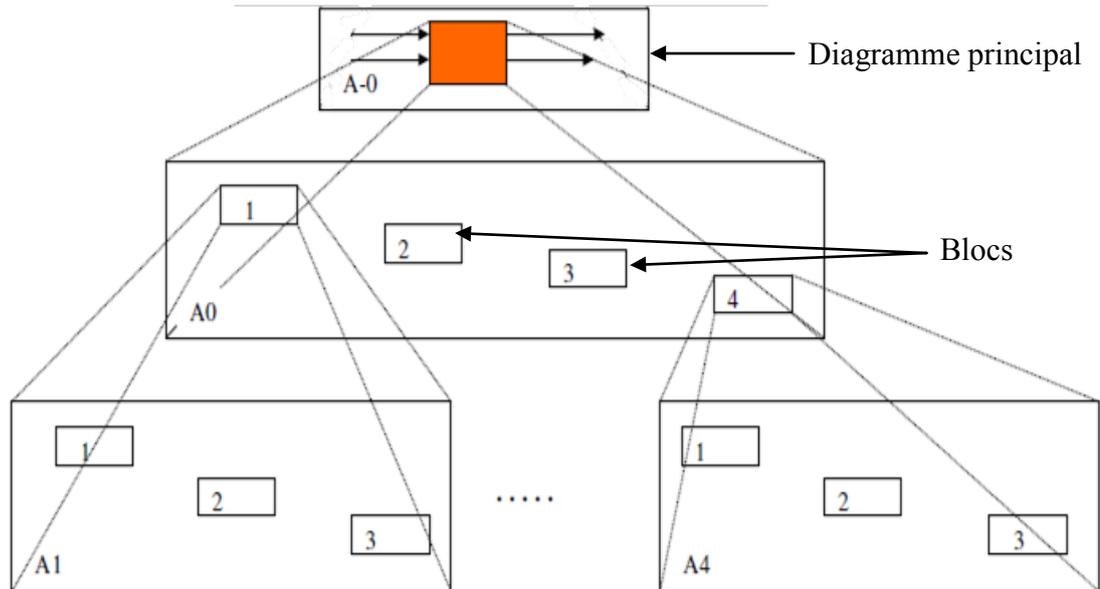


Figure 3.2 : La structure hiérarchique de la méthode SADT

Actigrammes – Datagrammes :

Dans une analyse SADT, on peut modéliser deux types d'analyse. L'analyse par des actigrammes (boîtes d'actions) et l'analyse par des datagrammes (boîtes de données).

- Sur des actigrammes, les actions sont reliées entre elles par des flux de données.
- Sur des datagrammes les données sont reliées entre elles par des flux d'activités.

Les schémas de l'analyse SADT (actigramme et datagramme) sont représentés à la figure 3.3.

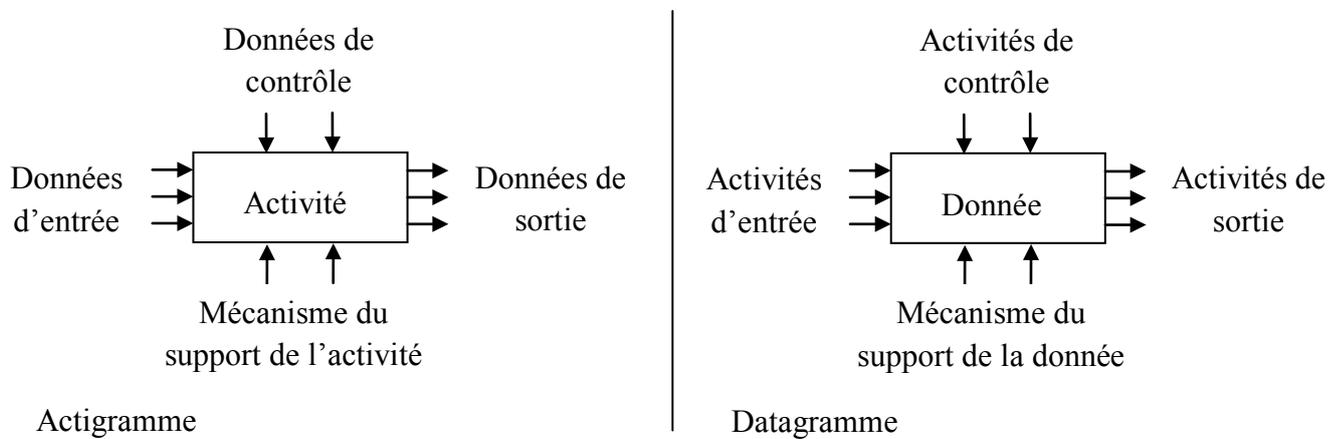


Figure 3.3 : Schémas de l'analyse SADT (actigramme et datagramme)

Avantages de la méthode :

- Représentation graphique facilitant l'interprétation ;
- Une vision du processus de l'activité ;
- Comprendre le système en exploitation.

Inconvénients de la méthode :

- Le temps excessif d'élaboration des diagrammes ;
- Limite du nombre de diagrammes à six (06).

3.1.2. La méthode FAST :

Le diagramme FAST constitue alors un ensemble de données essentielles permettant d'avoir une bonne connaissance d'un produit complexe et ainsi de pouvoir améliorer la solution proposée. Ce diagramme se construit de gauche à droite, dans une logique en partant du pourquoi et en arrivant au comment.

Objectifs : A partir d'une fonction principale, on décompose cette dernière en fonctions techniques afin d'aboutir aux solutions technologiques.

Fonction globale → Décomposition fonctionnelle → Solutions techniques

Principe de la méthode : La méthode s'appuie sur une technique interrogative :

- Pourquoi ? : pourquoi une fonction doit-elle être assurée ? Accès à une fonction technique d'ordre supérieur, on répond en lisant le diagramme de droite à gauche ;
- Comment ? : comment cette fonction doit-elle être assurée ? On décompose alors la fonction, et on peut lire la réponse à la question en parcourant le diagramme de gauche à droite ;
- Quand ? : quand cette fonction doit-elle être assurée ? recherche des simultanités, qui sont alors représentées verticalement.

La figure 3.4 explique le principe de la méthode FAST.

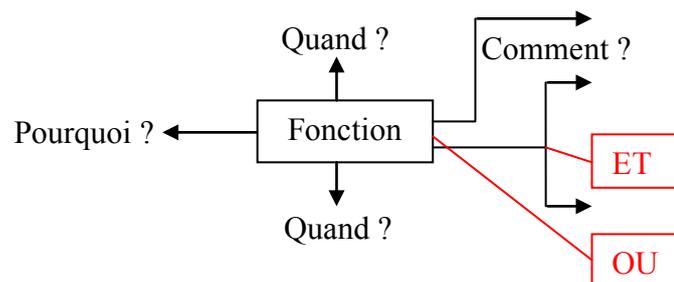


Figure 3.4 : Principe de la méthode FAST

Diagramme fonctionnel :

La figure 3.5 donne le diagramme fonctionnel de la méthode FAST.

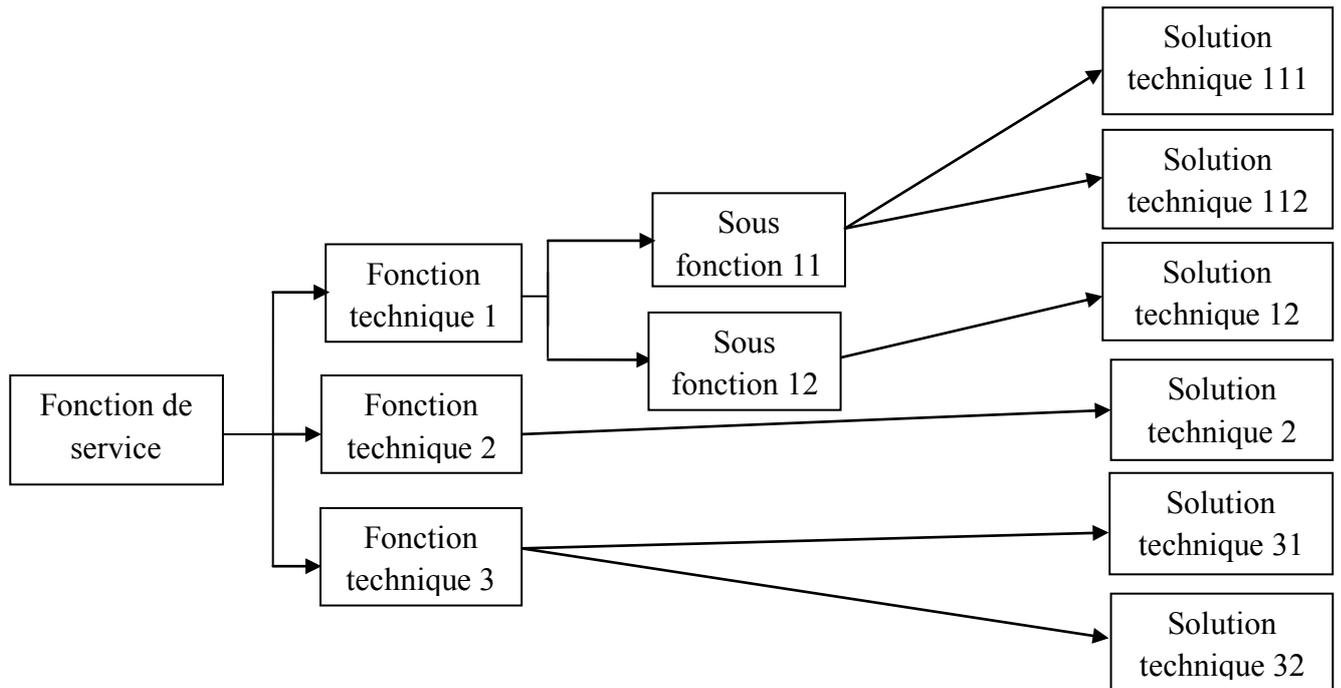


Figure 3.5 : Diagramme fonctionnel de la méthode FAST

Convention de branchement : des conventions de branchement existent.

La figure 3.6 ci-après donne la représentation des différentes structures de branchement.

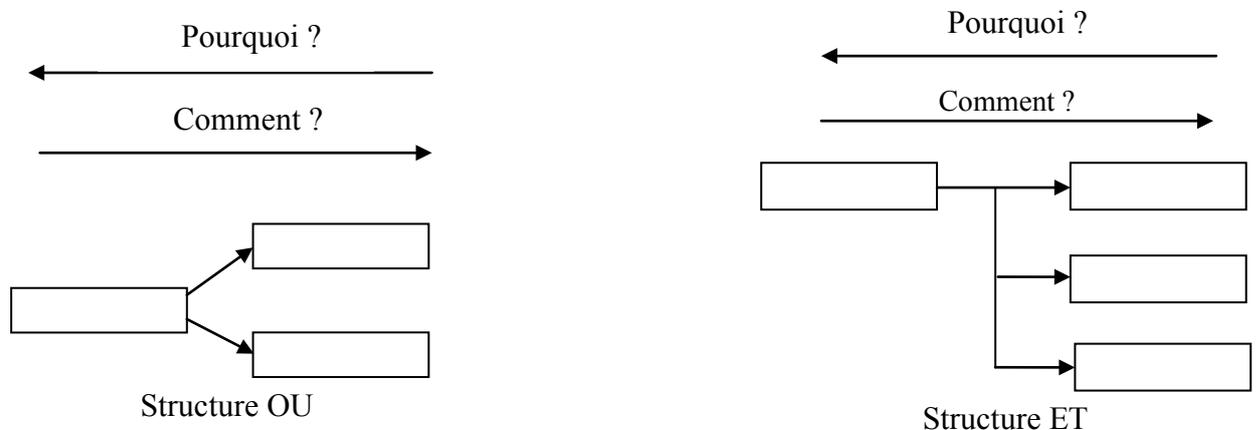


Figure 3.6 : Représentation des différentes structures de branchement

Avantages de la méthode FAST :

- Le diagramme fonctionnel n'est pas limité ;
- Permet d'aboutir aux solutions techniques ;
- Elle contient les différentes structures de branchement (ET, OU).

3.2. Application de la méthode d'analyse FAST au système à automatiser

La figure 3.7 suivante illustre l'application de la méthode FAST au sélecteur de produit (aiguillage).

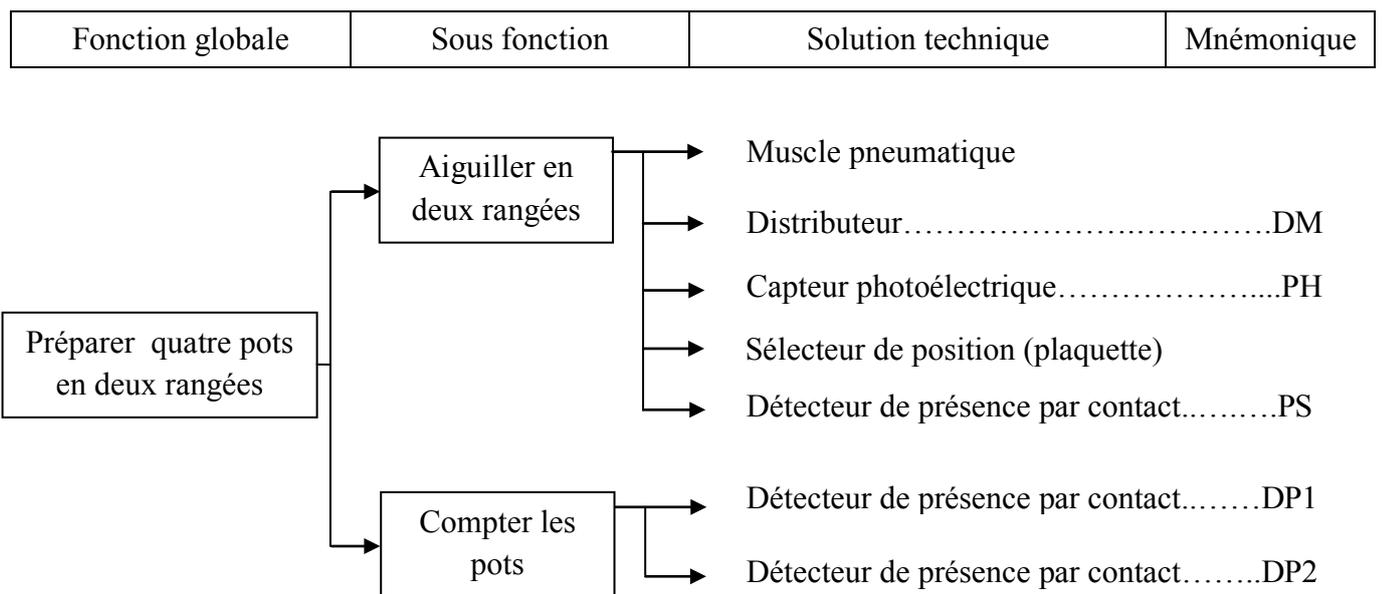


Figure 3.7 : Application de la méthode FAST au sélecteur de pots

La figure 3.8 (page 36), présente l'application de la méthode FAST au système à automatiser.

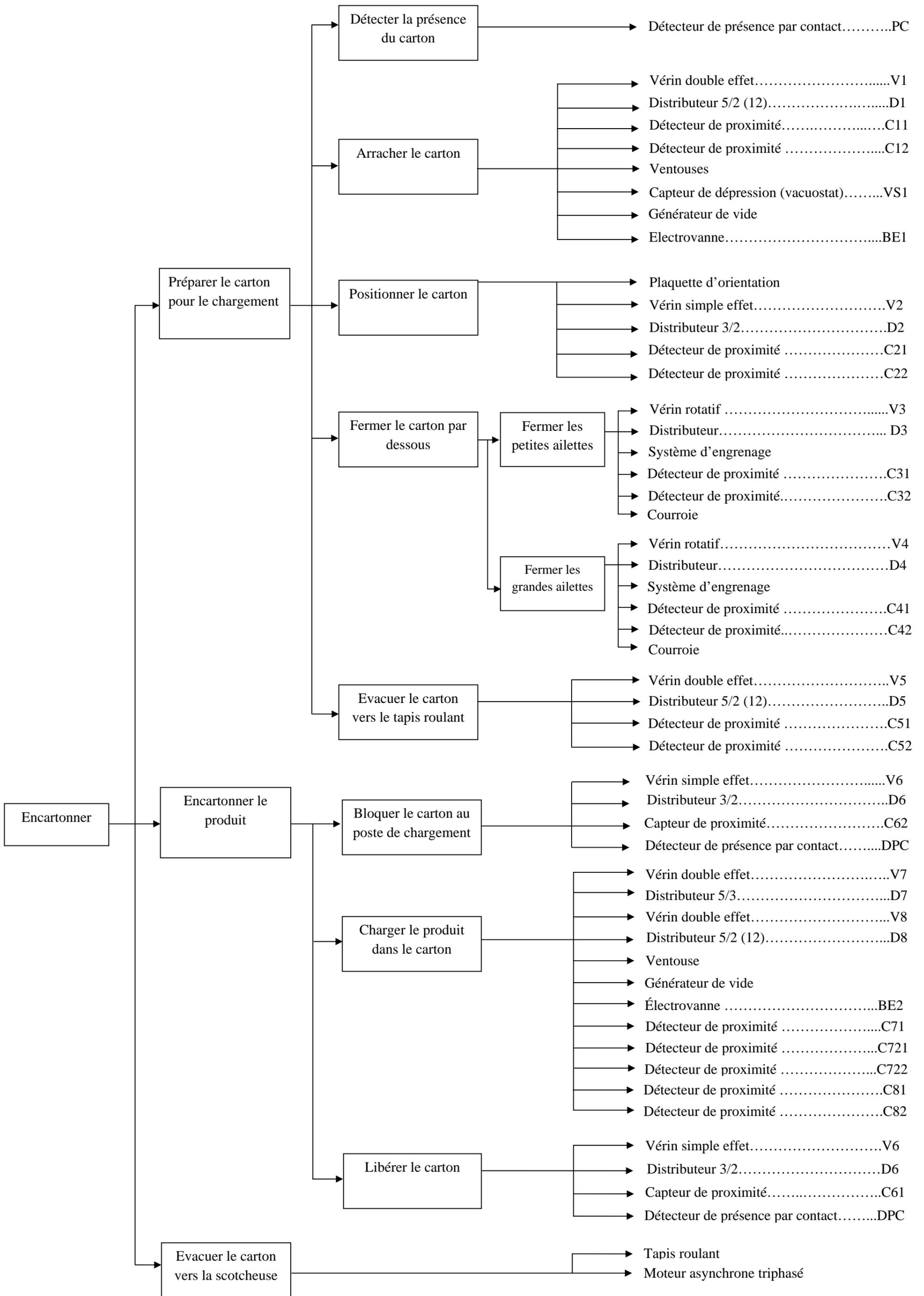


Figure 3.8 : Application de la méthode FAST au système à automatiser

3.3. Les solutions techniques en vue de l'automatisation

Afin de répondre aux exigences du cahier des charges, des solutions techniques doivent être proposées.

Le système à automatiser peut être répartie en plusieurs sous systèmes.

3.3.1. Arrache et orientation du carton :

Au démarrage du cycle, le détecteur de présence par contact (PC) détecte la présence du carton au magasin carton, l'électro-aimant D12 actionne le distributeur D1 et la tige du vérin V1 sort, à sa fin de course (détectée par le détecteur de proximité C12), l'électrovanne BE1 s'actionne jusqu'à ce que le vacuostat VS1 détecte une dépression due à l'aspiration de l'air compris entre les ventouses et la surface du contact avec le carton, les ventouses se trouvent alors collées à la surface du carton. L'électro-aimant D11 rend le distributeur D1 à sa position initiale, ce qui pousse la tige du vérin V1 à rentrer tout en ramenant le carton collé aux ventouses fixées sur cette tige à l'aide d'un support. Le contact physique du carton en mouvement avec la plaquette courbée (de polymère) fixée sur le vérin V5, permet l'orientation du carton.

Les schémas des figures 3.9, 3.10 (vue de haut en 2D) de la page 38 et le schéma de la figure 3.11 (vue en 3D) de la page 39 illustrent le principe de l'arrache et de l'orientation du carton.

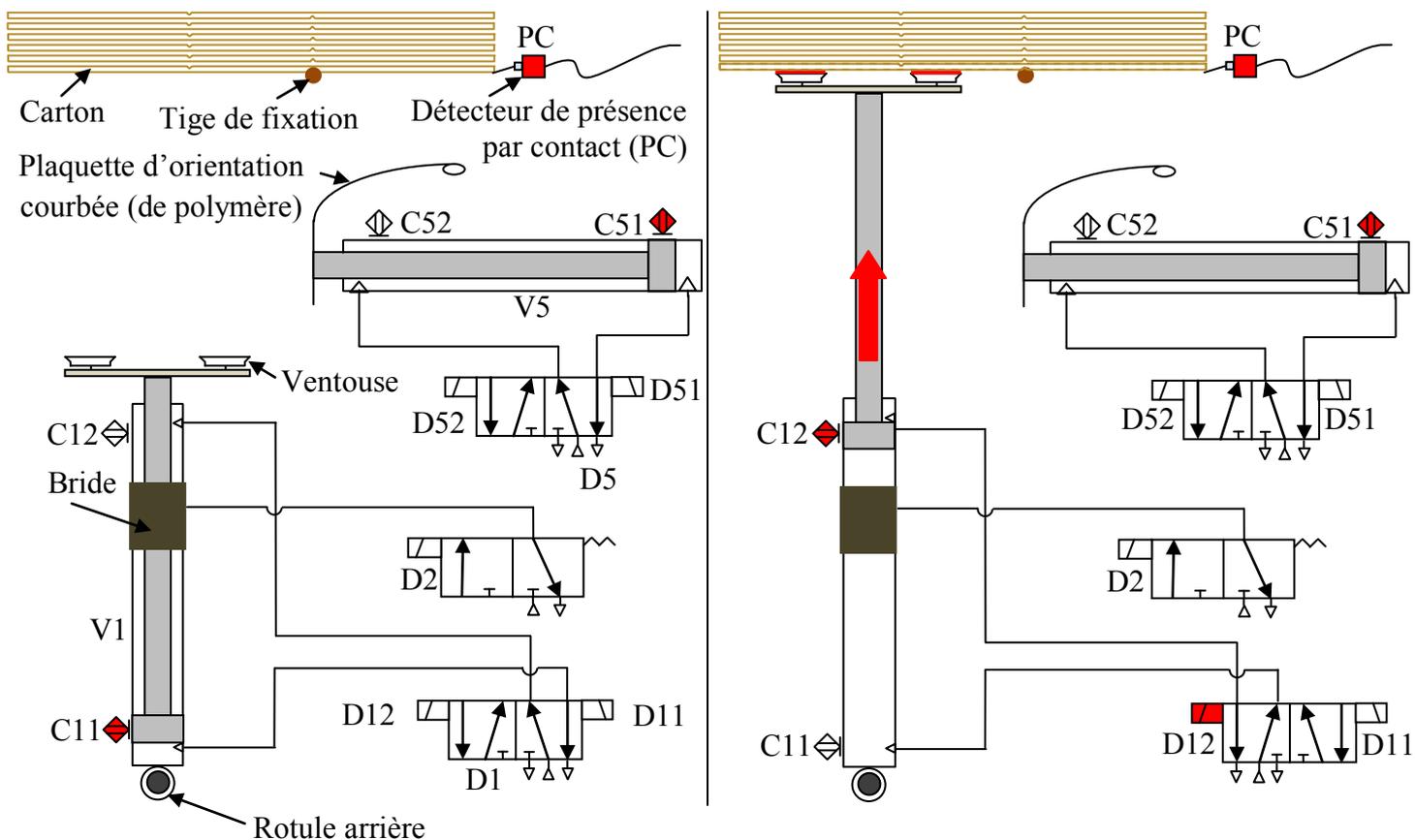


Figure 3.9 : Arrache du carton (vue de haut)

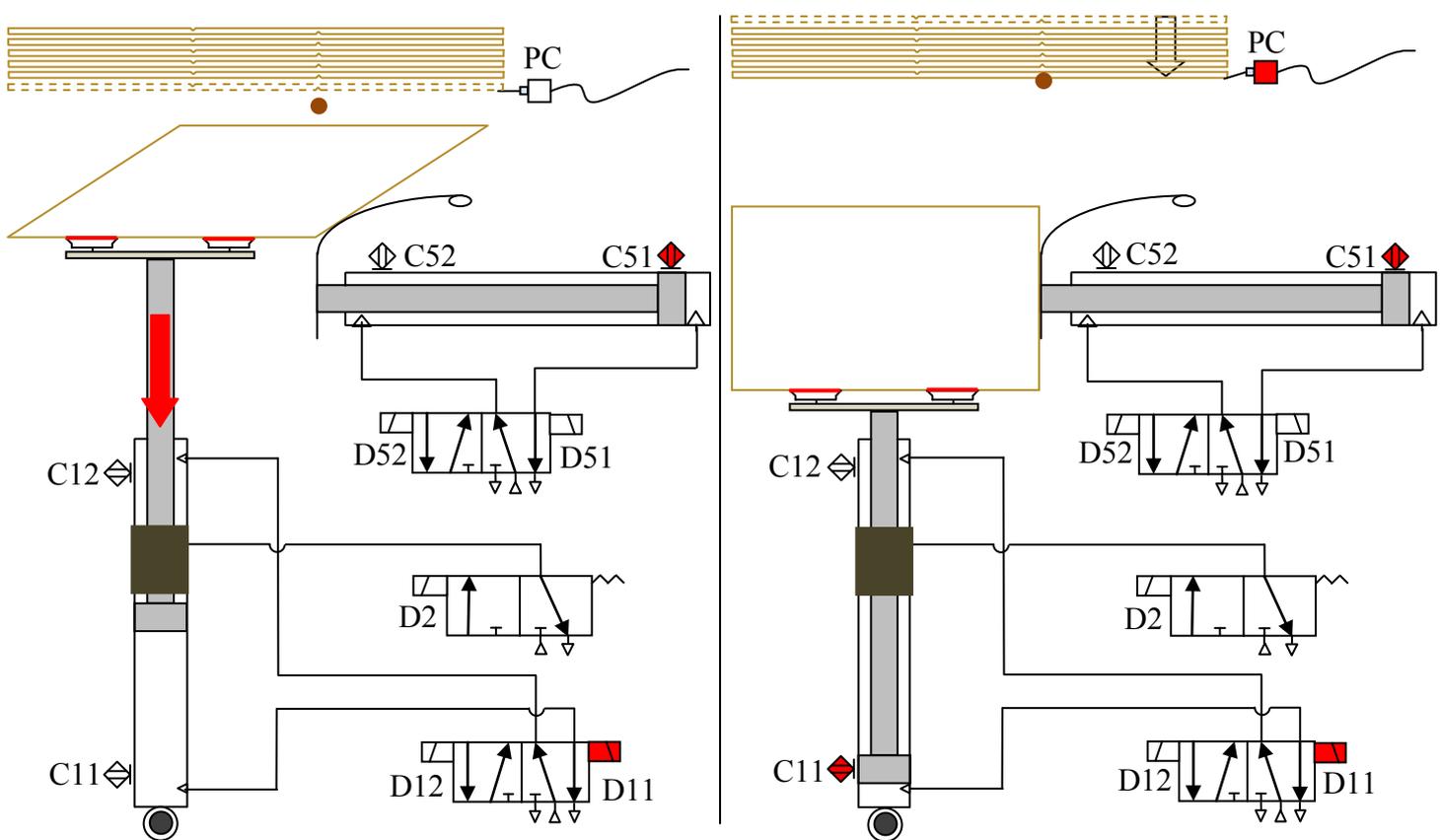


Figure 3.10 : Orientation du carton (vue de haut)

3.3.2. Fermeture du carton par-dessous :

La fermeture des ailettes inférieures du carton fait appel à un mécanisme pneumatique-mécanique.

Au retour de la tige du vérin V1 à sa position initiale, l'électro-aimant D2 actionne son distributeur et la tige du vérin V2 rentre, le carton se trouve alors dans la zone de la fermeture des ailettes. Les ventouses restent collées au carton afin d'assurer sa fixation lors de sa fermeture par-dessous.

Deux tiges de chaque côté assurent la fermeture des petites ailettes du carton. L'électro-aimant D32 actionne le distributeur D3 ce qui pousse la palette du vérin rotatif V3 à tourner en provoquant la rotation des tiges tout en portant les petites ailettes à l'intérieur. La courroie utilisée assure la transmission du mouvement rotatif, et le système d'engrenage assure l'inversion du sens de cette rotation afin de permettre la fermeture des petites ailettes à l'intérieur et dans deux sens opposés.

La fin de course du vérin V3 est détectée par le détecteur de proximité C32 posé sur ce vérin, et l'électro-aimant D31 rend le distributeur D3 à sa position initiale ce qui mène les tiges à rejoindre leurs positions initiales (position verticale), au même temps, et en utilisant le même principe, les plaquettes de polymère ferment les grandes ailettes inférieures du carton à 90°, en continuant la fermeture des petites ailettes arrêtées à 60°, et ce, afin de gagner du temps et de l'énergie ainsi qu'éviter la prise au piège des tiges lors de la fermeture des grandes ailettes. Le carton est donc fermé par-dessous.

Les figures 3.12 (vue de haut) et 3.13 (vue de face) illustrent la fermeture du carton par-dessous.

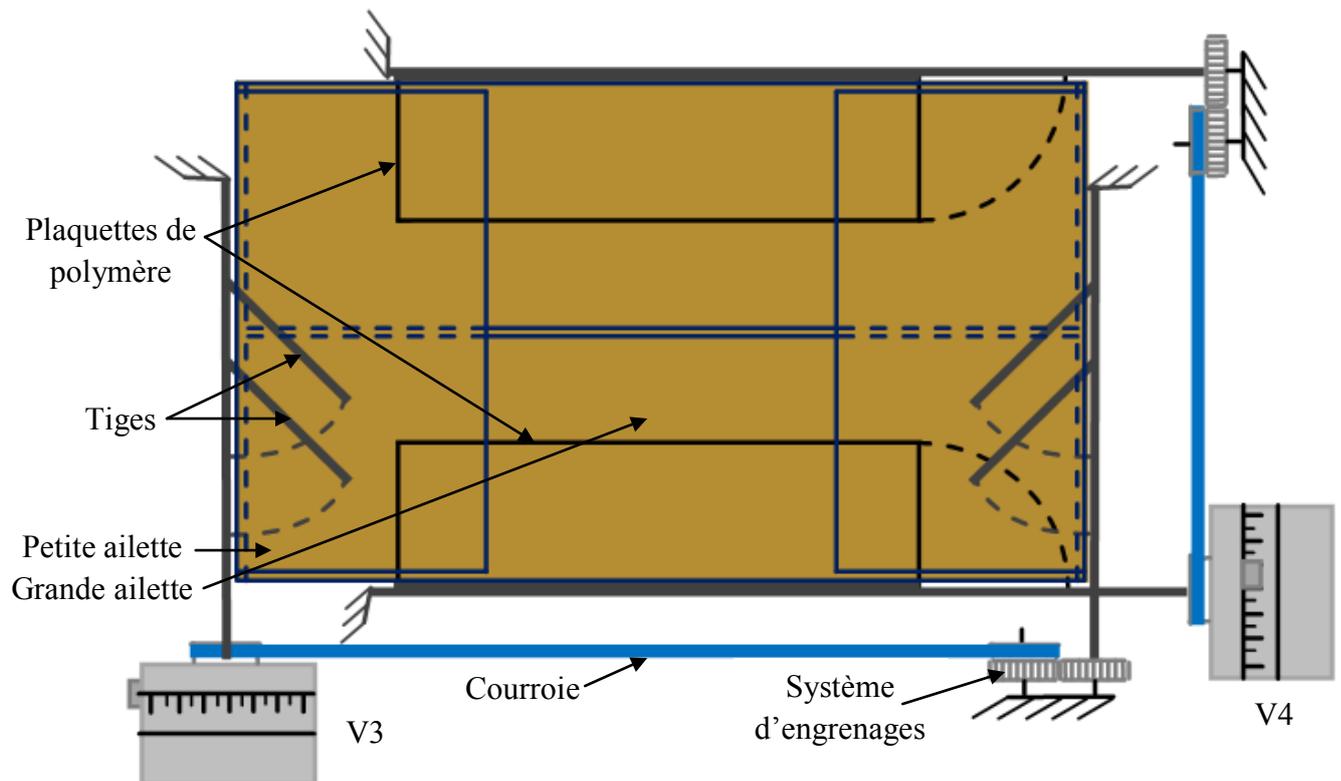


Figure 3.12 : Fermeture du carton par-dessous (vue de haut)

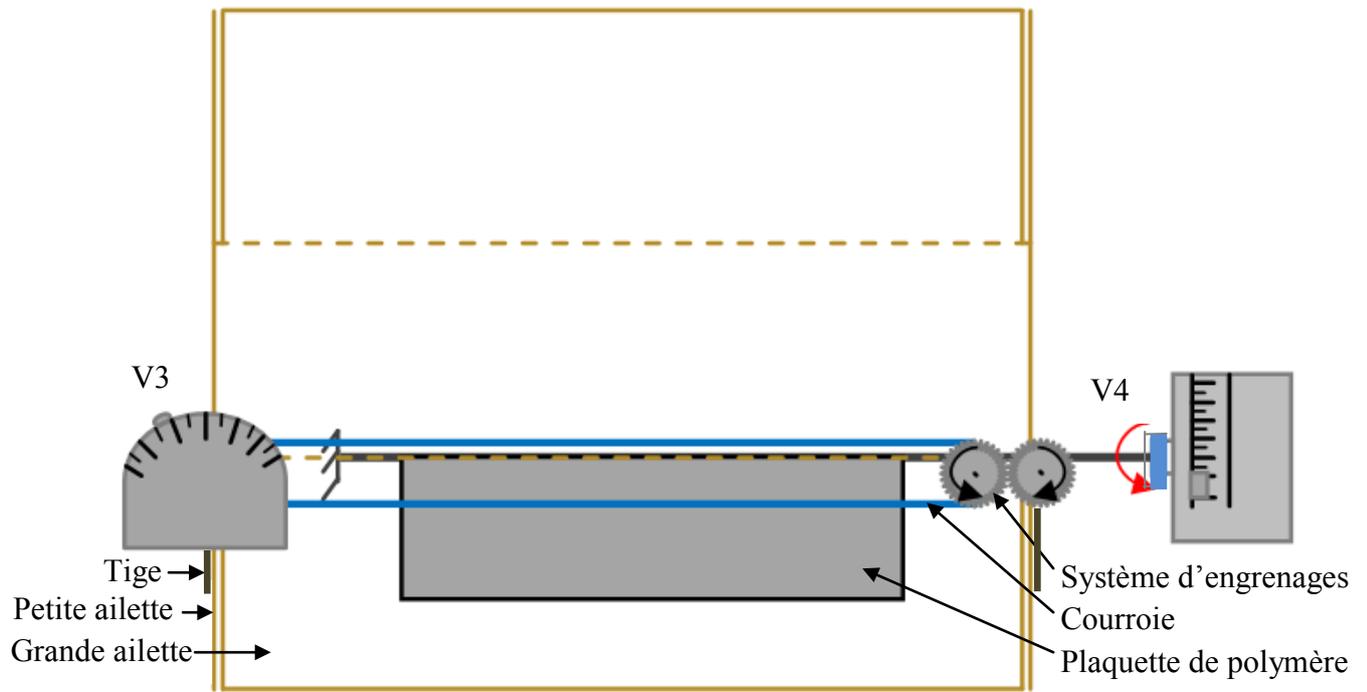


Figure 3.13 : Fermeture du carton par-dessous (vue de face)

3.3.3. Evacuation du carton vers le tapis roulant :

La détection de l'arrivée des plaquettes de polymère à leur position finale (position horizontale), désactive la bobine de l'électrovanne BE1, l'air comble le vide entre les ventouses et la surface de contact du carton qui seront donc libres. Le vérin V2 rejoint sa position initiale à l'aide de son ressort. Les figures suivantes 3.14 a, b, c, d illustrent les différentes étapes de l'évacuation du carton vers le tapis roulant.

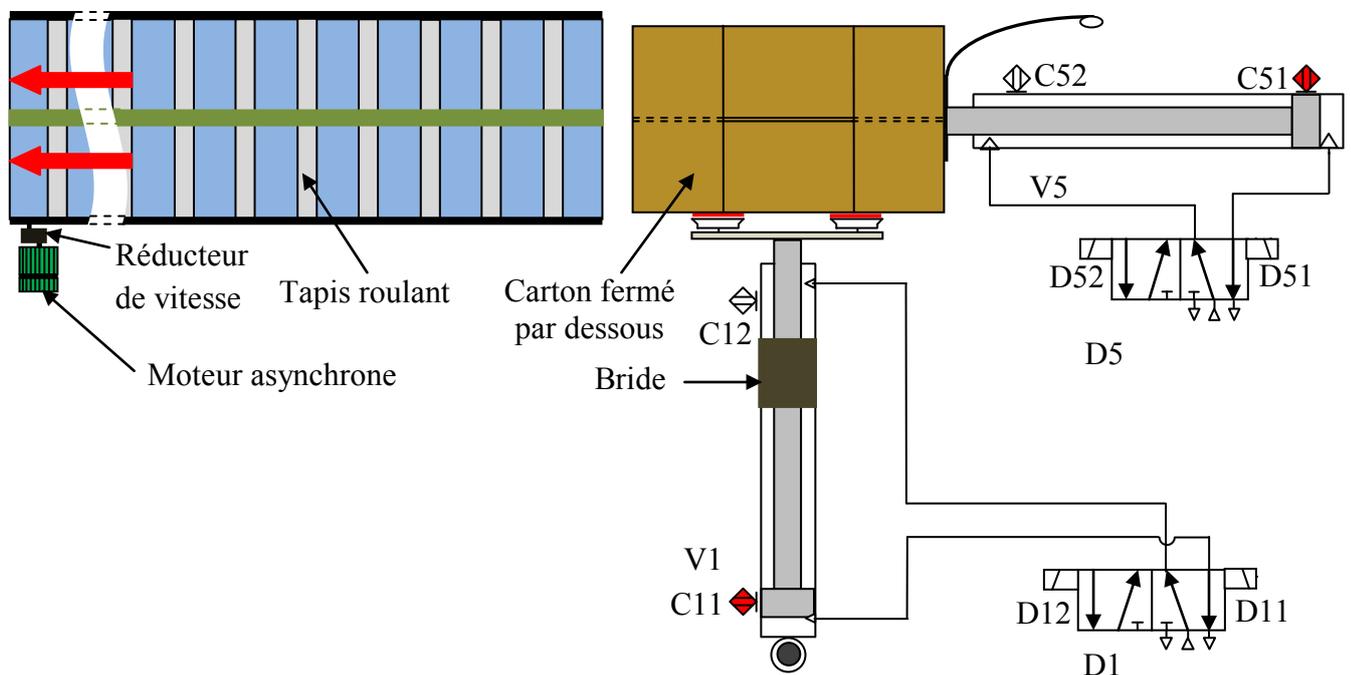


Figure 3.14 a. Ventouses collées au carton (vue de haut)

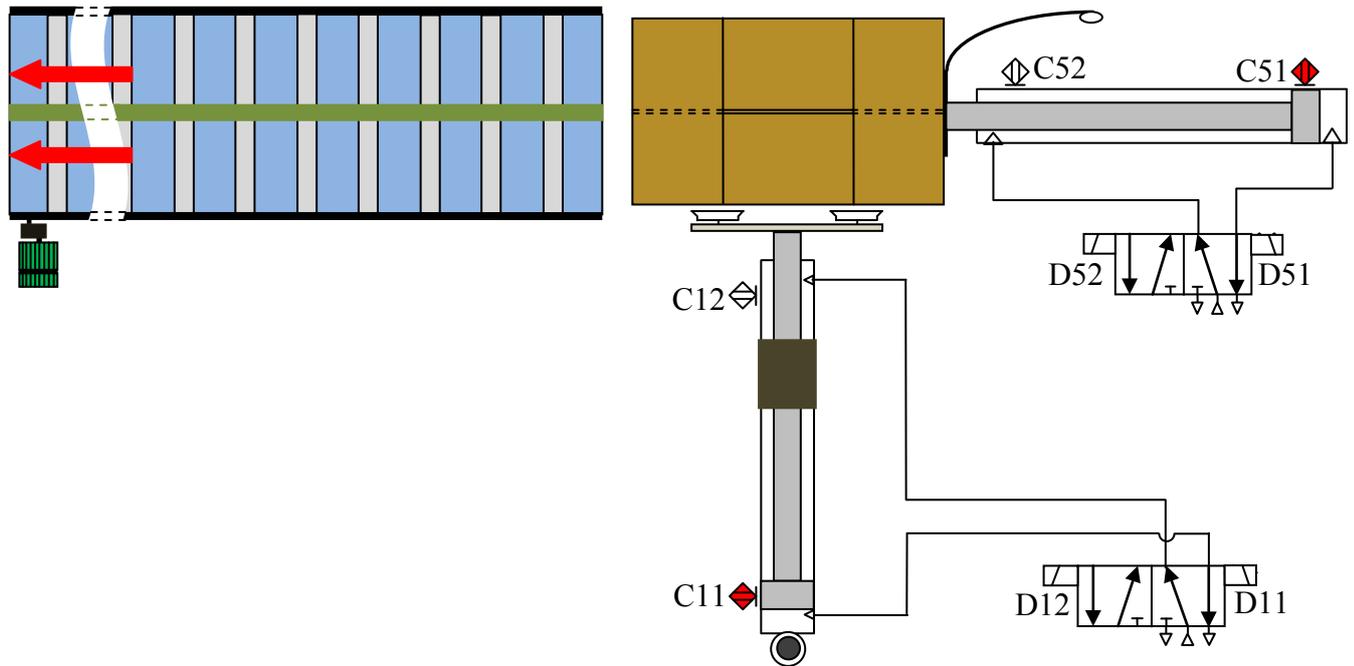


Figure 3.14 : b. Détachement des ventouses du carton (vue de haut)

L'état logique du vacuostat change, et l'électro-aimant D52 s'aimante d'où la sortie de la tige du vérin V5 portant le dispositif d'orientation (plaquette courbée) et poussant le carton fermé par-dessous vers le tapis roulant. Les plaquettes de fermeture des grandes ailettes inférieures restent en leur position finale (position horizontale) afin qu'elles servent aussi comme support lors de l'évacuation du carton vers le tapis roulant. Dans le but de réduire la course du vérin et son temps d'exécution, le vérin V5 assure le positionnement de 80 % du carton sur le tapis roulant, ce dernier s'en occupe de le porter entièrement.

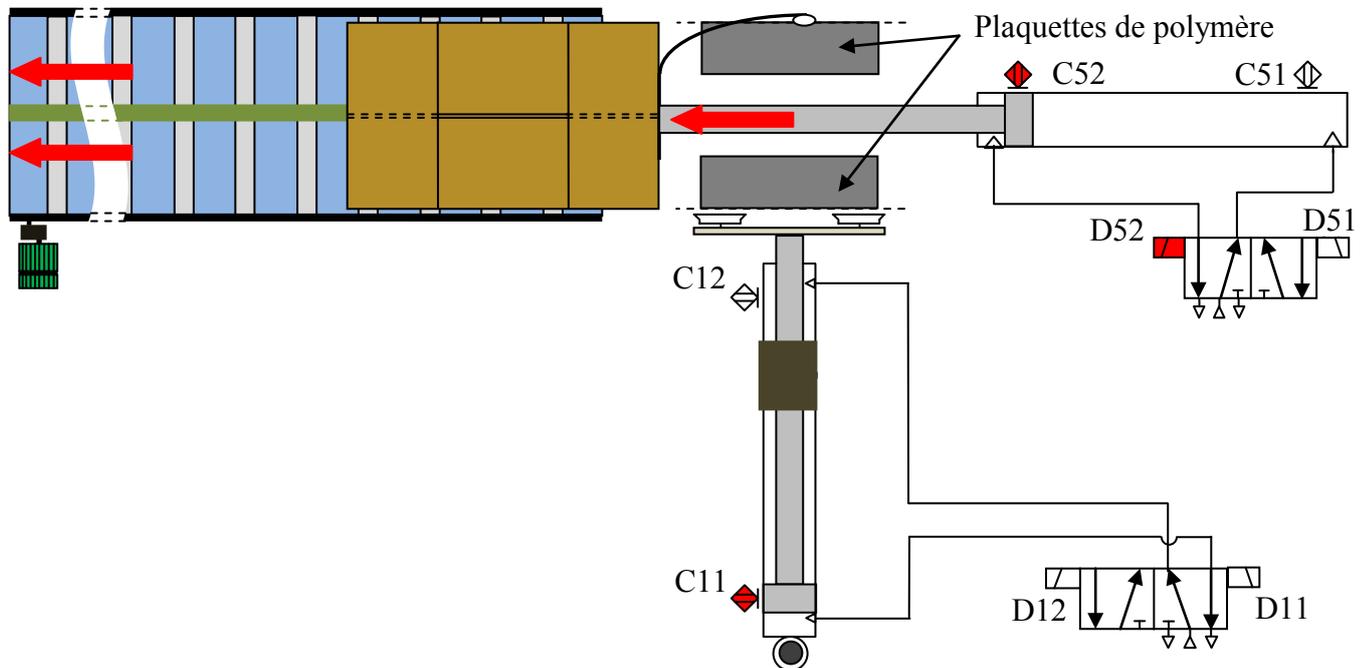


Figure 3.14 : c. Sortie du vérin V5 et glissement du carton sur les plaquettes (vue de haut)

La fin de course du vérin V5 (détectée par le détecteur de proximité C52) provoque l'aimantation de l'électro-aimant D41 ce qui rappelle les plaquettes de fermeture par-dessous, au même temps l'électro-aimant D51 s'aimante et la tige du vérin V5 rentre.

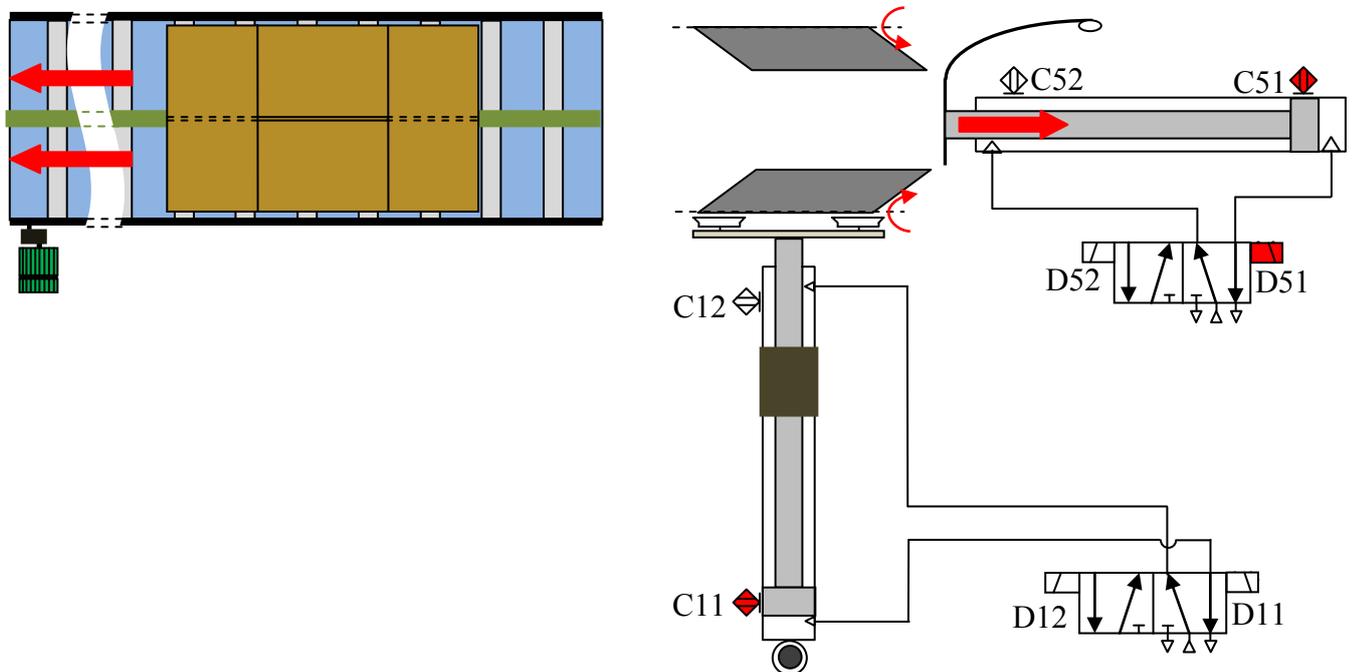


Figure 3.14 : d. Rentrée du vérin V5, descente des plaquettes et évacuation du carton (vue de haut)

3.3.4. Arrêt du carton au poste de chargement :

Le carton fermé par-dessous se déplace sur le tapis roulant jusqu'à ce qu'il atteigne le poste de chargement où le capteur de présence par contact DPC détecte son arrivée (voir figure 3.16 a). L'électro-aimant D6 s'aimante, la tige du vérin d'arrêt V6 sort et le carton se trouve bloqué au poste de chargement (voir figure 3.16 b).

La figure 3.15 illustre une vue de haut de l'arrêt du carton au poste de chargement.

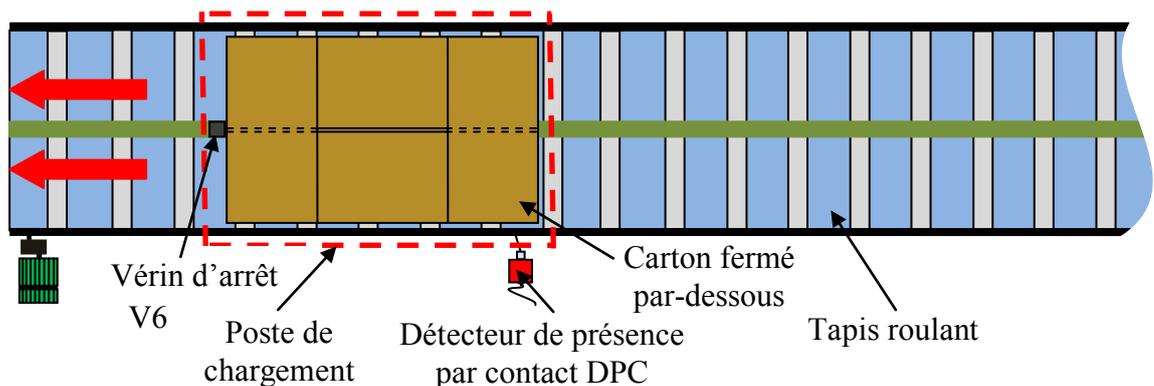


Figure 3.15 : Arrêt du carton au poste de chargement (vue de haut)

Cet arrêt passe par des étapes expliquées par les figures 3.16 a, b :

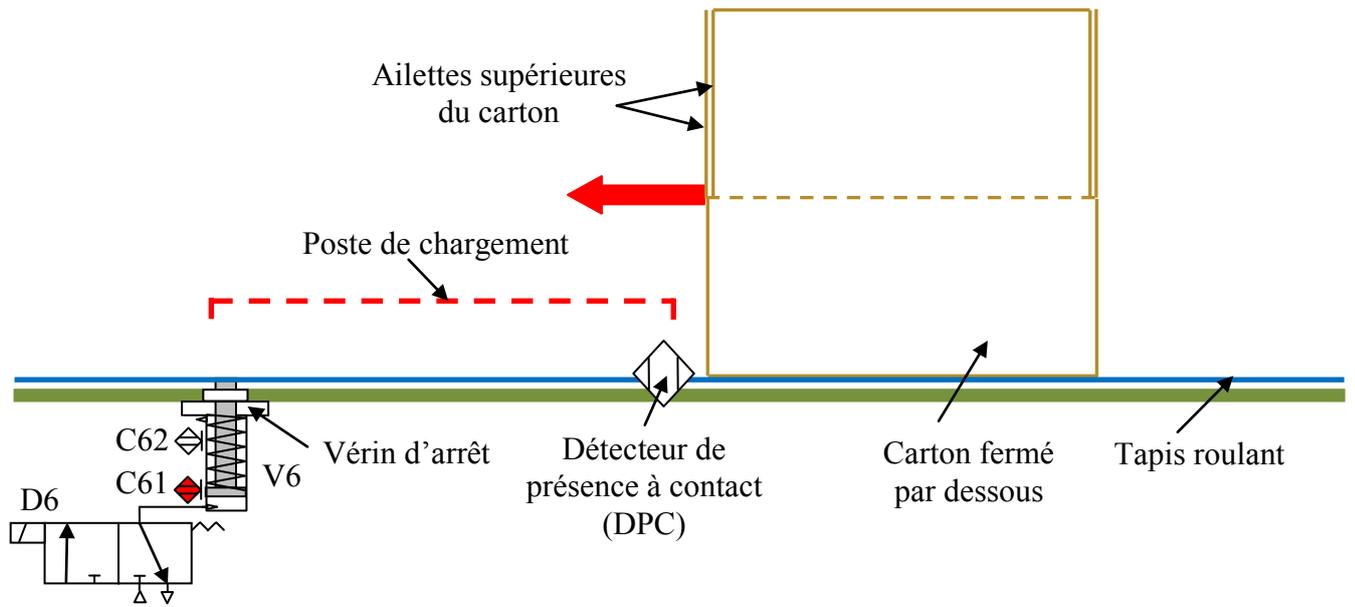


Figure 3.16 : a. Détection de l'arrivée du carton au poste de chargement

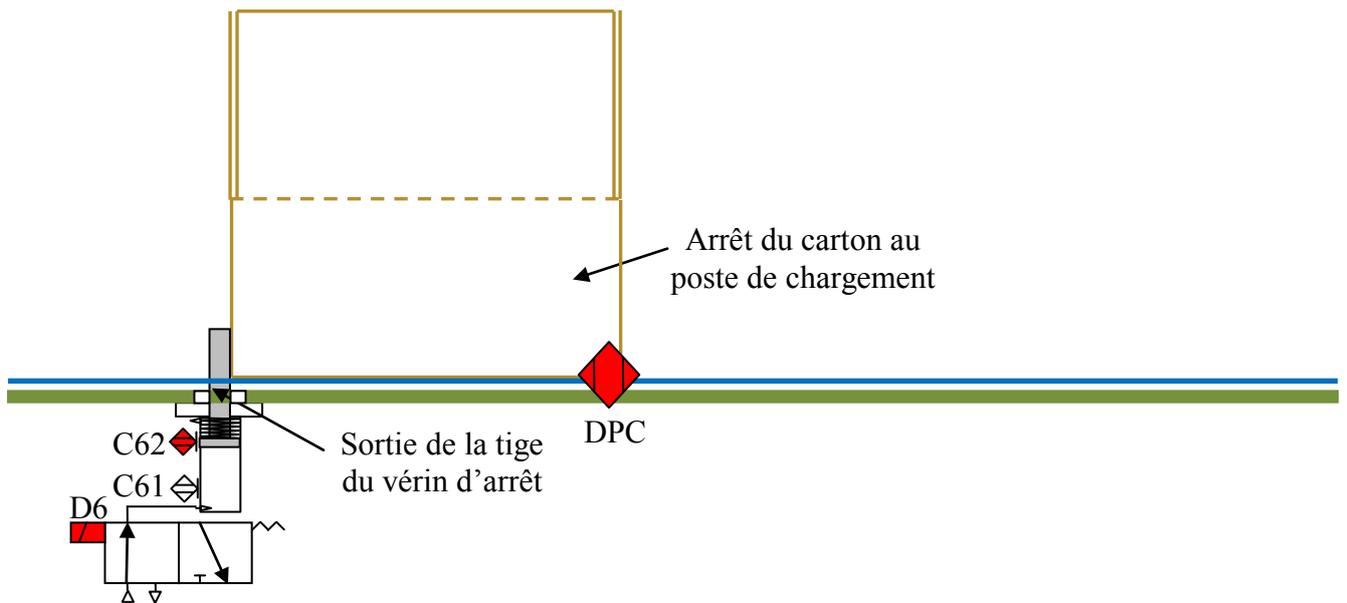


Figure 3.16 : b. Sortie du vérin d'arrêt V6 et arrêt du carton

3.3.5. Organisation du produit à encarterner :

Dans l'objectif de préparer les pots de la margarine quatre à quatre, on a opté pour un système constitué des éléments suivants :

- convoyeur de largeur deux (02) fois celle du convoyeur de la machine de remplissage ;
- un sélecteur de position (plaque d'orientation);
- un détecteur photoélectrique ;
- trois (03) détecteurs de présence par contact ;
- un muscle pneumatique (avec son distributeur).

Deux pots de margarine passent, ils seront détectés par le détecteur photoélectrique PH, et suivant la position du sélecteur détectée par le détecteur de présence à contact PS, l'électro-aimant DM2 ou DM1 s'aimante et le distributeur DM alimente en pression le muscle pneumatique pour changer la position du sélecteur de la position « 1 » vers la position « 2 », ou il coupe son alimentation pour l'inverser, respectivement (voir la figure 3.17).

Les détecteurs de présence par contact détectent le passage des deux pots de margarine de chaque côté. Ces pots doivent être organisés quatre à quatre afin qu'ils soient encartonnés.

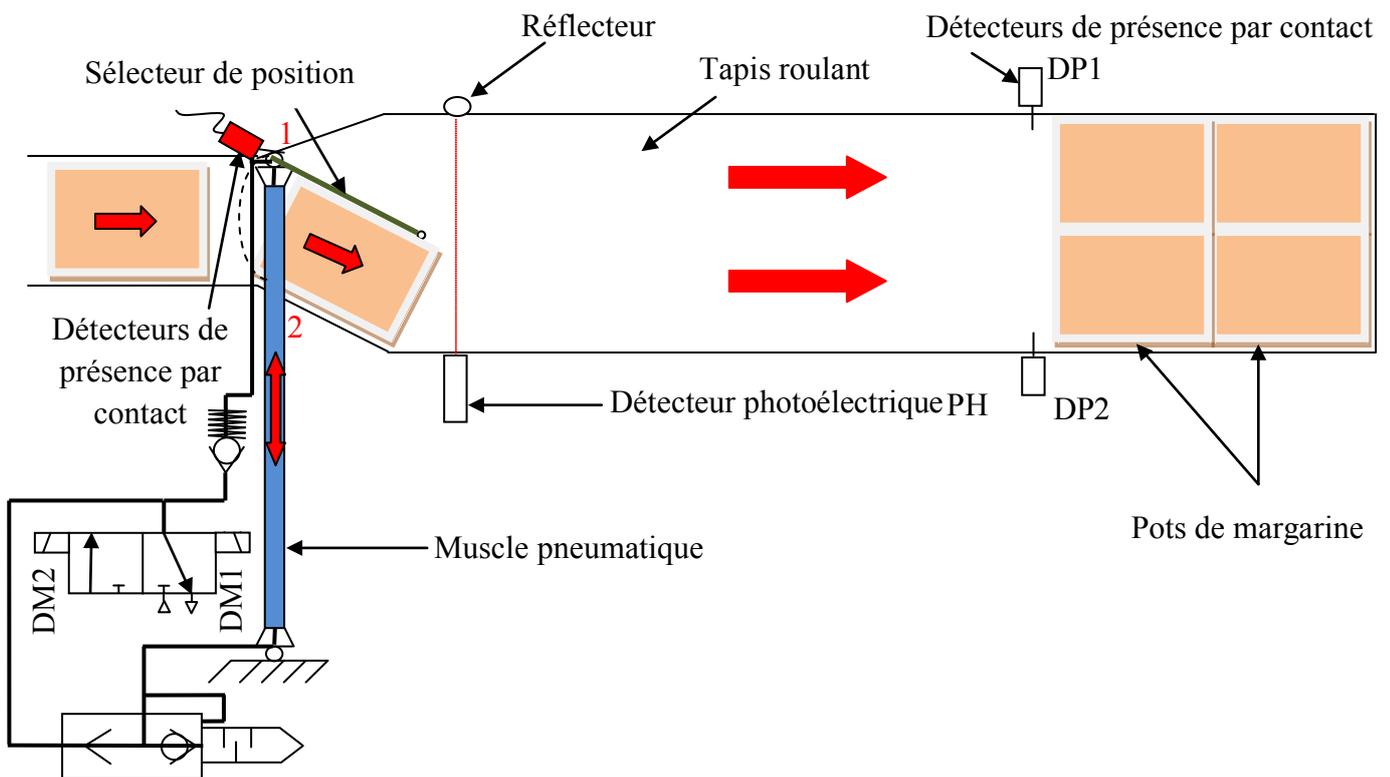


Figure 3.17 : Organisation du produit à encarterner

« a » étant la largeur du convoyeur de la machine de remplissage des pots. Le muscle pneumatique dans notre cas a pour rôle d'assurer la position du sélecteur (position 1), lorsqu'il est en repos et la (position 2) lorsqu'il est mis sous pression comme le montre la figure (3.18). Le muscle pneumatique permet d'exploiter seulement une course de 25 % de sa longueur nominale. De ce fait, on doit choisir un muscle pneumatique de longueur 60 cm afin d'assurer une traction axiale de 15 cm.

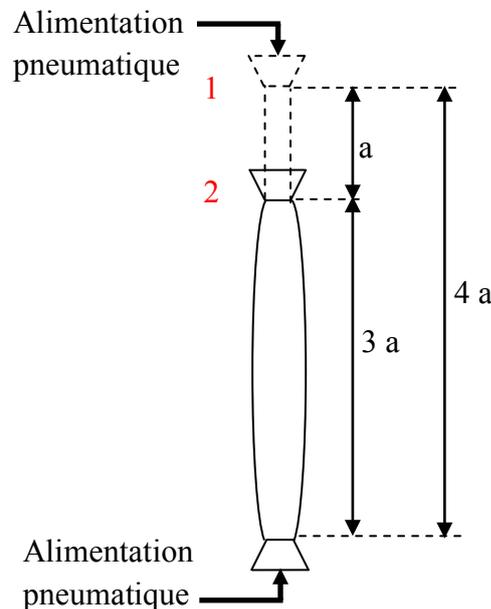


Figure 3.18 : Fonctionnement du muscle pneumatique

3.3.6. Chargement du produit dans le carton :

Si le carton est détecté au poste de chargement (détection vérifiée par DPC), quatre pots sont prêts à être encartonnés (détection vérifiée par DP1 et DP2) et la tige du vérin d'arrêt V6 est sortie (détection vérifiée par C62), alors, l'électro-aimant D72 s'aimante et la tige du vérin V7 commence à sortir (descendre). A l'arrivée des ventouses fixées sur le support porté par cette dernière tige (détection vérifiée par C721), l'électro-aimant D72 se désactive alors la tige du vérin V7 s'arrête de sortir et en ce moment l'électrovanne BE2 s'active en laissant échapper l'air compris entre les quatre ventouses et les surfaces supérieures (couvercles) des quatre pots de margarine, les ventouses sont collées aux couvercles (vérification par le vacuostat VS2), l'électro-aimant D71 s'aimante et la tige du vérin V7 rentre (remonte) en portant avec elle les quatre pots de margarine. La détection effectuée par le capteur de proximité C71 désactive l'électro-aimant D71 et le distributeur D7 rejoint sa position de stabilité. A ce moment, l'électro-aimant D82 s'aimante et la tige du vérin V8 sort tout en portant le vérin V7, le support, les ventouses et les pots de margarine avec lui. Le capteur de proximité C82 détecte la fin de

course du vérin V8, ce qui provoque l'aimantation de l'électro-aimant D72 et la descente de la tige du vérin V7 jusqu'à sa fin de course (vérification effectuée par C722), D72 se désactive et le distributeur D7 rejoint sa position initiale, alors que l'électrovanne BE2 se désactive et les ventouses se relâchent des couvercles (vérification par le vacuostat VS2), et c'est ce qui aimante l'électro-aimant D71 où la tige du vérin V7 remonte et quand elle sera détectée par C721, l'électro-aimant D81 s'aimante et les deux vérins V7 et V8 rentrent à la fois.

La figure 3.19 a, b, c, d, e, f, g, h, i des pages 48 et 49 montrent les différentes étapes de chargement du produit dans le carton.

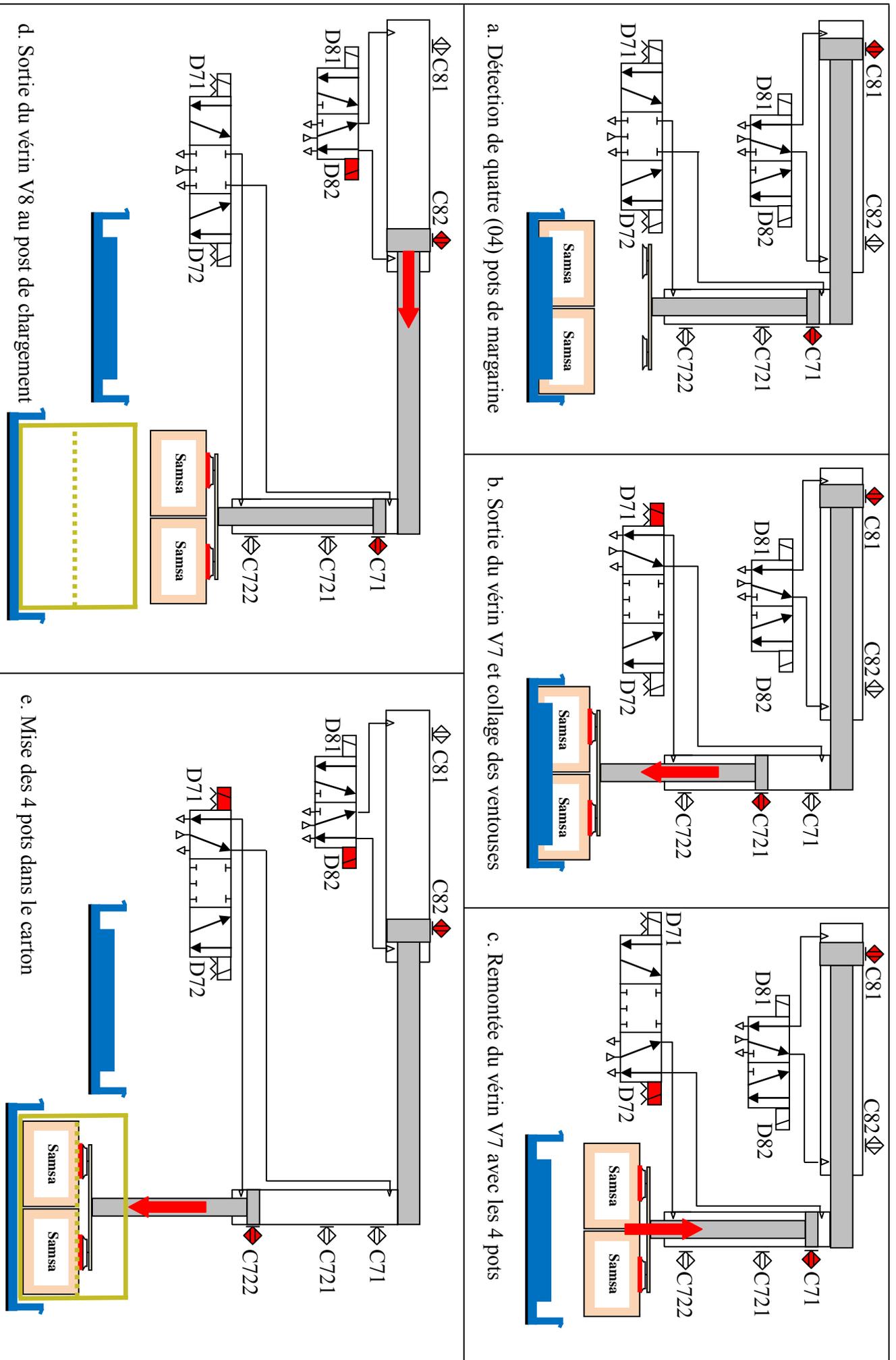


Figure 3.19 : Chargement du produit dans le carton

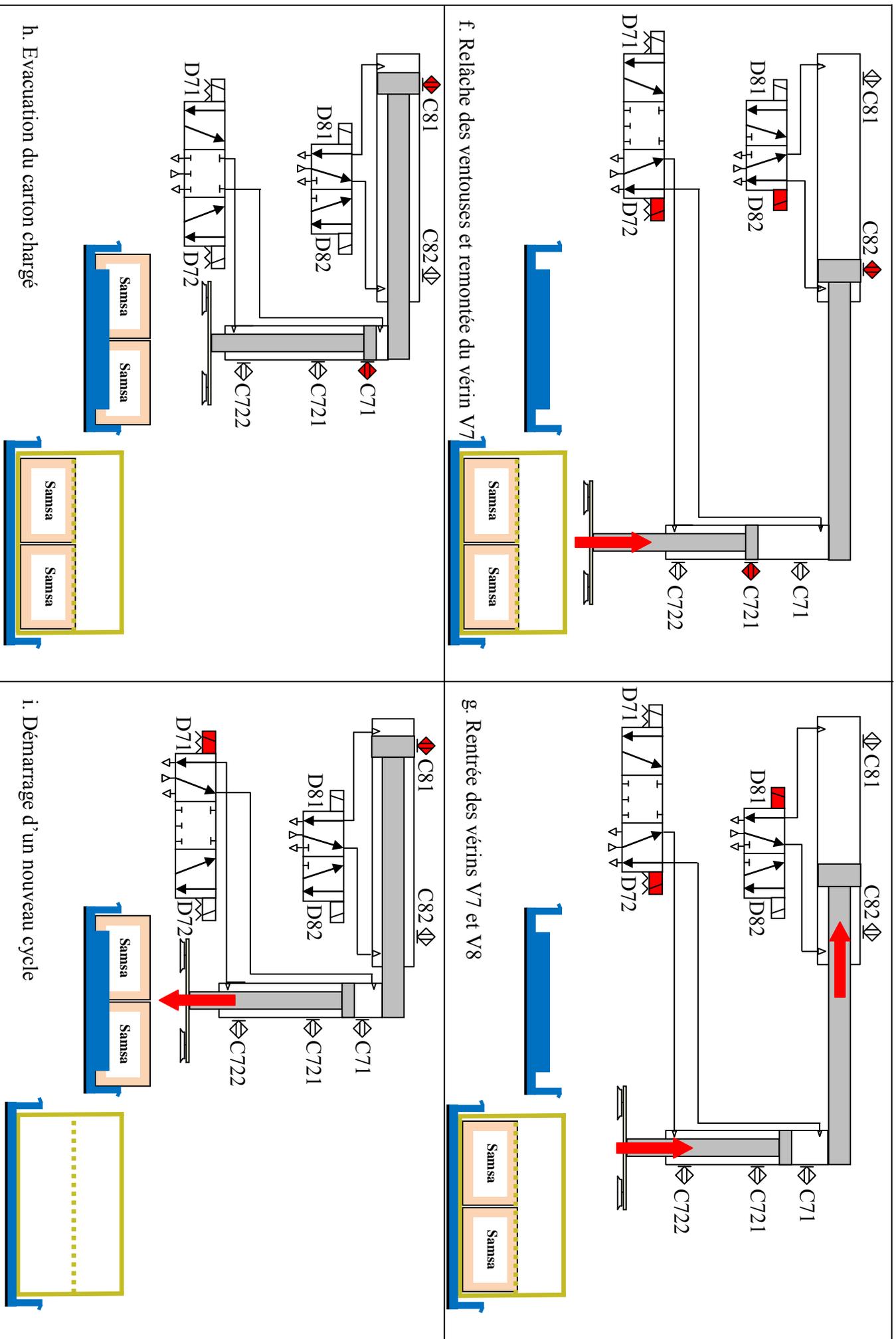


Figure 3.19 : Chargement du produit dans le carton

3.3.7. Evacuation du carton chargé vers la scotcheuse :

Le retour de la tige du vérin V8 à sa position initiale détectée par le détecteur de proximité à contact C81 provoque la désexcitation de l'électro-aimant D6 et la tige du vérin V6 rentre, ce qui laisse passer le carton chargé vers la scotcheuse qui s'en charge de le fermer par-dessus et de le scotcher.

La figure 3.20 illustre l'évacuation du carton chargé vers la scotcheuse.

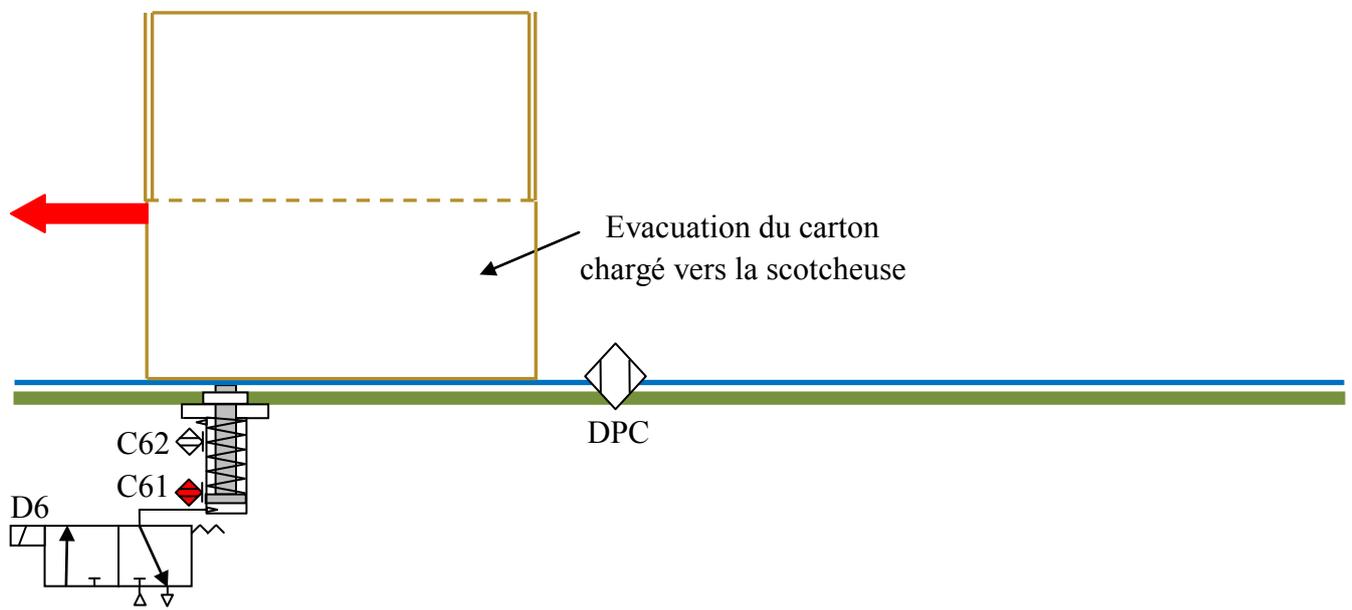


Figure 3.20 : Evacuation du carton chargé vers la scotcheuse

Conclusion

En passant par la méthode d'analyse fonctionnelle adéquate au genre de problème affronté dans le présent manuscrit, on a pu proposer des solutions techniques réalisables, économiques et qui permettent de gagner à la fois du temps et de l'énergie, ce qui ouvre le passage au « chapitre 4 » intitulé « Dimensionnement des éléments technologiques ».

CHAPITRE 4 :

DIMENSIONNEMENT DES ELEMENTS TECHNOLOGIQUES

Introduction

Après avoir choisi les différents éléments technologiques à utiliser dans l'installation, un dimensionnement de ces derniers est nécessaire, et ce, suivant la nature et la manière que chaque élément va effectuer sa tâche.

4.1. Dimensionnement des vérins

La force développée dépend de l'usage qu'il est fait du vérin. On distingue deux cas :

- **En statique (effort théorique) :** c'est l'effort en fin de course qui est recherché. L'effort développé en statique par un vérin correspond tout simplement à l'effort théorique défini par les deux formules suivantes [17] :

$$F_{sp} = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot p \quad (1)$$

$$F_{st} = \pi \cdot \frac{(D^2 - d^2)}{4} \cdot p \quad (2)$$

D : Diamètre de piston (cm),

d : Diamètre de la tige (cm),

p : Pression d'alimentation (bar),

F_{sp} : Effort statique développé en poussant (daN),

F_{st} : Effort statique développé en tirant (daN).

- **En dynamique (effort réel) :** on cherche l'effort développé pendant la course. Il faut tenir compte du rendement de l'actionneur, dû à ses frottements internes. La majorité des constructeurs indique cette valeur, qui varie entre 0,85 et 0,95. Une valeur moyenne de rendement mécanique est adoptée à $\mu_M = 0,9$. Le frottement interne du vérin n'est pas la seule cause de perte d'efficacité. En effet, les courbes de pressions obtenues par la simulation, montrent la présence d'une contre-pression, s'opposant au travail moteur de l'actionneur. Cette perte de puissance dépend des réglages des limiteurs de débit à l'échappement et est variable pendant la course. Par conséquent, elle ne peut se déterminer précisément pour chaque application. Pour ce faire, une valeur expérimentale maximale de rendement pneumatique est caractérisée par $\mu_P = 0,7$.

Si l'on cumule ces deux pertes, on obtient un rendement global du vérin avec le produit de μ_P et μ_M . Ce rendement global est plus souvent appelé taux de charge (tc) avec une valeur de référence $tc' \approx 0,6$.

Les forces développées en mouvement sont donc :

$$F_{dp} = F_{sp} \cdot tc \quad (3)$$

$$F_{dt} = F_{st} \cdot tc \quad (4)$$

Pour un fonctionnement optimal du vérin, la plupart des constructeurs recommandent de le dimensionner en adoptant un taux de charge inférieur ou égal à 0,6.

Fdp : Effort dynamique développé en poussant,

Fdt : Effort dynamique développé en tirant,

μM : Rendement mécanique,

μP : Rendement pneumatique,

tc : Taux de charge.

Un vérin est défini par ;

- son type (simple effet, double effet, rotatif) ;
- sa course ;
- l'effort qu'il doit développer ;
- le diamètre (ou la surface) de son piston ;
- le diamètre (ou la section) de sa tige ;
- la vitesse de déplacement de sa tige.

Remarque : La pression de service (d'alimentation) est de 6 bar.

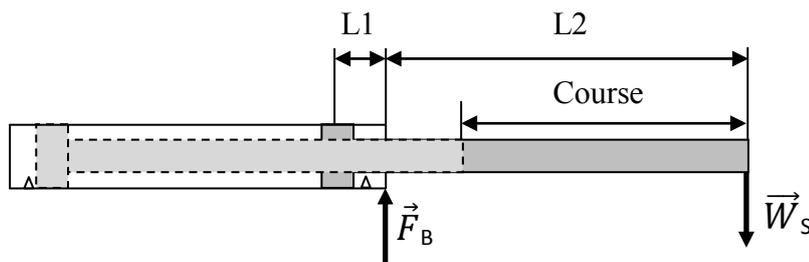


Figure 4.1 : Les charges sur palier et en bout de la tige d'un vérin

La charge sur le palier peut être calculée comme suit [18] :

$$F_B = W_s \left(1 + \frac{L2}{L1} \right) = W_s \cdot \frac{L1 + L2}{L1} \quad (5)$$

F_B (N) : Charge sur le palier,

W_s (N) : Charge en bout de tige,

$L1$ (mm) : Longueur de guidage,

$L2$ (mm) : Longueur du palier à l'extrémité de tige.

La longueur de guidage varie selon les constructeurs (tableau 1 de l'annexe selon la firme FESTO).

- Pour le vérin V1 : vérin double effet (VDE)

La course du vérin V1 est de 350 mm.

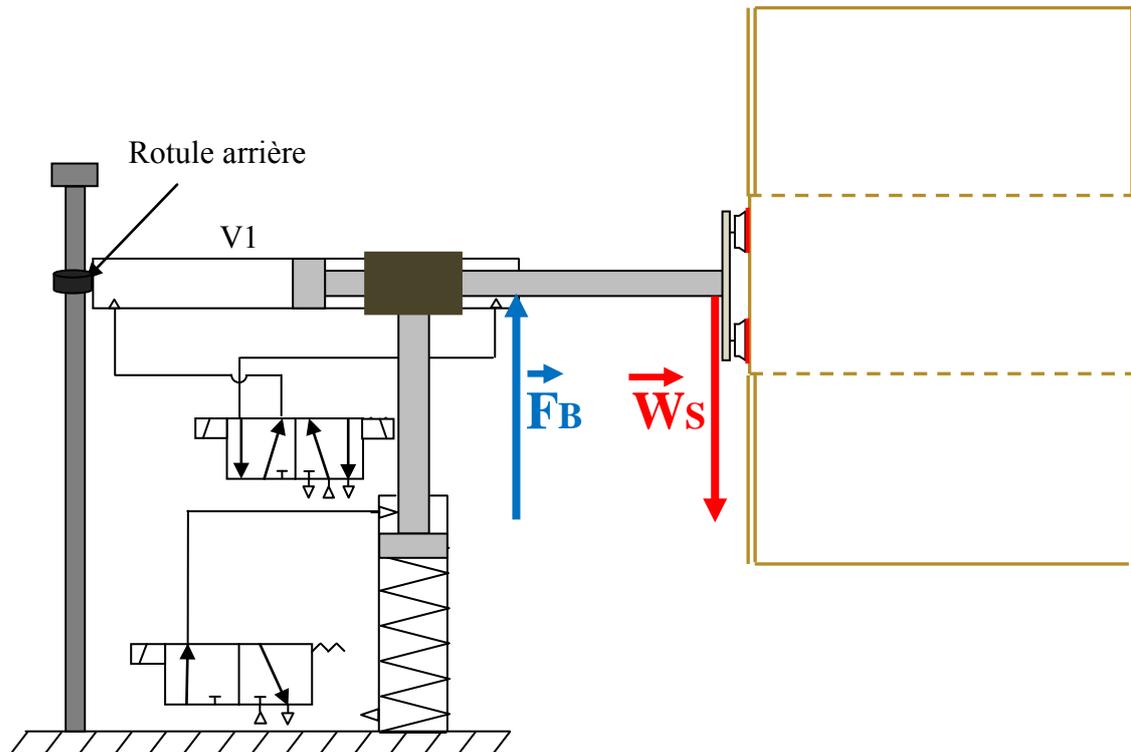


Figure 4.2 : Les forces exercées sur le vérin V1 (vue de face)

Le vérin V1 supporte la masse du carton (0,5 kg), celle des quatre ventouses (4 X 0,05 kg) et celle du support de ces dernières (0,1 kg).

La masse totale sera alors : $m = 0,8 \text{ kg}$

$$W_s = P = m \cdot g \quad (6)$$

$$W_s = 7,848 \text{ N}$$

Pour différents diamètres de pistons des vérins commercialisés (tableau 2 de l'annexe) et après calculs, le diamètre adéquat du piston du vérin V1 est de 63 mm :

En se référant au tableau 4.1 de l'annexe : $L_1 = 43 \text{ mm}$ et $L_2 = 71 + 350 = 421 \text{ mm}$.

$$F_B = 7,848 \cdot \left(1 + \frac{421}{43}\right) = 84,7 \text{ N}$$

D'après le même tableau 4.1, la charge maximale sur le palier est $F_{B(\max)} = 155 \text{ N}$ (Ce vérin supportera donc la charge sans flexion puisque $F_B < F_{B(\max)}$).

D'après le tableau 2 de l'annexe :

Le diamètre du piston du vérin est $D=63 \text{ mm}$.

Le diamètre de la tige du vérin est $d=20 \text{ mm}$.

L'effort développé par le vérin V1 à l'entrée de la tige est :

$$F = p \cdot S \cdot tc \quad (7)$$

p : La pression de service ($p = 6 \text{ bar}$),

S : La surface effective (en cm^2),

tc : Le aux de charge ($tc = 0,6$).

$$S = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2) = 28 \text{ cm}^2$$

$$F = 100,8 \text{ daN} = 1008 \text{ N}$$

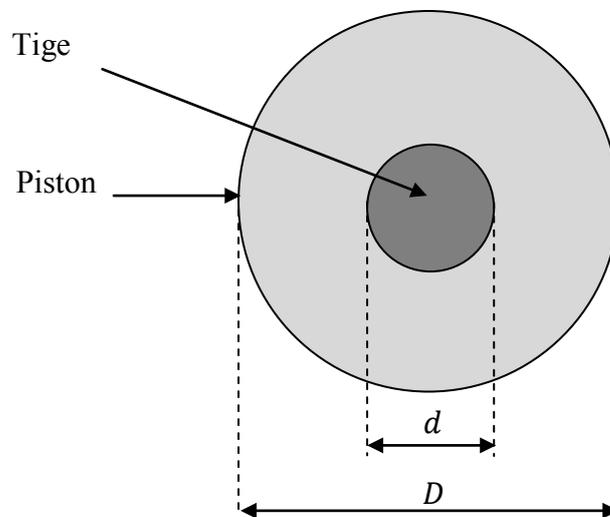


Figure 4.3 : Diamètres de la tige et du piston d'un vérin

Remarque : Les forces de frottements que présente l'air sont négligeables devant la force F que développe le vérin V1.

- Pour le vérin V2 : vérin simple effet (VSE)

La course du vérin V2 est de 150 *mm*.

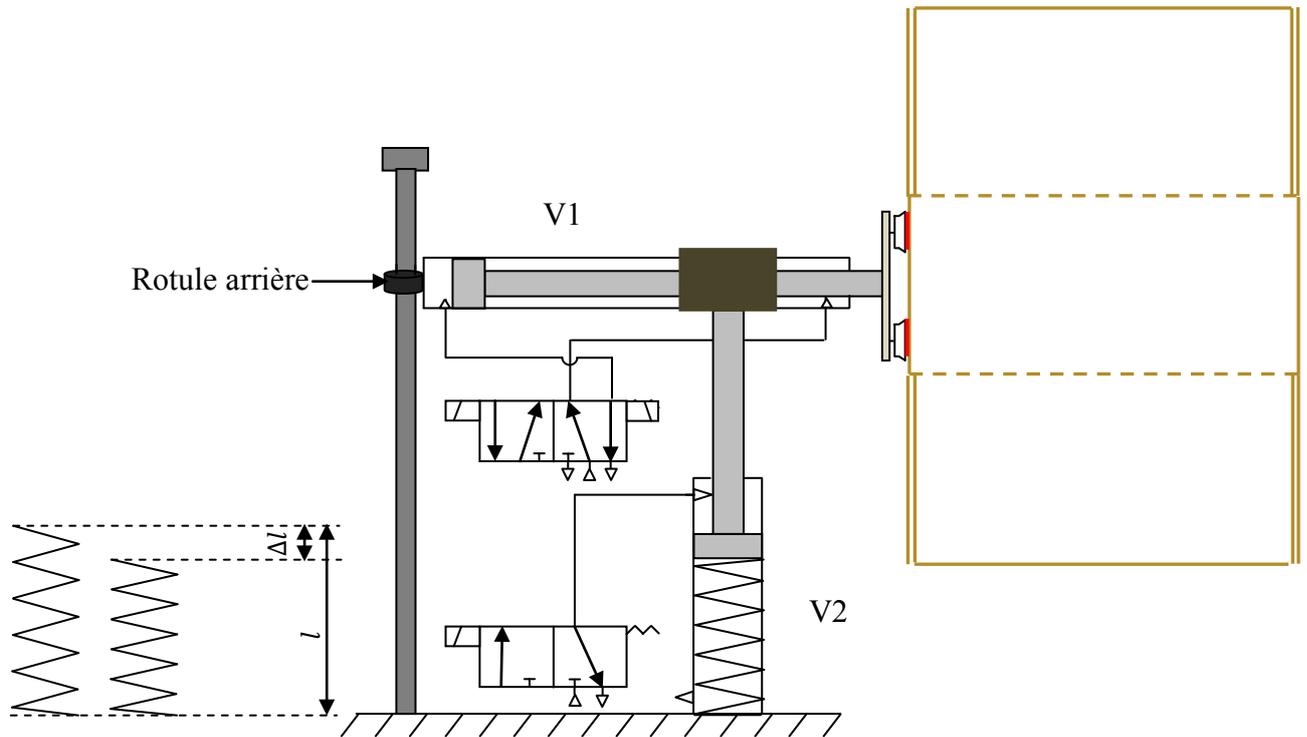


Figure 4.4 : Compression du ressort du vérin V2

Cherchons la raideur «*r*» du ressort du vérin V2, qui assure une compression quasiment nulle ($\Delta l = 0,001 \text{ m}$) lorsqu'il sera soumis à supporter les poids du vérin V1, la bride de fixation, le carton, les quatre ventouses avec leur support et la tige du vérin V2.

- A l'équilibre :

$$P = r \cdot \Delta l \quad (8)$$

Δl : Le rétrécissement du ressort à l'équilibre du système.

D'après les équations (6) et (8)

$$r = 22,56 \text{ N/mm}$$

- A la dynamique du système :

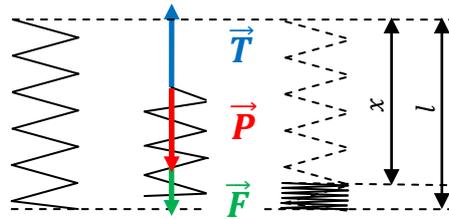


Figure 4.5 : Différentes forces appliquées au ressort

Afin de permettre à la tige du vérin V2 de rentrer (descendre), il faut avoir :

$$F + P > T \quad (9)$$

La tension T est donnée par :

$$T = r \cdot x \quad (10)$$

x : Rétrécissement du ressort au cours de la dynamique du système.

D'après les équations (6), (7) et (10) :

$$S > \frac{r \cdot x - m \cdot g}{p \cdot tc} \quad (11)$$

$$S > 93,38 \text{ cm}^2$$

Après calculs :

Le diamètre du piston du vérin est de 125 mm.

Le diamètre de la tige du vérin est de 30 mm.

4.2. Vérification de la résistance du vérin choisis au flambage [8]

Sous l'action d'une charge axiale la tige du vérin est sollicitée au flambage.

Le vérin V2 est soumis à ce phénomène car il supporte le poids du vérin V1, la bride, le carton et les quatre ventouses avec leur support.

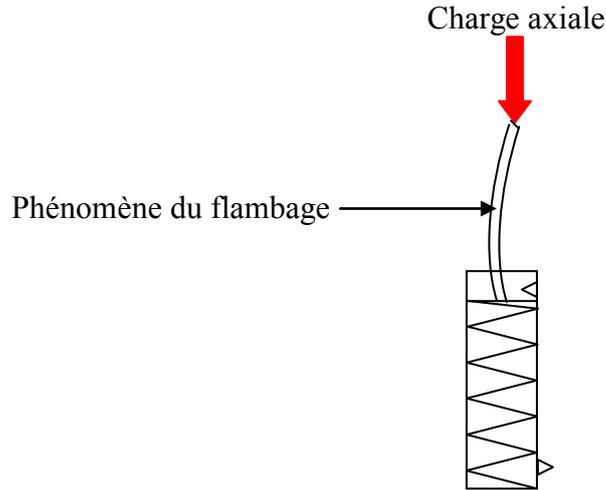


Figure 4.6 : Flambage de la tige du vérin sous l'effet de la charge axiale

Le diamètre de la tige du vérin V2 (30 mm) est acceptable car elle ne représente pas de risque de flambage, et ce, en se référant à l'abaque de dimensionnement et choix des vérins (figure 4.7).

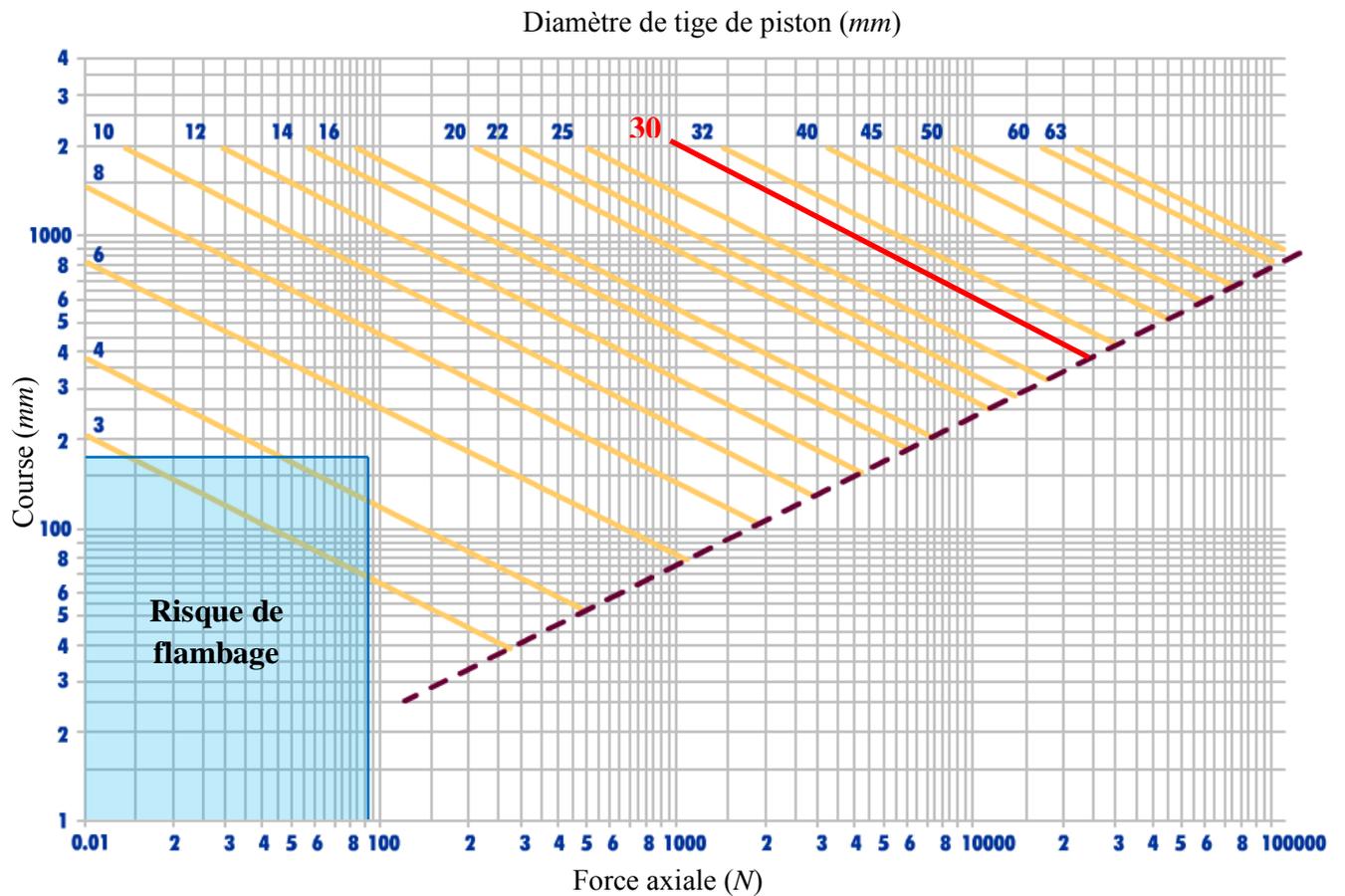


Figure 4.7 : Vérification des choix des vérins

- Pour le vérin V3 : vérin rotatif.

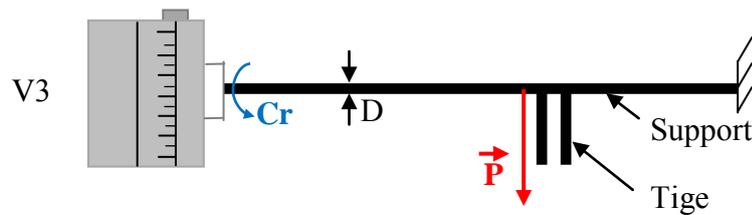


Figure 4.8 : Dispositif de fermeture par dessous des petites ailettes du carton

Le couple résistant que développe l'arbre du vérin V3 peut être calculé comme suit :

$$Cr = F \cdot \frac{D}{2} \quad (12)$$

F : Représente le poids des tiges avec leurs supports, ($P = m \cdot g$),

D : Le diamètre de l'arbre du vérin V3 ($D = 10 \text{ mm}$).

La masse m est la masse des tiges avec leurs supports estimée à $0,4 \text{ kg}$.

$$Cr = 0,02 \text{ N.m}$$

Les forces de frottements que présentent les courroies et les engrenages peuvent être négligés devant la force F .

- Pour le vérin V4 : vérin rotatif.

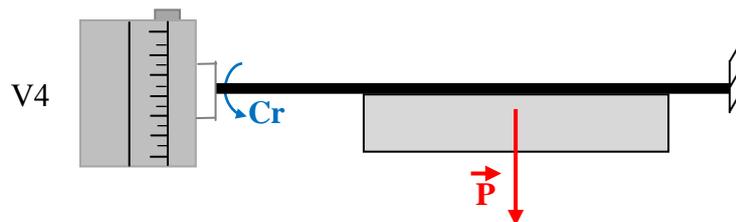


Figure 4.9 : Dispositif de fermeture par dessous des grandes ailettes du carton

Le couple résistant que développe l'arbre du vérin V4 peut être calculé en appliquant l'équation (12) :

F : Représente le poids des deux plaquettes avec leurs supports, ($P = m \cdot g$),

D : Le diamètre de l'arbre du vérin V4 ($D = 10 \text{ mm}$).

La masse m est la masse des deux plaquettes avec leurs supports estimée à $0,8 \text{ kg}$.

$$Cr = 0,04 \text{ N.m}$$

Les forces de frottements que présentent les courroies et les engrenages peuvent être négligés devant la force F .

- Pour le vérin V5 : vérin simple effet (VSE).

La course du vérin V5 est de 500 *mm*.

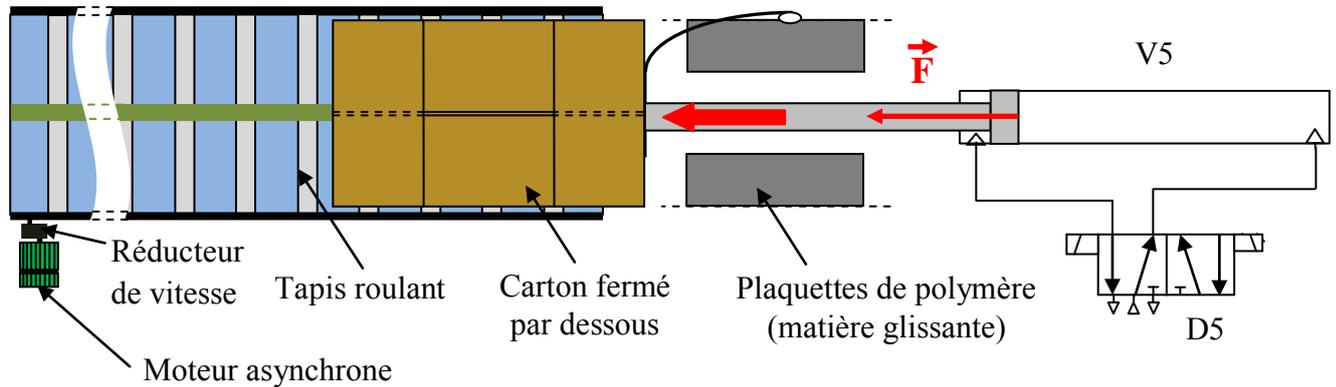


Figure 4.10 : Dispositif de l'évacuation du carton vers le tapis roulant (vue de haut)

Les frottements que développent les plaquettes supportant le carton étant faibles puisqu'elles sont d'une matière glissante (polymère).

- Pour le vérin V6 : vérin d'arrêt simple effet (VSE).

La course du vérin V6 est de 30 *mm*.



Figure 4.11 : Vérin d'arrêt vertical avec tige de piston à arrêt direct de marque Parker

Les vérins d'arrêt sont en deux catégories en industrie : horizontaux et verticaux. Pour de faibles masses à arrêter (comme dans notre cas), les vérins verticaux sont utilisés, mais pour des masses importantes (jusqu'à 8750 kg) on fait appel aux vérins horizontaux. La course des vérins d'arrêt commercialisés varie de 3 à 5 cm [19].

Les constructeurs des éléments technologiques (FESTO, Schneider, Parker, Trepko ...) proposent des modèles de vérins d'arrêt presque identiques puisqu'ils sont simples dans leur construction.

Suivant le besoin, on peut utiliser des vérins d'arrêt simple effet ou double effet.

Dans le but de bien choisir le vérin d'arrêt adéquat, un simple calcul permet d'avoir la force F que ce dernier doit supporter. La vitesse du déplacement de la charge (carton vide) sur le tapis roulant ainsi que son poids imposent cette force F et qui peut être calculée comme suit :

$$Ec = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad (13)$$

Ec : Energie cinétique du carton charge en déplacement (*Joules*),

m : Masse du carton vide ($m = 0,5 \text{ kg}$),

v : Vitesse de convoyage du tapis roulant ($v = 2 \text{ m/s}$).

$$Ec = 1 \text{ J}$$

$$Ec = F \cdot d \quad (14)$$

F : Force développée par le carton vide en mouvement (N),

d : Distance de parcours qu'effectue le carton chargé ($D = 2 \text{ m}$),

$$F = 0,5 \text{ N}$$

- Pour le vérin V7 : vérin double effet (VDE).

La course du vérin V7 est de 310 mm.

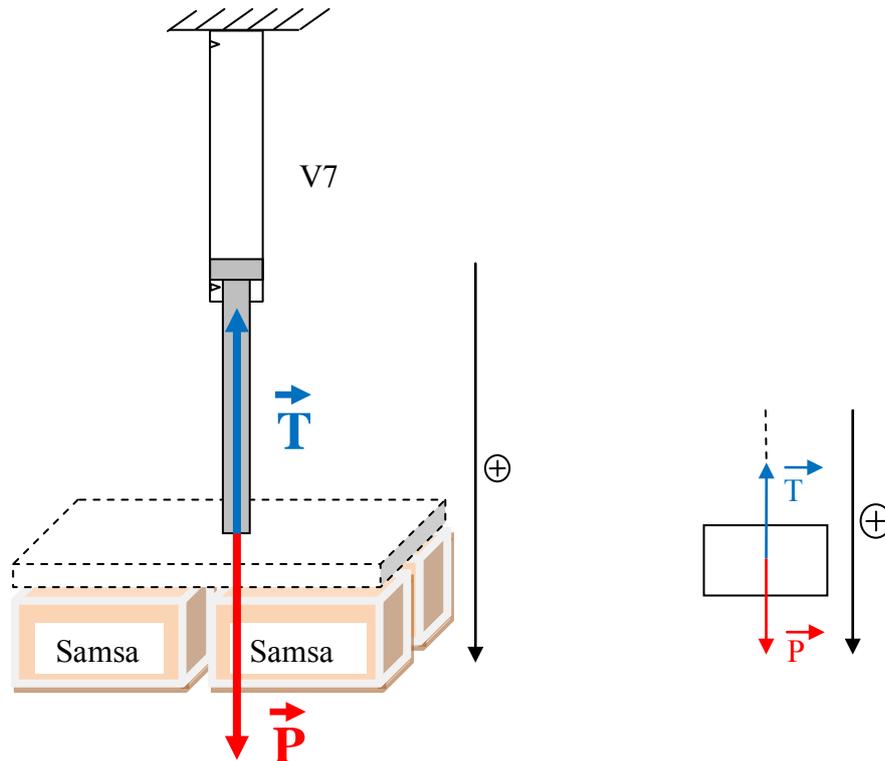


Figure 4.12 : Les forces que supporte le vérin V7 à l'équilibre

- A l'équilibre :

$$\vec{P} + \vec{T} = \vec{0}$$

La projection des forces sur la verticale orientée vers le bas donne :

$$P - T = 0$$

Donc : $P = T$

m : Masse des pots de margarine (4 X 1,8 kg), de la tige du vérin V7 (0,3 kg), des ventouses (4 X 0,05 kg) et de leur support (0,1 kg).

$$m = 7,8 \text{ kg}$$

$$P = m \cdot g = 76,5 \text{ N} = 7,65 \text{ daN}$$

Pour pouvoir déplacer les pots vers le haut, F doit être supérieur à P , ($F > P$).

D'après l'équation (7),

$$S > 2,125 \text{ cm}^2$$

En se référant au tableau 2 de l'annexe :

Le diamètre du piston du vérin est de 25 mm.

Le diamètre de la tige du vérin est de 12 mm.

- Pour le vérin V8 : vérin simple effet (VSE).

La course du vérin V8 est de 400 mm.

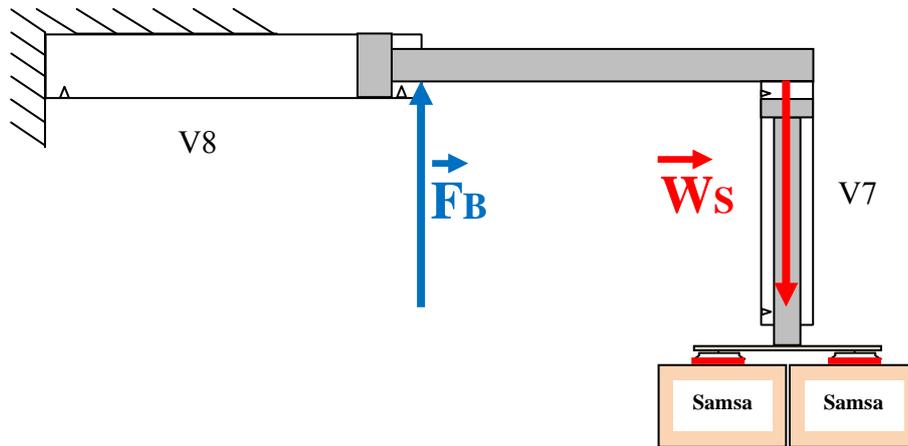


Figure 4.13 : Les forces exercées sur le vérin V8 (vue de face)

Le vérin V8 supporte la masse du vérin V7 (1 kg), celle des quatre ventouses (4 X 0,05 kg), celle du support de ces dernières (0,1 kg) et celle des quatre pots de margarine (4 X 1,8 kg). La masse totale sera alors : $m = 8,5 \text{ kg}$.

En appliquant l'équation (6) :

$$W_s = 83,38 \text{ N}$$

Pour différents diamètres de pistons des vérins commercialisés (tableau 2 de l'annexe) et après calculs, le diamètre adéquat du piston du vérin V8 est de 160 mm et en appliquant l'équation (5) :

$$F_B = 530 \text{ N}$$

D'après le tableau 1 de l'annexe, la charge maximale sur le palier est $F_{B(\max)} = 1005 \text{ N}$ (Ce vérin supportera la charge sans flexion car : $F_B < F_{B(\max)}$).

D'après le tableau 2 de l'annexe :

Le diamètre du piston du vérin est $D=160 \text{ mm}$.

Le diamètre de la tige du vérin est $d=40 \text{ mm}$.

L'effort développé par le vérin V8 à la sortie de la tige est calculé en appliquant l'équation (7) :

p : La pression de service ($p = 6 \text{ bar}$),

S : La surface effective (en cm^2),

t_c : Le aux de charge ($t_c = 0,6$).

$$S = \frac{\pi}{4} D^2 \quad (15)$$

$$S = 201 \text{ cm}^2$$

$$F = 724 \text{ daN} = 7240 \text{ N}$$

4.3. Choix des vérins commercialisés

Plusieurs constructeurs proposent chacun des produits commercialisés, le fabricant FESTO illustre dans des catalogues publiés sur son site internet officiel une multitude de choix de vérins normalisés et commercialisés. Le tableau ci-après représente les références et les principales caractéristiques des différents vérins adéquats à utiliser pour réaliser le système automatisé étudié.

Vérin	Type	Code de commande chez la firme industrielle FESTO	∅ du piston (mm)	Force impulsive (N)	Course (mm)	remarque
V1	VDE	DNC-63-350-P	63	1870	350	Avec amortissement pneumatique
V2	VSE	-	125	441	150	Sur commande
V3	VR	DSR-10-90P	-	Couple : 0,5 Nm	90°	Vérin rotatif
V4	VR	DSR-10-90P	-	Couple : 0,5 Nm	90°	Vérin rotatif
V5	VDE	DNC-63-400-P	63	1870	350	Sans amortissement pneumatique
V6	VSE	STA-50-30-P-A	50	2900	30	Avec capteur de proximité
V7	VDE	CRDNG-80-310-PPV-A-S2	80	735	310	Avec amortissement pneumatique
V8	VDE	DNG-160-400-PPV-A	160	12064	400	Avec amortissement pneumatique
Muscle Pneumatique		DSMP-10-600	40	Force de poussée : 600 N	Longueur 600	-

Tableau 4.1 : Références et principales caractéristiques des différents vérins FESTO à utiliser

4.4. Vitesse des vérins

Après avoir effectué tous les calculs nécessaires pour dimensionner les vérins à utiliser, on s'intéresse au calcul de leurs vitesses. Il n'existe pas de formule simple nous permettant de calculer la vitesse exacte de déplacement d'un vérin, ceci parce que beaucoup de facteurs influencent sur cette vitesse, à savoir:

- la grandeur des orifices du vérin ;
- le passage et la longueur des canalisations ;
- le débit du distributeur en l/min ;
- les limiteurs de débit éventuels.

Nous mentionnons ci-après une formule approximative donnant la vitesse des vérins en fonction du débit pneumatique et la surface du piston :

$$V_{max} = 2 \cdot \frac{Q}{S} \quad (16)$$

V_{max} : Vitesse hors charge en (cm/s) ,

S : Surface du piston (cm^2) ,

Q : Débit du distributeur en l/min mesuré avec une pression d'entrée (service) de 6 bar [20].

Et comme la vitesse de sortie des tiges des vérins est proportionnelle au débit pneumatique disponible suivant l'équation (16), on doit choisir des distributeurs qui répondent aux exigences (débit nominal donné en l/min).

D'après le progiciel DGC Quickcalc version 1.2.0.0 de la firme FESTO, la vitesse maximale que peut atteindre un vérin pneumatique normalisé est de 3 m/s , mais il reste à signaler qu'une telle vitesse peut user prématurément le matériel et pour la sécurité de ce dernier on va opter pour une vitesse maximale de 2 m/s .

4.4.1. Régulation de vitesse sur des vérins pneumatiques [21] :

La vitesse d'un vérin pneumatique dépend de sa charge (figure 4.14), la figure nous apprend à titre d'exemple qu'un vérin atteint 80 % de sa vitesse maximale quand on le charge à 40 %.

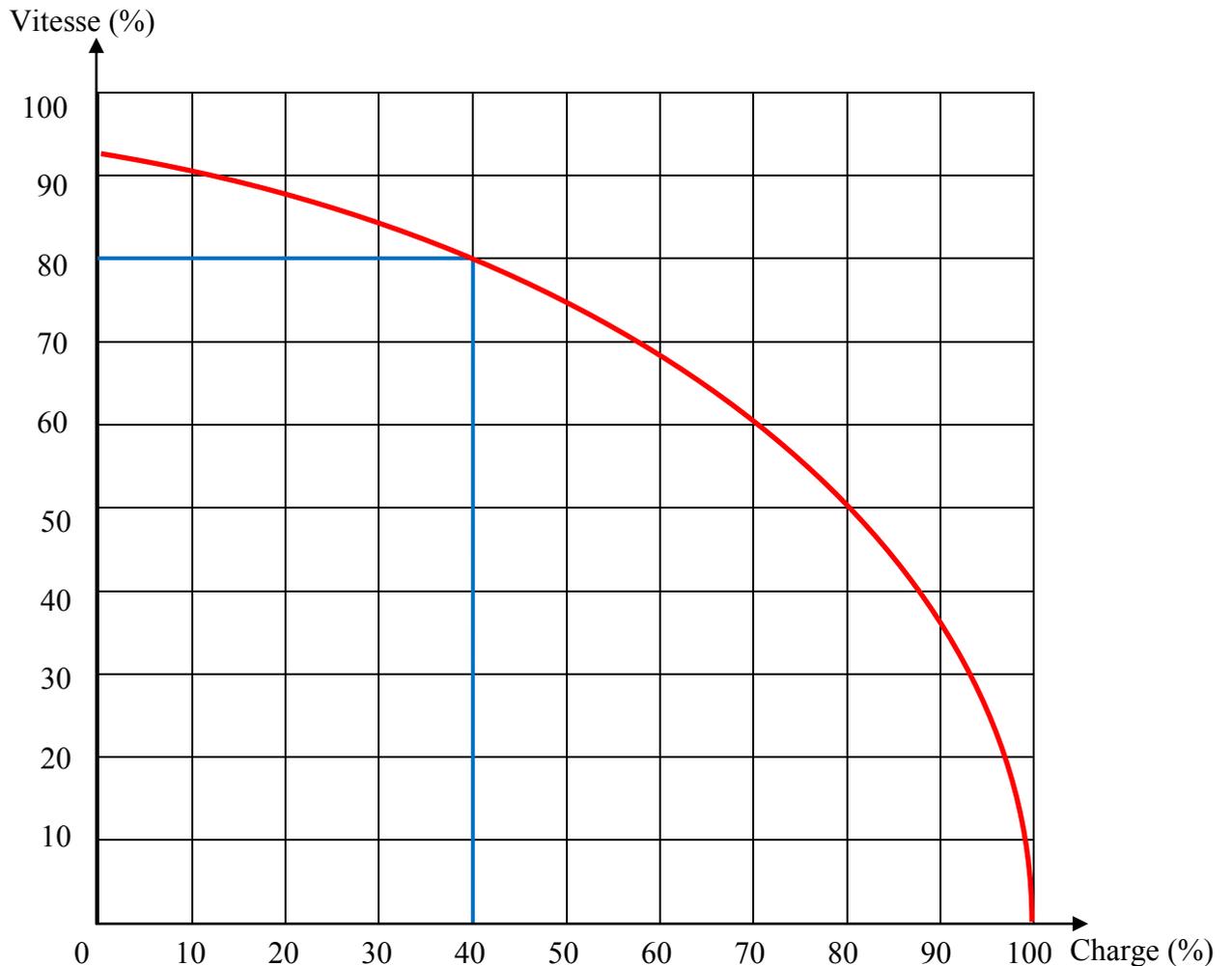


Figure 4.14 : La vitesse d'un vérin (%) en fonction de sa charge (%)

La vitesse d'un vérin pneumatique diminue donc au fur et à mesure qu'on augmente sa charge. Si on veut maintenir la vitesse d'un vérin constante, il est important de maintenir la charge constante.

4.4.2. Vérification de l'influence de la charge sur la vitesse des vérins choisis :**Le vérin V1 :**

La charge appliquée sur le vérin V1 est de 8 N et la force développée par ce dernier est de 615 N.

$$F_B = 84,7 \text{ N}$$

$$F_{B \text{ max}} = 155 \text{ N}$$

Le vérin V1 est chargé à :

$$\text{Charge}(\%) = \frac{F_B \cdot 100}{F_{B \text{ max}}}$$

$$\text{Charge}(\%) = \frac{84,7 \cdot 100}{155}$$

$$\text{Charge}(\%) = 54,6 \%$$

D'après la figure 4.14, le pourcentage de la vitesse que peut atteindre le vérin V1 de sa vitesse maximale (2 m/s) est :

$$V(\%) = 77 \%$$

Les pourcentages des vitesses des autres vérins en charge sont calculés de la même manière, les résultats de ces calculs sont donnés dans le tableau suivant :

	V1 (63 mm)	V2 (125 mm)	V5 (50 mm)	V7 (80 mm)	V8 (160 mm)
Charge (% de la charge maximale)	54,6	70	0,8	4,34	52
Vitesse (% de Vmax)	77	60	99	96	75

Tableau 4.2 : Charges et vitesses (en %) des vérins choisis

4.5. Dimensionnement des distributeurs

Prenons le distributeur D1 du vérin V1 :

D'après l'équation (16) :

$$Q = 0,00196 \text{ m}^3/\text{s} = 1,96 \text{ l/s} = 117,71 \text{ l/min}$$

Les débits des autres distributeurs sont calculés de la même manière, les résultats de ces calculs sont donnés dans le tableau 4.3 suivant :

Distributeur	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8
Débit Q (l/min)	168,9	736	1300	1300	168,9	150	300	736

Tableau 4.3 : Débits des différents distributeurs choisis

4.6. Choix des distributeurs commercialisés

Comme les vérins pneumatiques commercialisés, les distributeurs ont leur part dans le marché. La même firme FESTO, illustre un large choix de distributeurs commercialisés et normalisés sur son site internet officiel, et le tableau suivant (tableau 4.4) montre les références et les principales caractéristique des distributeurs adéquats à utiliser dans notre installation.

Distributeur	Type	Code de commande chez la firme industrielle FESTO	Débit maximal supporté Q (l/min)
D1	5/2 monostable	VMPA1-M1H-M-PI	360
D2	3/2 monostable	V0FC-L-M32C-MC-G14-F9-A	900
D3	5/2 bistable	CPE-MIH-5JS	1300
D4	5/2 bistable	CPE-MIH-5JS	1300
D5	5/2 monostable	VMPA1-M1H-M-PI	360
D6	3/2 monostable	VMPA1-M1H-X-PI	255
D7	5/2 bistable	VOFC-L-B52-FG14-F9-A	750
D8	5/2 bistable	CPE-MIH-5JS	1300
DMP	3/2 bistable	VMPA1-M1H-X-PI	255

Tableau 4.4 : Références et principales caractéristiques des différents distributeurs FESTO à utiliser

Réducteur de débit unidirectionnel

Le choix d'un distributeur nous mène au choix d'un limiteur de débit unidirectionnel adéquat. Un réducteur de débit unidirectionnel est constitué de l'association d'un clapet anti-retour et d'une restriction réglable (limiteur de débit).

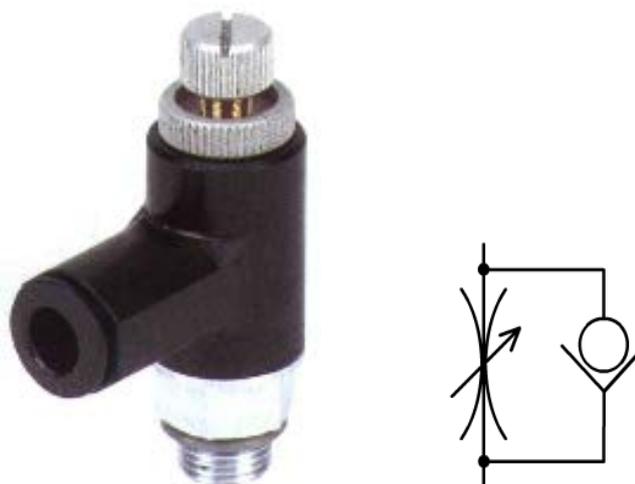


Figure 4.15 : Réducteur de débit unidirectionnel

4.7. Choix des limiteurs de débit commercialisés

La firme FESTO comme d'autres firmes de développement d'éléments technologiques propose différents modèles de limiteurs de débit selon les distributeurs à utiliser, le tableau 4.5 illustre les codes de commande de ces limiteurs de débit chez cette firme avec leurs principales caractéristiques.

Limiteur de débit	Code de commande chez la firme industrielle FESTO	Débit maximal supporté Q (l/min)	Etranglement
L1	GRLA-1/4-QS-6-D	400	Vis à tête fondue
L2	GRLA-3/8-QS-10-RS-D	900	Vis à tête fondue
L3	GRLA-3/8-B	1450	Vis à tête fondue
L4	GRLA-3/8-B	1450	Vis à tête fondue
L5	GRLA-1/4-QS-6-D	400	Vis à tête fondue
L6	GRXA-HG-1/4-QS-8	280	Vis à tête fondue
L7	GRLA-3/8-QS-10-RS-D	900	Vis à tête fondue
L8	GRLA-3/8-B	1450	Vis à tête fondue

Tableau 4.5 : Références et principales caractéristiques des limiteurs de débit FESTO à utiliser

4.8. Dimensionnement du moteur et du réducteur du tapis roulant :

Le moteur du tapis roulant doit être dimensionné afin d'assurer un bon fonctionnement de ce dernier.

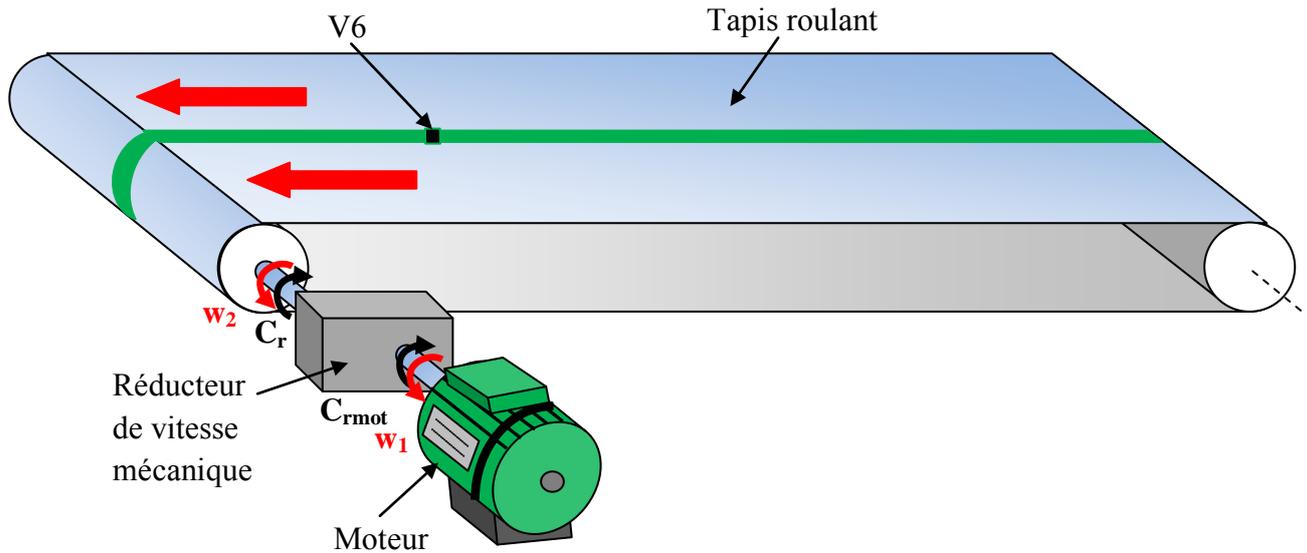


Figure 4.16 : Moteur et réducteur de vitesse mécanique du tapis roulant

Le rapport de réduction est : $i = 10$

La vitesse maximale du convoyage est : $v = 2 \text{ m/s}$

Le diamètre du tambour utilisé est : $D = 0,15 \text{ m}$

$$v = w_2 \cdot \frac{D}{2} \quad (17)$$

$$w_2 = 26,66 \text{ rad/s} = 254,6 \text{ tr/min}$$

$$w_1 = w_2 \cdot i \quad (18)$$

$$w_1 = 2546 \text{ tr/min}$$

Le coefficient de frottement statique entre la poulie et le tapis roulant est : $\mu_s = 0,3$.

$$\mu_s = \frac{F_{s \max}}{P} \quad (19)$$

$F_{s \max}$: Force maximale de frottement.

$$F_{s \max} = 53 \text{ N}$$

- Le couple résistant de la charge à la sortie du réducteur est :

$$Cr = F_{s \max} \cdot \frac{D}{2} \quad (20)$$

$$Cr = 3,97 \text{ N.m}$$

- Le rendement du réducteur est :

$$\eta = 0,9$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \quad (21)$$

$$\eta = \frac{Cr \cdot w_2}{Cr \text{ ramenee} \cdot w_1}$$

$$Crmot = \frac{Cr}{\eta \cdot i} \quad (22)$$

$$Crmot = 0,44 \text{ N.m}$$

Suivant la norme CEI 34-1, l'équation (19) et l'équation (22), le moteur qui répond aux exigences est de type : LS 63 M [22].

4.9. Vérification du moteur choisit au démarrage et au régime établi

D'après le principe de la conservation de l'énergie mécanique :

Energie cinétique de translation = Energie cinétique de rotation

$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot j_{ch} \cdot w_2^2 \quad (23)$$

v : La vitesse linéaire.

j_{ch} : Le moment d'inertie de l'arbre du réducteur.

$$j_{ch} = m \cdot \frac{\left(\frac{D}{2} \cdot w_2\right)^2}{w_2^2} = m \cdot \frac{D^2}{4} \quad (24)$$

$$j_{ch} = 0,1 \text{ kg.m}^2$$

Le moment d'inertie de la charge ramenée à l'arbre du moteur est :

$$\frac{1}{2} \cdot j_{ch} \cdot w_2^2 = \frac{1}{2} \cdot j_{ch \text{ ramenee}} \cdot w_1^2 \cdot \eta \quad (25)$$

$$j_{ch \text{ ramenee}} = \frac{j_{ch}}{i^2 \cdot \eta}$$

$$j_{ch \text{ ramenee}} = 0,00112 \text{ kg.m}^2$$

$$j_{tot} = j_{mot} + j_{ch \text{ ramenee}} \quad (26)$$

$$j_{tot} = 0,00131 \text{ kg.m}^2$$

4.9.1. Vérification du moteur au démarrage :

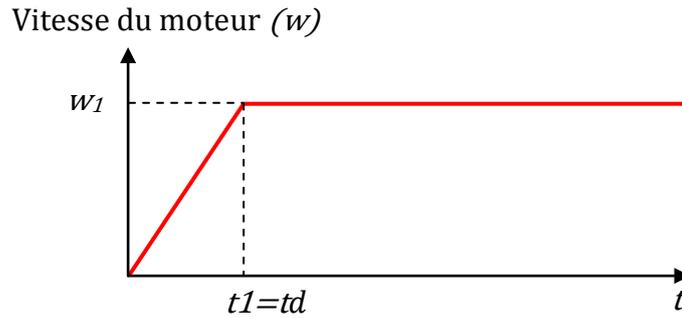


Figure 4.17 : Evolution de la vitesse angulaire w en fonction du temps

$$Ca\ ch = j_{tot} \cdot \frac{dw}{dt} \tag{27}$$

dw : Variation de la vitesse angulaire

dt : Variation dans le temps

$$Ca\ ch = 0,00131 \cdot \frac{2547 \cdot \frac{2 \cdot \pi}{60}}{0,5}$$

$$Ca\ ch = 0,698\ N.m$$

Le couple de charge du moteur est donné par [22] :

$$Ca\ mot = \frac{Cn + 2 \cdot Cm + 2 \cdot CM + Cd}{6} - Crmot \tag{28}$$

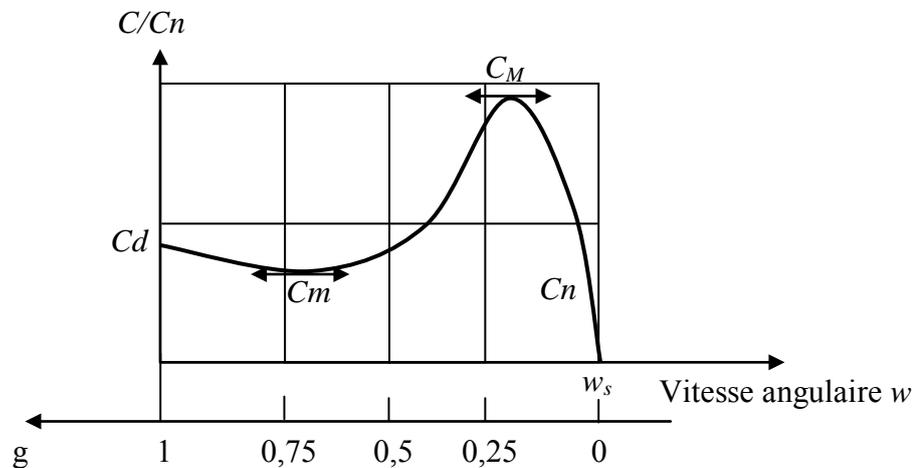


Figure 4.18 : Couple accélérateur moyen développé par le moteur

C_n : Couple nominal,

w_s : vitesse de synchronisme,

C_m : Couple d'accrochage,

C_M : Couple maximal,

C_d : Couple de démarrage,

C_{rmot} : Couple résistant moteur.

$$C_{a\ mot} = 0,92\ N.m$$

$C_{a\ mot} > C_{a\ ch}$: Le moteur est bon au démarrage.

4.9.2. Vérification du moteur au régime établie :

$$C_n > C_{rmot}$$

$$\text{Avec : } C_n = 0,3\ N.m, \quad C_{rmot} = 0,2\ N.m$$

Le tableau 4.6 illustre les principales caractéristiques du moteur à utiliser.

Type (moteur asynchrone triphase)	puissance nominale à 50Hz ($P_N\ kW$)	Vitesse nominale ($N_N\ min^{-1}$)	Couple nominal ($C_N\ N.m$)	Couple démarrage/Couple nominal (C_D/C_N)	Couple maximal/Couple nominal (C_M/C_N)	Moment d'inertie ($J\ kg.m^2$)
LS 63 M	0,18	2790	0,6	3,4	3	0,00019

Tableau 4.6 : Principales caractéristiques du moteur à utiliser

4.10. Simulation online sur le site officiel FESTO

Afin de faire une meilleure approximation de la durée d'exécution d'un cycle, il faut calculer le temps que prend le vérin pour se positionner (en sortie ou en entrée), en prenant en considération l'amortisseur de fin de course pneumatique qui a une influence sur ce temps. Cette simulation permet également de présenter l'évolution de la vitesse, l'accélération et la pression en fonction du temps.

Les figures suivantes (19 a, b, c, d, e) présentent les différentes étapes de la simulation du vérin V1 sur le site internet officiel de la firme FESTO (disponible uniquement online) et qui donne aussi les types des éléments constituant l'ensemble du système (vérin, électro-distributeur, limiteur de débit...).

1. Paramètres système 2. Sélection des vérins 3. Système 4. Simulation 5. Nomenclature

Paramètres système - Base de la sélection

[Suivant >](#)

temps de positionnement attendu je voudrais obtenir ce temps de positionnement : 0,5 s

..avec réducteur de débit unidirectionnel

Paramétrages de base vérin

Course requise 400 mm

Angle de montage 0 deg

Sens de déplacement sortir rentrer

Alimentation pneumatique

Pression de service 6 bar

Unité de conditionnement > Distributeur

Longueur de tuyau Distributeur 1 m

Distributeur > Vérin 1 m

Paramètres de charge

Masse déplacée 7,5 kg

Force impulsive supplémentaire 0 N

Force de friction supplémentaire 0 N

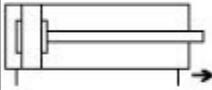


Figure 4.19 : a. Simulation online : Paramètres système

1. Paramètres système 2. Sélection des vérins 3. Système 4. Simulation 5. Nomenclature

Conceptions de vérin Festo - Actionneurs pour toutes les applications

Uniquement amortisseur de fin de course pneumatique ajustable(PPV)

Uniquement vérins sans tige

Uniquement tige de piston traversante (exécution spéciale S2)

Uniquement anti-rotation

Seulement en Course requise 400 [mm]

Seulement en Longueur de course variable

Alésage sélectionné 160

[< Précédent](#) [Suivant >](#)

Pièces trouvées [1] Afficher 10

Type	N° de pièce	Raccord	Course [mm]
 DNG-160-400-PPV-A	33024	3/4	10..2000

Figure 4.19 : b. Simulation online : Sélection des vérins

1. Paramètres système 2. Sélection des vérins 3. **Système** 4. Simulation 5. Nomenclature

Simulation du système et optimisation des résultats

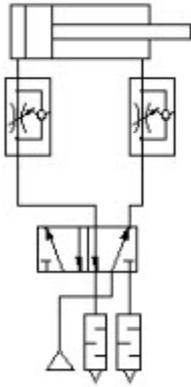
Cliquez sur le code de type ou le symbole du composant que vous voulez sélectionner/modifier

Actionneur	DNC-63-350-P
<input type="checkbox"/> Amortisseur	
Réducteur de débit unidirectionnel	GRLA-3/8-QS-10-D
Tuyau [vérin > distributeur]	PAN-V0-10x1,25-BL (1 m)
Distributeur	MFH-5-1/2
Tuyau [source > distributeur]	PAN-V0-12x1,5-BL (1 m)
Silencieux	U -1/2

Pression de service: bar

Sens de déplacement: sortir rentrer

Débit: 12 Tours ouvert



< Précédent Simulation...

Figure 4.19 : c. Simulation online : Système

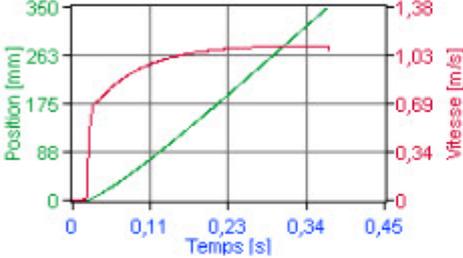
1. Paramètres système 2. Sélection des vérins 3. Système 4. **Simulation** 5. Nomenclature

GSED Résultat de la simulation

Imprimer

< Précédent Suivant >

Diagramme des phases/vitesses/temps



Temps de positionnement total	0.37 s
Vitesse moyenne	0.95 m/s
Vitesse d'impact	1.08 m/s
Vitesse max.	1.10 m/s
Energie cinétique d'impact	0.97 J
Consommation d'air minimale	7.04 l

Pression/Accélération/Diagramme des temps

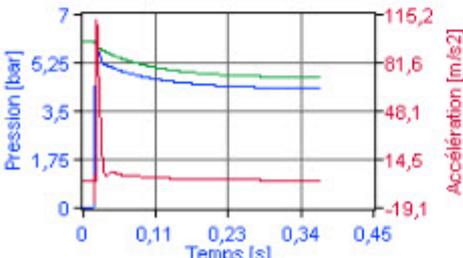


Figure 4.19 : d. Simulation online : Simulation

1. Paramètres système					2. Sélection des vérins					3. Système					4. Simulation					5. Nomenclature				
<h1>Nomenclature</h1>																								
															Mettre dans le panier					Imprimer				
<input type="checkbox"/>	Type	Désignation d'article		N° de pièce																				
<input type="checkbox"/>	 <input type="checkbox"/> DNC-63-350-P	Vérin normalisé		163398		W																		
<input type="checkbox"/>	 <input type="checkbox"/> GRLA-3/8-QS-10-D	Limiteur de débit unidirectionnel		193151		S																		
<input type="checkbox"/>	 <input type="checkbox"/> PAN-V0-10x1,25-BL	Tuyau plastique		525468		S																		
<input type="checkbox"/>	 <input type="checkbox"/> QS-1/2-10	Raccord enfichable		190846		S																		
<input type="checkbox"/>	 <input type="checkbox"/> MFH-5-1/2	Electrodistributeur		6420		S																		
<input type="checkbox"/>	 <input type="checkbox"/> U-1/2	Silencieux		2310		S																		
<input type="checkbox"/>	 <input type="checkbox"/> QS-1/2-12	Raccord enfichable		153010		S																		
<input type="checkbox"/>	 <input type="checkbox"/> PAN-V0-12x1,5-BL	Tuyau plastique		525469		S																		
< Précédent															Fermer									

Figure 4.19 : e. Simulation online : Nomenclature

Résultat : Après simulation des autres vérins, il s'avère que le temps de l'exécution d'un cycle complet (chargement des quatre pots) ne prend que quatre (04) secondes.

Conclusion

Dans ce chapitre, on a pu dimensionner les différents éléments utilisés (vérins, distributeurs, moteur et réducteur de vitesse), puis dresser une liste de ces derniers et qui ont été utilisés dans l'étude en vue de la réalisation de l'automatisme en donnant les principales caractéristiques de chacun d'entre eux avec son code de commande chez la firme industrielle FESTO (vérins, distributeurs et limiteurs de débit), cette même firme propose une simulation online de ses éléments industriels et qui permet d'avoir la durée d'exécution d'un cycle, l'évolution des grandeurs de la vitesse, l'accélération et la pression en fonction du temps et qui donne aussi les types des éléments constituant l'ensemble du système (vérin, électro-distributeur, limiteur de débit...). Dans le chapitre qui suit, on propose l'automatisation de l'ensemble.

CHAPITRE 5 :

AUTOMATISATION ET GRAFCET

Introduction

Après le dimensionnement de tout les éléments technologiques choisis, il faut gérer leurs fonctionnement de manière séquentielle et organisée, pour cela, il faut automatiser tout le système à l'aide d'un cerveau (API) demandant un programme à implémenter dedans, et ce, après avoir utilisé une méthode d'analyse fonctionnelle (le GRAFCET).

5.1. Système automatisé

L'automatisation d'une production consiste à transférer l'ensemble des tâches de commande et de surveillance, réalisé par des opérateurs humains, dans un ensemble d'objets techniques appelé partie commande (PC), cette dernière mémorise le savoir-faire des opérateurs, pour obtenir l'ensemble des actions à effectuer sur la matière d'oeuvre, afin d'élaborer le produit final.

Objectifs de l'automatisation : L'automatisation permet :

- d'accroître la productivité du système, c'est-à-dire, augmenté la quantité de produits fabriqués pendant une durée donnée.
- d'éliminer certaines tâches manuelles fatigantes et répétitives ;
- d'améliorer la qualité du produit ;
- d'assurer la sécurité...

Structure d'un système automatisé : Tout système automatisé est composé de deux parties principales : une partie opérative (PO) et une partie commande (PC), ces deux parties s'échangent les informations entre elles à l'aide des capteurs et préactionneurs comme le montre la figure suivante [23].

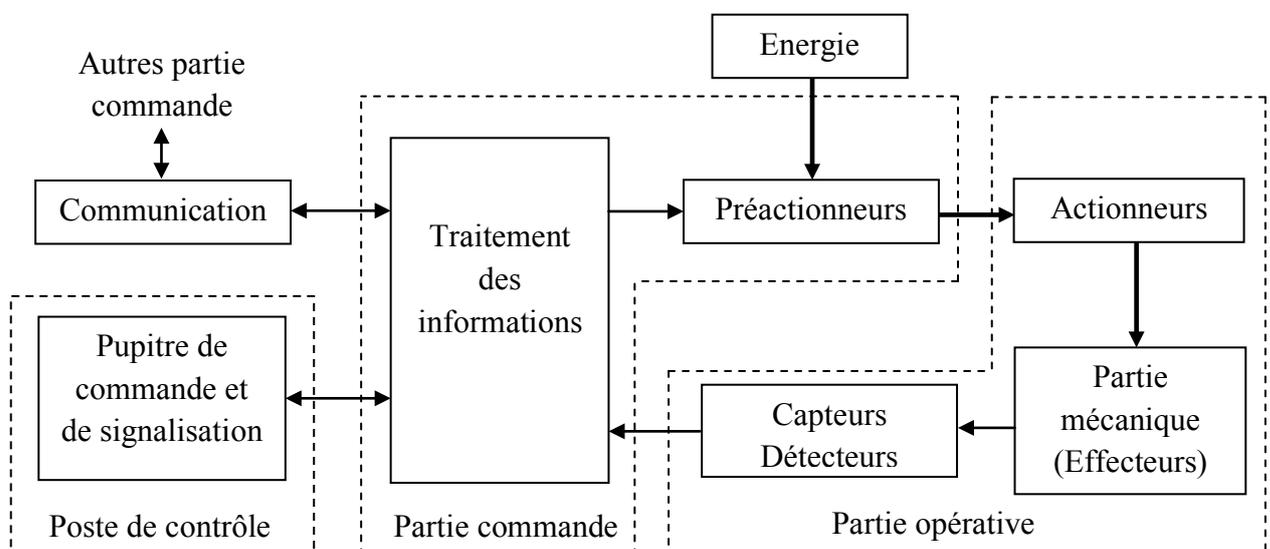


Figure 5.1 : Structure d'un système automatisé

- **Partie opérative (PO) :** Elle agit sur la matière d'œuvre afin de lui donner sa valeur ajoutée. Les actionneurs (moteurs et vérins) agissent sur la partie mécanique du système qui agit à son tour sur la matière d'œuvre [23].

Les capteurs et détecteurs permettent d'acquérir les divers états du système à différents instants.

- **Partie commande (PC) :** Elle donne les ordres de fonctionnement à la partie opérative. Les préactionneurs permettent de commander les actionneurs ; ils assurent le transfert d'énergie entre la source de puissance (réseau électrique, pneumatique...) et les actionneurs tels que les contacteurs, les distributeurs... On ajoute à ces deux parties principales un poste de contrôle qui, composé du pupitre de commande et de signalisation, il permet à l'opérateur de commander le système (marche, arrêt, départ cycle...), et il permet également de visualiser les différents états du système à l'aide des voyants ou d'interfaces homme-machine (IHM) [23].

5.2. Le GRAFCET [24]

Le GRAFCET (graphe de commande étapes-transitions) est un outil graphique de représentation du cahier des charges d'un automatisme séquentiel. Il est à la fois simple à utiliser et rigoureux sur le plan formel. Il est basé sur les notions d'étapes auxquelles sont associées des actions et des transitions auxquelles sont associées des réceptivités. Il décrit les ordres émis par la partie commande vers la partie opérative en mettant en évidence les actions engendrées et les événements qui les déclenchent. Cette représentation est étroitement liée à la notion d'évolution du processus.

5.2.1. Éléments d'un GRAFCET :

Le GRAFCET utilise une succession alternée d'étapes auxquelles sont associées des actions, des transitions avec leurs réceptivités et des liaisons orientées.

- **L'étape :** Une étape caractérise une situation invariable du cycle de fonctionnement. Elle correspond à une période de temps qui permet de réaliser complètement une ou plusieurs actions.
- **La transition :** Une transition est une condition de passage d'une étape à une autre. Elle n'est que logique (dans son sens vrai ou faux), la condition est définie par une réceptivité qui est généralement une expression booléenne (avec des ET et des OU) de l'état des capteurs.
- **La liaison orientée :** Elle est représentée par une ligne verticale qui relie les étapes entre elles (le sens normal d'évolution entre étapes est de haut en bas, sauf mention contraire).

5.2.2. Symbolisation du GRAFCET

- Une étape est représentée par un carré repéré numériquement, tandis que l'action associée est représentée par un rectangle ;
- La transition est représentée par une barre horizontale, les réceptivités sont inscrites à la droite de la transition ;
- L'alternance entre étape et transition doit être respectée qu'elle que soit la séquence en cours : deux étapes ne doivent jamais être reliées directement, deux transitions ne doivent jamais non plus être reliées directement.

La figure suivante présente les différents éléments du GRAFCET :

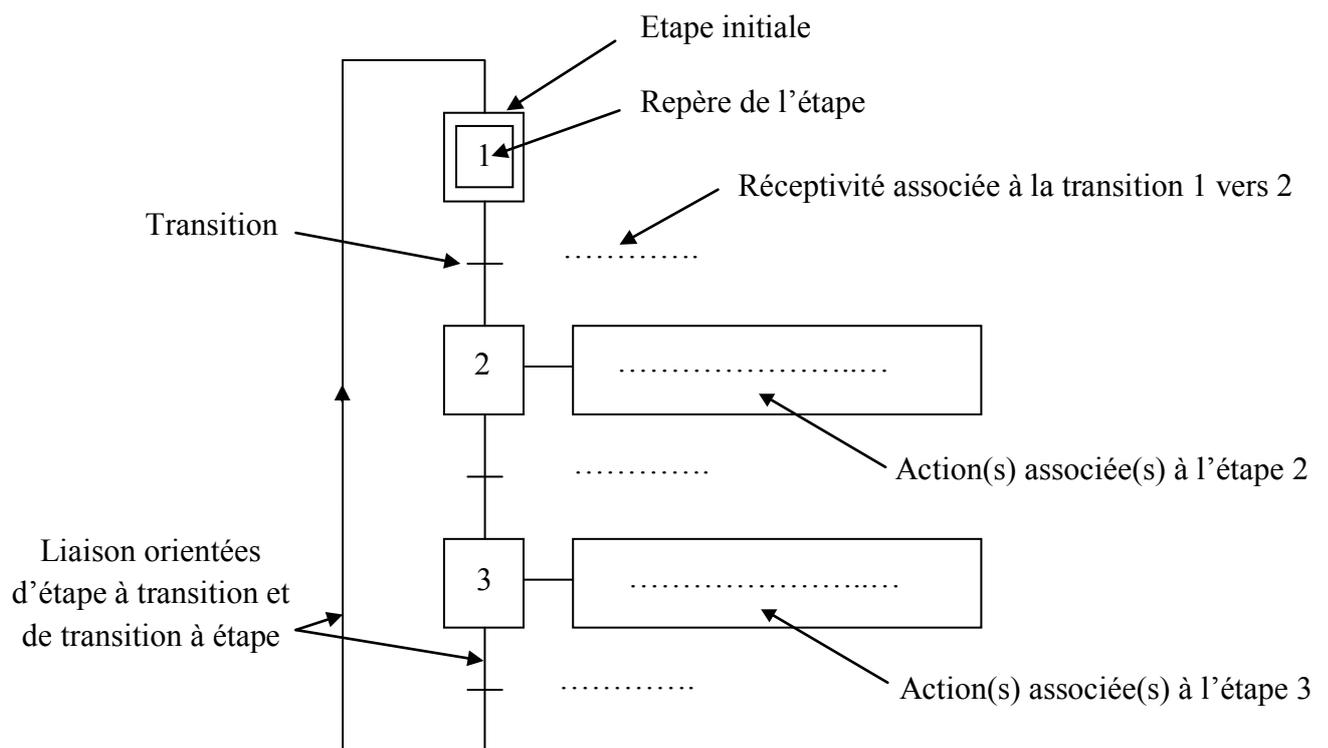


Figure 5.2 : Représentation des éléments d'un GRAFCET

5.2.3. Elaboration des GRACET du système étudié :

Suivant le cahier des charges préalablement défini (chapitre 1, page 8) et suivant le fonctionnement des éléments technologiques choisis (chapitre 3), le système global peut être représenté en mode de bon fonctionnement et en mode de défaillance par plusieurs GRAFCET :

• **GRAF CET de bon fonctionnement :**

- Poste de préparation carton (arrache, orientation, fermeture et évacuation du carton) :

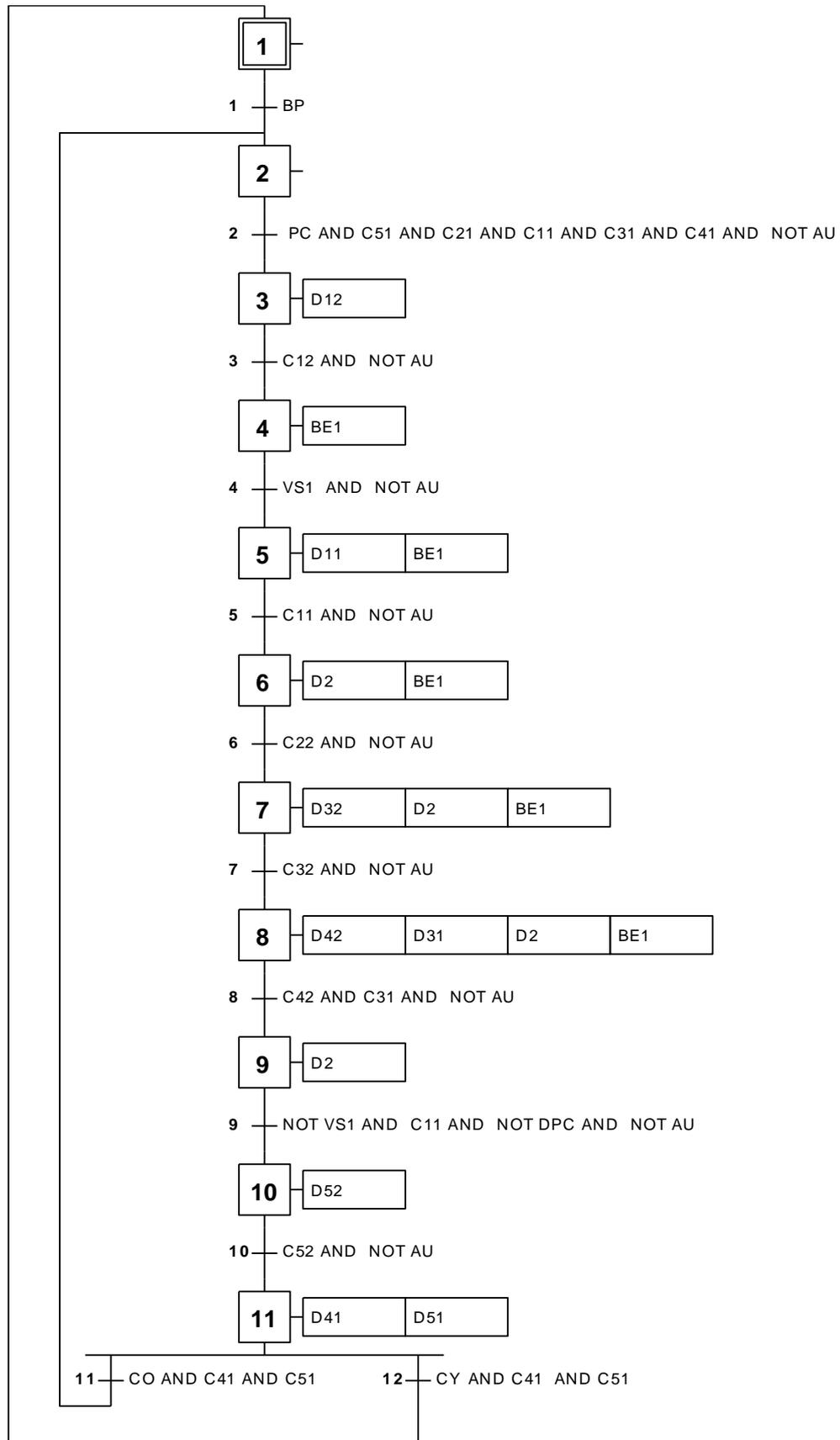


Figure 5.3 : GRAFCET de bon fonctionnement (poste de préparation carton)

- Aiguillage du produit (en deux rangées) :

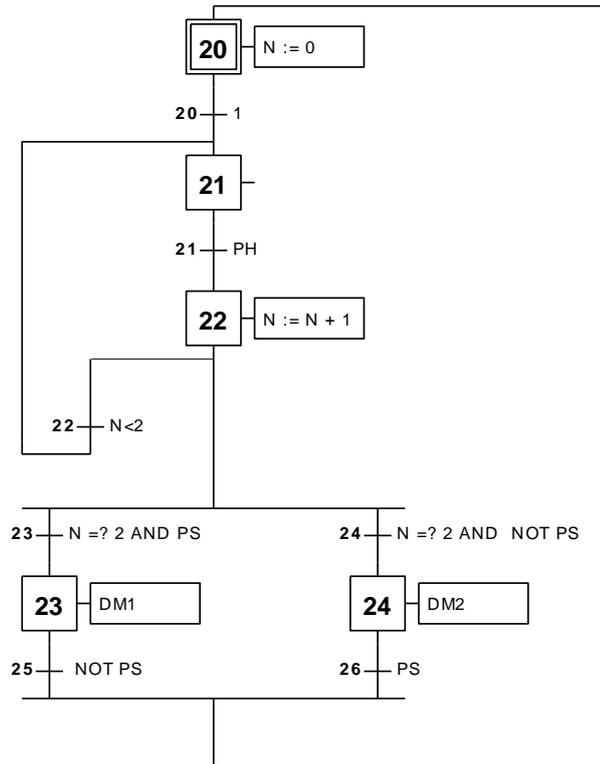


Figure 5.4 : GRAFCET de bon fonctionnement (aiguillage du produit)

- Chargement du produit (arrêt du carton, chargement du produit et évacuation du carton chargé) :

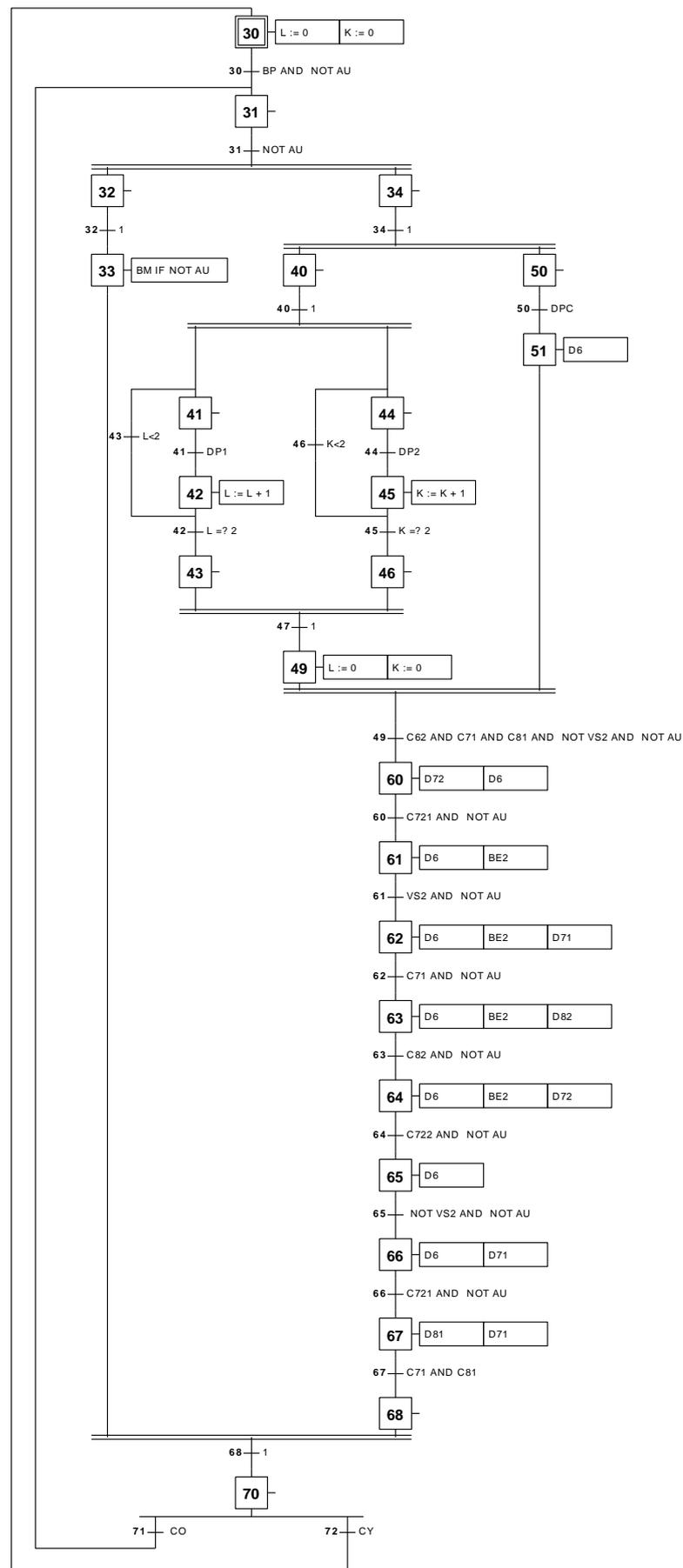


Figure 5.5 : GRAFCET de bon fonctionnement (poste de chargement)

• **GRAF CET de défauts :**

Lors du bon fonctionnement de l'installation, des défauts peuvent surgir et afin d'éviter tout incident d'accumulation de ces derniers, des précautions sont prises en compte. Ces défauts et précautions sont traduits par les GRAFCET qui suivent.

- Défaut au magasin carton (absence du carton) :

A la mise sous tension et s'il y'a un manque de carton, le voyant jaune du magasin carton (VJ-M-CA) s'allume, et si le magasin carton n'est pas approvisionné par le carton durant 30 s après la mise en marche, le voyant rouge (VR-M-CA) s'allume et l'installation se fige.

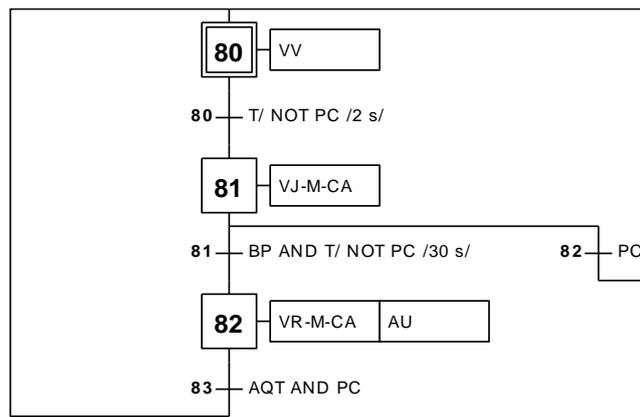


Figure 5.6 : GRAFCET de défaut (magasin carton)

- Défaut au poste de préparation du carton :

A la mise en marche de l'installation avec la présence du carton au magasin carton et si le carton n'est pas détecté au poste de chargement durant 10 s, le voyant jaune du poste de préparation carton (VJ-P-PR) s'allume, et si le même problème persiste après les 20 s suivantes, le voyant rouge du même poste (VR-P-PR) s'allume et l'installation se fige.

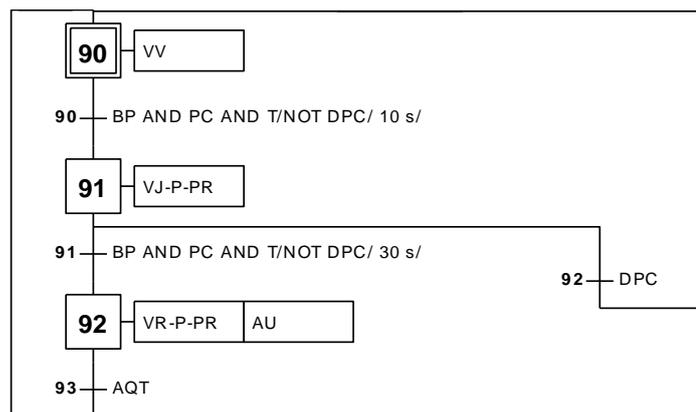


Figure 5.7 : GRAFCET de défaut (poste de préparation du carton)

- Défaut au poste de chargement :

En bon fonctionnement de l'installation et si le carton reste détecté pendant 10 s au poste de chargement, le voyant jaune (VJ-P-CH) s'allume. Si le carton n'a pas quitté le poste durant les 30 s suivantes, le voyant rouge (VR-P-CH) s'allume et l'installation se fige.

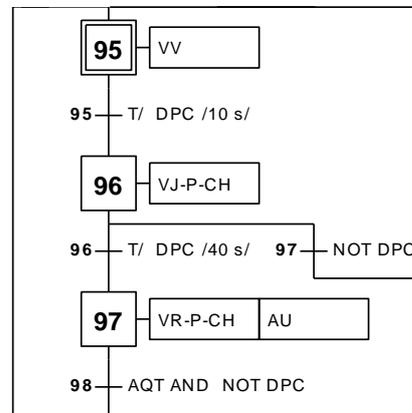


Figure 5.8 : GRAFCET de défaut (poste de chargement)

Si l'un de ces défauts surgit, l'opérateur doit intervenir, tout en réglant le problème en question et en appuyant sur le bouton d'acquiescement, l'installation reprend son bon fonctionnement (tout les voyants s'éteints et un voyant vert s'allume).

Tables des nomenclatures :

- Les entrées (détecteurs et boutons poussoirs) :

Nomenclature	Commentaire
BP	Bouton poussoir de démarrage
CO	Commutateur en continu
CY	Commutateur en cycle (arrêt à la fin du cycle)
AU	Arrêt d'urgence
PH	Détecteur photoélectrique
PS	Détecteur position sélecteur
DP1	Détecteur de pots rangée 1
DP2	Détecteur de pots rangée 2
DPC	Détecteur de présence carton (poste de chargement)
PC	Détecteur de présence carton (poste de préparation carton)
VS1	Vacuostat (poste de préparation carton)
VS2	Vacuostat (poste de chargement)
C11	Détecteur de proximité du vérin V1 (position repos)
C12	Détecteur de proximité du vérin V1 (position travail)
C21	Détecteur de proximité du vérin V2 (position repos)
C22	Détecteur de proximité du vérin V2 (position travail)
C31	Détecteur de proximité du vérin V3 (position repos)
C32	Détecteur de proximité du vérin V3 (position travail)
C41	Détecteur de proximité du vérin V4 (position repos)
C42	Détecteur de proximité du vérin V4 (position travail)
C51	Détecteur de proximité du vérin V5 (position repos)
C52	Détecteur de proximité du vérin V5 (position travail)
C61	Détecteur de proximité du vérin V6 (position repos)
C62	Détecteur de proximité du vérin V6 (position travail)
C71	Détecteur de proximité du vérin V7 (position repos)
C721	Détecteur de proximité du vérin V7 (position travail 1)
C722	Détecteur de proximité du vérin V7 (position travail 2)
C81	Détecteur de proximité du vérin V8 (position repos)
C82	Détecteur de proximité du vérin V8 (position travail)
AQT	Acquittement

Tableau 5.1 : Table des nomenclatures des entrées

- Les sorties (préactionneurs et voyants) :

Nomenclature	Commentaire
D12	Sortie de la tige du vérin V1
D11	Rentrée de la tige du vérin V1
D2	Rentrée de la tige du vérin V2
D32	Rotation du vérin V3 (fermeture des petites ailettes)
D31	Rotation du vérin V3 dans l'autre sens
D42	Rotation du vérin V4 (fermeture des grandes ailettes)
D41	Rotation du vérin V4 dans l'autre sens
D52	Sortie de la tige du vérin V5
D51	Rentrée de la tige du vérin V5
D6	Sortie de la tige du vérin d'arrêt V6
D72	Sortie de la tige du vérin V7
D71	Rentrée de la tige du vérin V7
D82	Sortie de la tige du vérin V8
D81	Rentrée de la tige du vérin V8
DM2	Rétrécissement du muscle pneumatique
DM1	Dilatation du muscle pneumatique
BE1	Ouverture de l'électrovanne (ventouses poste préparation carton)
BE2	Ouverture de l'électrovanne (ventouses poste chargement)
BM	Démarrage du moteur du convoyeur
AU	Arrêt d'urgence
VV	Allumage du voyant vert (fonctionnement normal)
VJ-M-CA	Allumage du voyant jaune du magasin carton (défaut temporaire)
VR-M-CA	Allumage du voyant rouge du magasin carton (défaut sérieux)
VJ-P-CH	Allumage du voyant jaune du poste de chargement (défaut temporaire)
VR-P-CH	Allumage du voyant rouge du poste de chargement (défaut sérieux)
VJ-P-PR	Allumage du voyant jaune du poste de préparation carton (défaut temporaire)
VR-P-PR	Allumage du voyant rouge du poste de préparation carton (défaut sérieux)

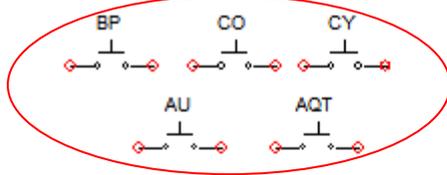
Tableau 5.2 : Table des nomenclatures des sorties

5.3. Simulation avec Automation Studio :

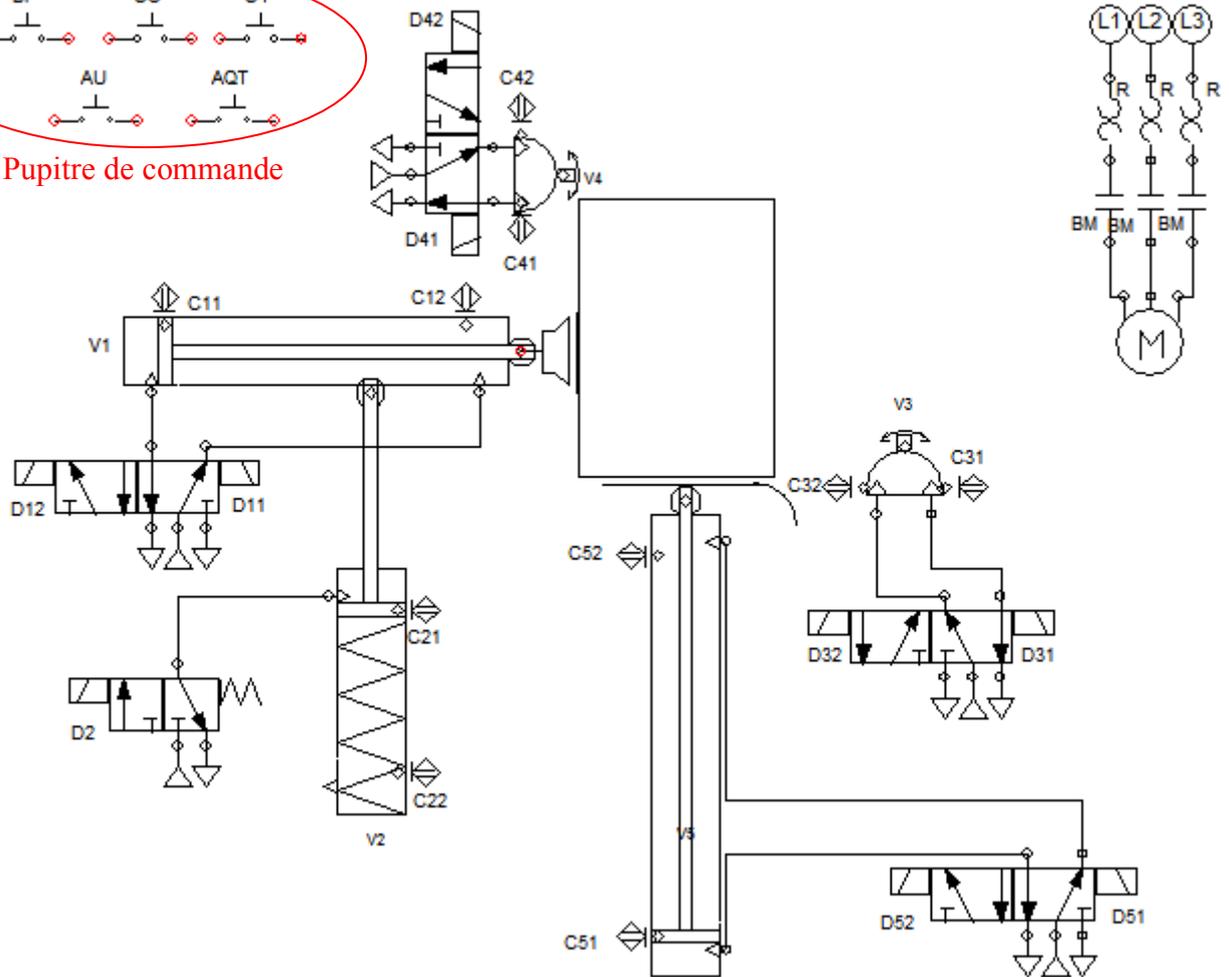
Nous avons pu élaborer le mécanisme du système à l'aide des composants de l'atelier pneumatique. Le schéma suivant porte les différents composants tout en respectant les tables des nomenclatures.

Partie opérative (PO)

Poste de préparation carton



Pupitre de commande



Poste de chargement

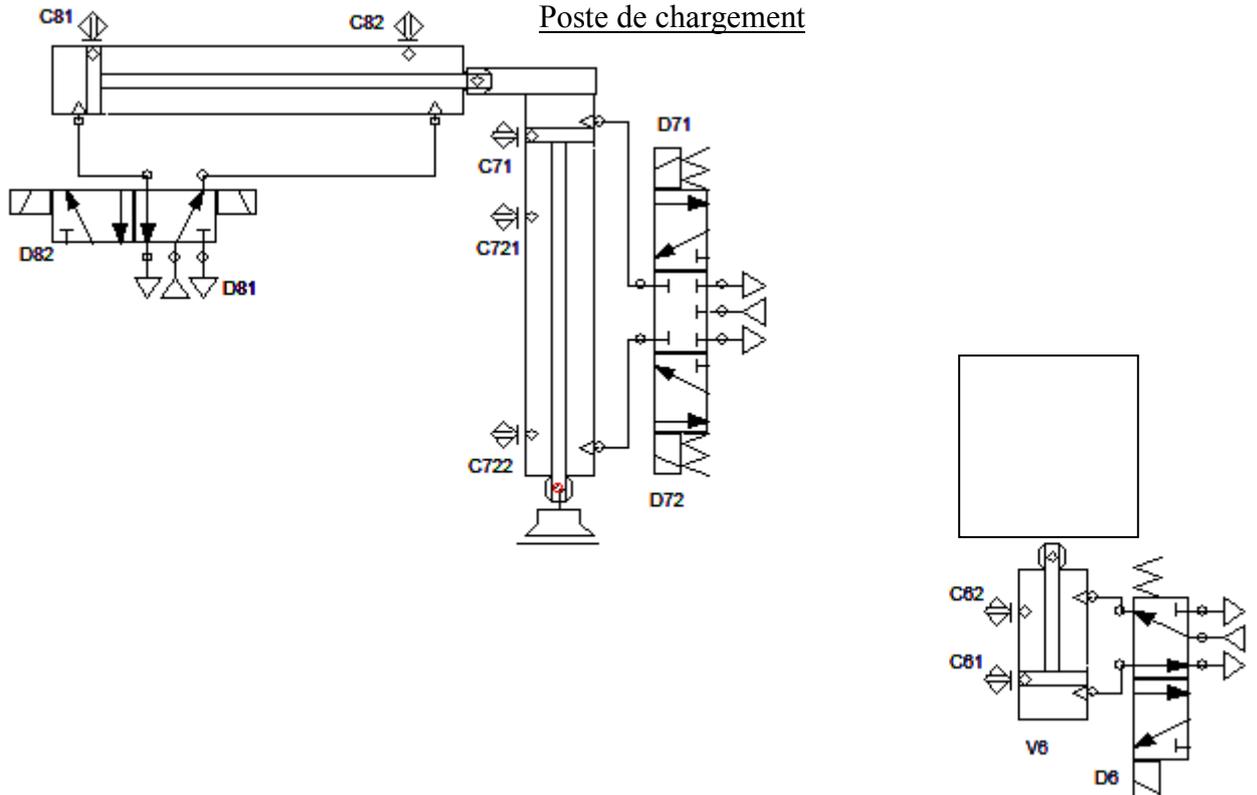


Figure 5.9 : Schéma structurel de l'installation sous le progiciel Automation Studio

5.4. API et programmation

5.4.1. Automate Programmable Industriel (API) :

Un automate programmable industriel (API) est une forme particulière de contrôleur à microprocesseur qui utilise une mémoire programmable pour stocker les instructions et qui implémente différentes fonctions, qu'elles soient logiques, de séquençement, de temporisation, de comptage ou arithmétiques, pour commander les machines et les processus [25].

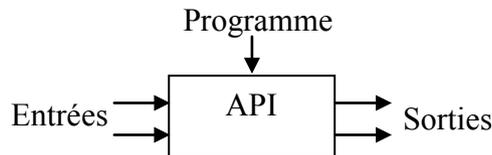


Figure 5.10 : Schéma d'un automate programmable industriel

5.4.1.1. Constitution d'un automate programmable industriel :

De manière générale, un API est structuré autour de plusieurs éléments de base que sont l'unité de traitement, la mémoire, l'unité d'alimentation, les interfaces d'entrée/sorties, l'interface de communication et le périphérique de programmation.

- Le CPU interprète les signaux d'entrée et effectue les actions de commande conformément au programme stocké en mémoire, en communiquant aux sorties les décisions sous forme de signaux d'action ;
- L'unité d'alimentation est indispensable puisqu'elle convertit une tension alternative en une tension basse continue (5V) nécessaire au processeur et aux modes d'entrées/sorties ;
- Le périphérique de programmation est utilisé pour entrer le programme dans la mémoire du processeur. Ce programme est développé sur le périphérique, puis transféré dans la mémoire de l'API ;
- La mémoire contient le programme qui définit l'action de commande effectuée par le microprocesseur ;
- Les interfaces d'entrées/sorties permettent au processeur de recevoir et d'envoyer des informations aux dispositifs extérieurs. Les entrées peuvent être (interrupteur, capteur...), les sorties peuvent être (commande de distributeur, électrovanne...) ;
- L'interface de communication est utilisée pour recevoir et transmettre des données sur des réseaux de communication qui relient l'API à d'autres API distants ou à des ordinateurs. Elle est impliquée dans des opérations telles que la vérification d'un périphérique, l'acquisition de données.

La figure suivante schématise la structure d'un API [25] :

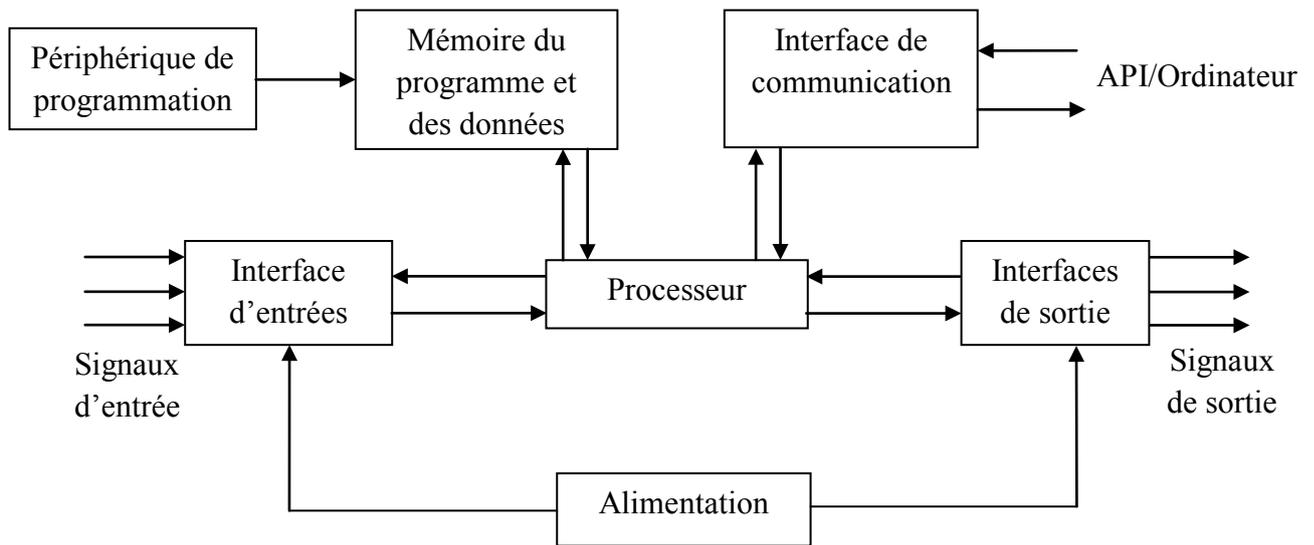


Figure 5.11 : Schéma structurel d'un API

5.4.1.2. Principe de fonctionnement d'un automate :

Une fois le programme est introduit dans l'automate, il est aussitôt stocké dans sa mémoire (RAM). Une fois le cycle est lancé, les trois phases qui suivent sont exécutées l'une après l'autre (figure 5.12) [26].

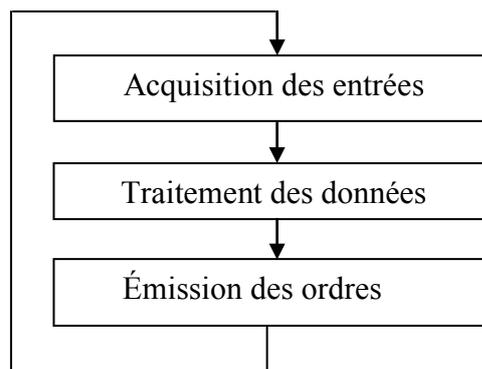


Figure 5.12 : Cycle d'exécution d'un automate

- **Acquisition des entrées :**

La première phase consiste à scruter et analyser les informations du module d'entrées et puis procéder à leur écriture dans la mémoire image des entrées.

- **Traitement des données :**

La seconde phase consiste à procéder à la lecture du programme et des variables d'entrées. Ensuite, l'API procède au traitement des données et évaluation des grandeurs de sortie. Une fois ces valeurs sont calculées, elles sont stockées en mémoire image des sorties.

- **Émission des ordres :**

Dans cette dernière phase, l'automate procède à la lecture de la mémoire image des sorties et il les transfère vers les modules de sorties.

Caractéristiques et choix d'un API :

Les critères essentiels de choix d'un API sont :

- la capacité d'entrées/sorties qui désigne le nombre d'entrées et de sorties qu'il peut contenir ;
- le type des entrées/sorties nécessaire (logiques, digitales ou analogiques) ;
- la tension d'alimentation ;
- le temps d'exécution, une fois le programme est complet ;
- la capacité en mémoire de l'automate pour y écrire un programme ;
- le coût et la qualité de service après-vente.

5.4.2. Programmation des automates [27] :

Pour programmer l'automate, l'automaticien peut utiliser :

- une console de programmation ayant pour avantage la portabilité,
- un micro-ordinateur avec lequel la programmation est plus conviviale, avec l'automate par le biais d'une liaison série RS232 ou RS485 ou d'un réseau de terrain.

5.4.2.1. Les équations :

Les GRAFCET précédents peuvent être modélisés en différentes équations logiques :

- Equations des réceptivités,
- Equations d'activation des étapes,
- Equations de désactivation des étapes,
- Equations d'états des étapes,
- Equations de l'activation des sorties.

- **Les équations du poste de préparation carton :**

- Les équations des réceptivités :

$$RP1=BP$$

$$RP2=PC.C51.C21.C11.C31.C41.\overline{AU}$$

$$RP3=C12.\overline{AU}$$

$$RP4=VS1.\overline{AU}$$

$$RP5=C11.\overline{AU}$$

$$RP6=C22.\overline{AU}$$

$$RP7=C32.\overline{AU}$$

$$RP8=C42.C31.\overline{AU}$$

$$RP9=\overline{VS1}.C11.\overline{DPC}.\overline{AU}$$

$$RP10=C52.\overline{AU}$$

$$RP11=CO.C41.C51$$

$$RP12=CY.C41.C51$$

- Les équations d'activation des étapes :

$$S1=INIT+RP12.X11$$

$$S2=(X1.RP1+X11.RP11).\overline{INIT}$$

$$S3=X2.RP2.\overline{INIT}$$

$$S4=X3.RP3.\overline{INIT}$$

$$S5=X4.RP4.\overline{INIT}$$

$$S6=X5.RP5.\overline{INIT}$$

$$S7=X6.RP6.\overline{INIT}$$

$$S8=X7.RP7.\overline{INIT}$$

$$S9=X8.RP8.\overline{INIT}$$

$$S10=X9.RP9.\overline{INIT}$$

$$S11=X10.RP10.\overline{INIT}$$

- Les équations de désactivation des étapes :

$$R1=X2.\overline{INIT}$$

$$R2=X3+INIT$$

$$R3=X4+INIT$$

$$R4=X5+INIT$$

$$R5=X6+INIT$$

$$R6=X7+INIT$$

$$R7=X8+INIT$$

$$R8=X9+INIT$$

$$R9=X10+INIT$$

$$R10=X11+INIT$$

$$R11=X1+X2+INIT$$

- Les équations d'états des étapes :

$$X1=S1+X1.\overline{R1}$$

$$X2=S2+X2.\overline{R2}$$

$$X3=S3+X3.\overline{R3}$$

$$X4=S4+X4.\overline{R4}$$

$$X5=S5+X5.\overline{R5}$$

$$X6=S6+X6.\overline{R6}$$

$$X7=S7+X7.\overline{R7}$$

$$X8=S8+X8.\overline{R8}$$

$$X9=S9+X9.\overline{R9}$$

$$X10=S10+X10.\overline{R10}$$

- Les équations de l'activation des sorties :

$$D11=X5$$

$$D12=X3$$

$$D2=X6+X7+X8+X9$$

$$D31=X8$$

$$D32=X7$$

$$D41=X11$$

$$D42=X8$$

$$D51=X11$$

$$D52=X10$$

$$BE1=X4+X5+X6+X7+X8$$

- **Les équations du cas de défaut au poste de chargement :**

- Les équations des réceptivités :

$$RP95=(T/DPC/10s)$$

$$RP96=(T/DPC/40s)$$

$$RP97= \overline{DPC}$$

$$RP98= \overline{DPC}.AQT$$

- Les équations de désactivation des étapes :

$$R95=X96. \overline{INIT}$$

$$R96=X97+X95+INIT$$

$$R97=X97+ INIT$$

- Les équations d'activation des étapes :

$$S95=INIT+X96.RP97+X97.RP98$$

$$S96=X95.RP95. \overline{INIT}$$

$$S97=X96.RP96. \overline{INIT}$$

- Les équations d'états des étapes :

$$X95=S95+X95. \overline{R95}$$

$$X96=S96+X96. \overline{R96}$$

$$X97=S97+X97. \overline{R97}$$

- Les équations de l'activation des sorties :

$$VJ-P-CH=X96$$

$$VR-P-CH=X97$$

Remarque : Les équations en vue de la programmation du sélecteur de produit et celles du poste de chargement ci-avant, ne correspondent pas entièrement à leurs GRAFCET (figure 5.4 et figure 5.5 respectivement), et ce, en raison de l'utilisation des blocs compteurs existants dans la bibliothèque intégrée du progiciel STEP 7 utilisé en programmation de l'API.

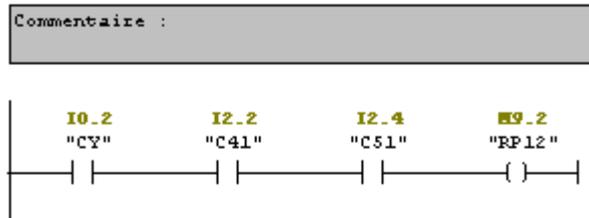
5.4.2.2. La programmation en langage à contact (Ladder) :

Les équations précédentes peuvent être modélisées en langage Ladder (dans notre cas sous le progiciel STEP 7 v5.5). Dans ce qui suit, nous avons mentionné seuls les programmes en langage à contact (Ladder) des équations précédentes correspondant au :

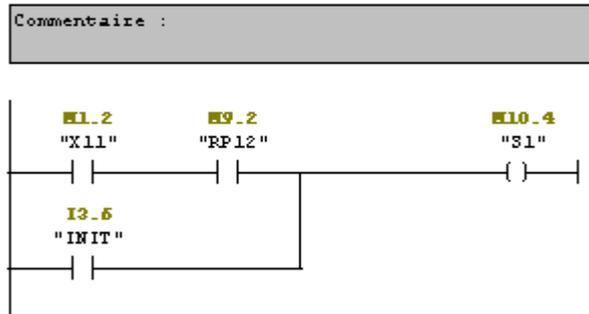
- Bon fonctionnement du poste de préparation carton ;
- Défaut au poste de chargement.

- Programme en langage Ladder (CONT) du poste préparation carton :

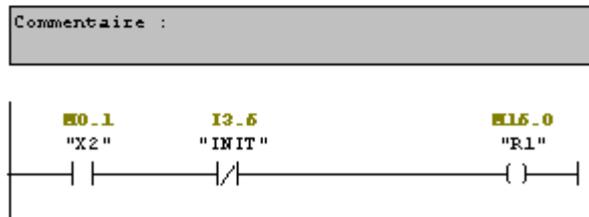
Réseau 1 : Titre :



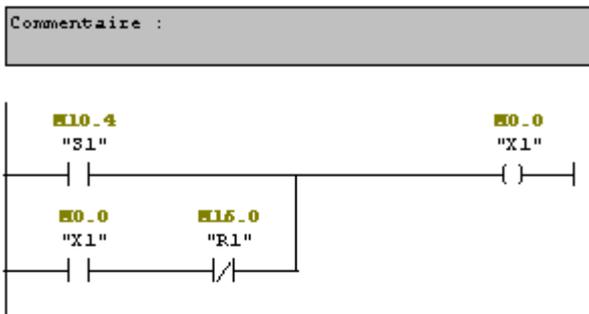
Réseau 2 : Titre :



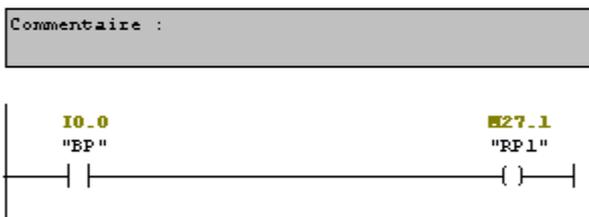
Réseau 3 : Titre :



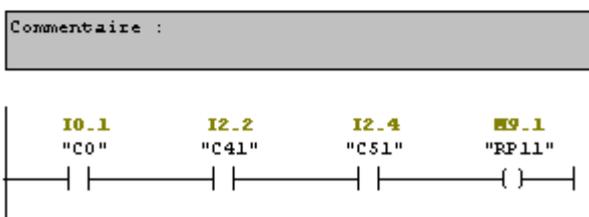
Réseau 4 : Titre :



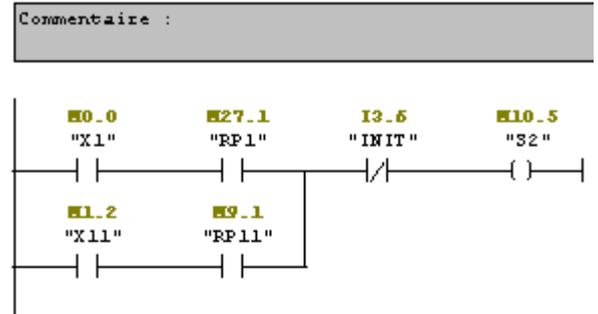
Réseau 5 : Titre :



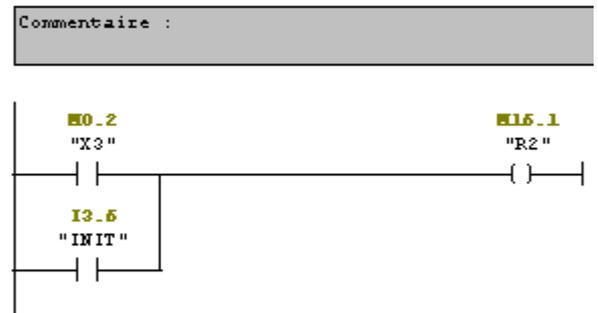
Réseau 6 : Titre :



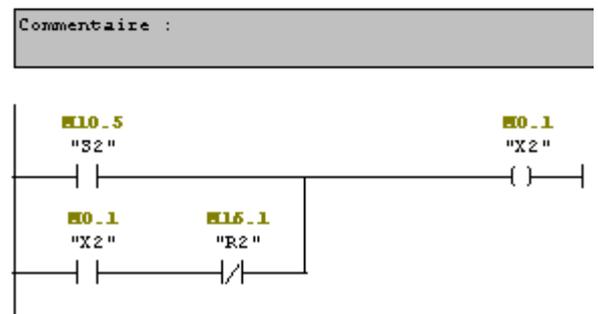
Réseau 7 : Titre :



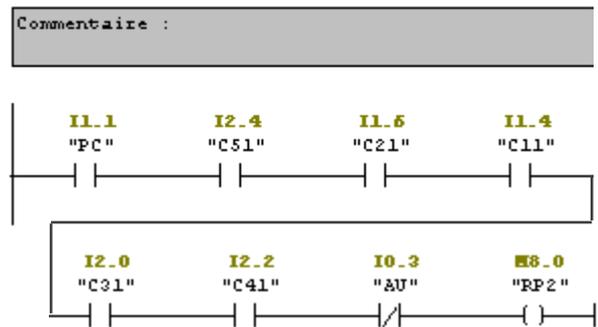
Réseau 8 : Titre :



Réseau 9 : Titre :



Réseau 10 : Titre :



Réseau 11 : Titre :



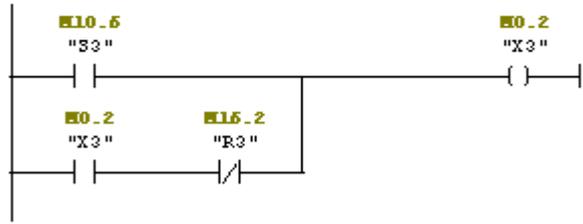
Réseau 12 : Titre :

Commentaire :



Réseau 13 : Titre :

Commentaire :



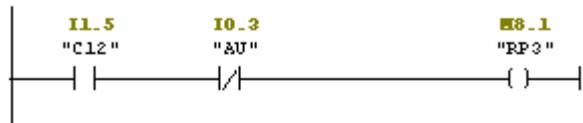
Réseau 14 : Titre :

Commentaire :



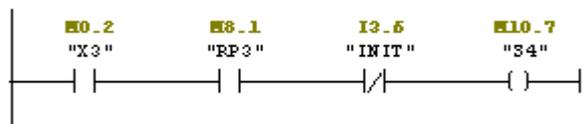
Réseau 15 : Titre :

Commentaire :



Réseau 16 : Titre :

Commentaire :



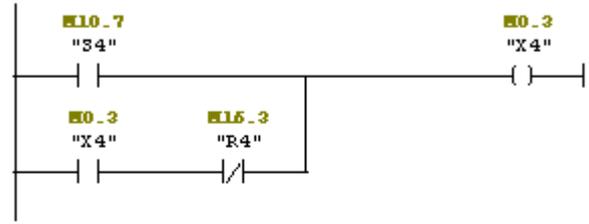
Réseau 17 : Titre :

Commentaire :



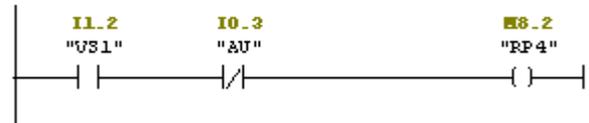
Réseau 18 : Titre :

Commentaire :



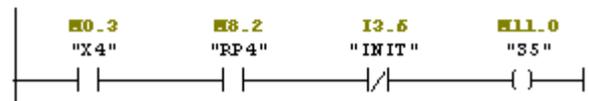
Réseau 19 : Titre :

Commentaire :



Réseau 20 : Titre :

Commentaire :



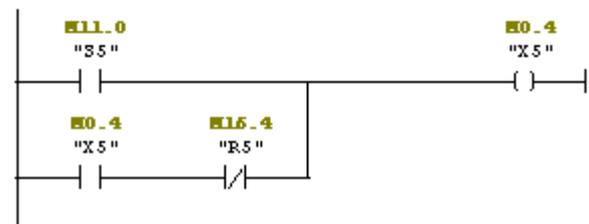
Réseau 21 : Titre :

Commentaire :



Réseau 22 : Titre :

Commentaire :



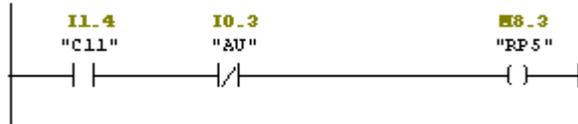
Réseau 23 : Titre :

Commentaire :



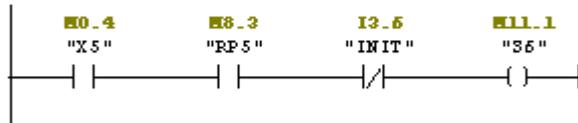
Réseau 24 : Titre :

Commentaire :



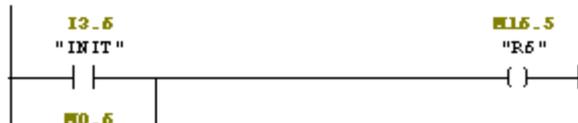
Réseau 25 : Titre :

Commentaire :



Réseau 26 : Titre :

Commentaire :



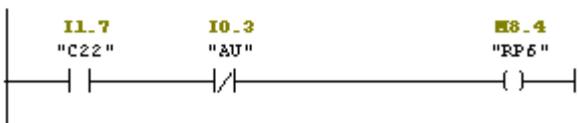
Réseau 27 : Titre :

Commentaire :



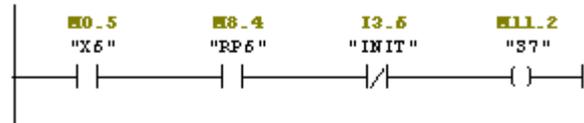
Réseau 28 : Titre :

Commentaire :



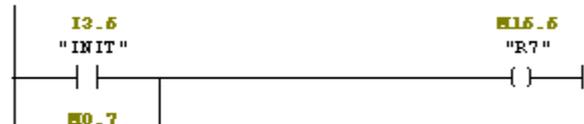
Réseau 29 : Titre :

Commentaire :



Réseau 30 : Titre :

Commentaire :



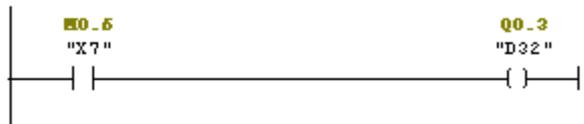
Réseau 31 : Titre :

Commentaire :



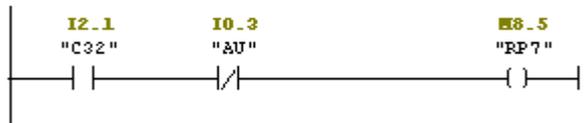
Réseau 32 : Titre :

Commentaire :



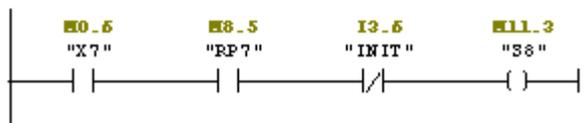
Réseau 33 : Titre :

Commentaire :



Réseau 34 : Titre :

Commentaire :



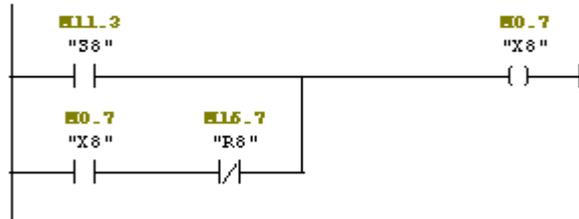
Réseau 35 : Titre :

Commentaire :



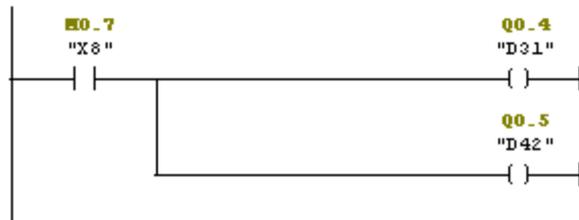
Réseau 36 : Titre :

Commentaire :



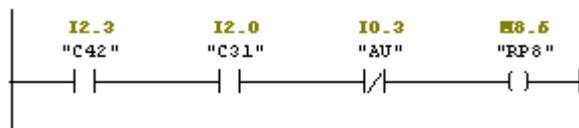
Réseau 37 : Titre :

Commentaire :



Réseau 38 : Titre :

Commentaire :



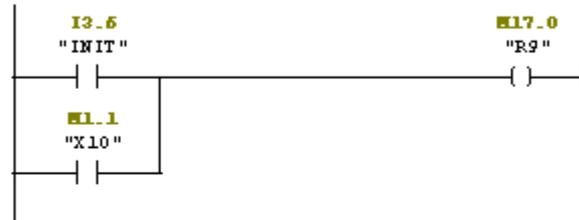
Réseau 39 : Titre :

Commentaire :



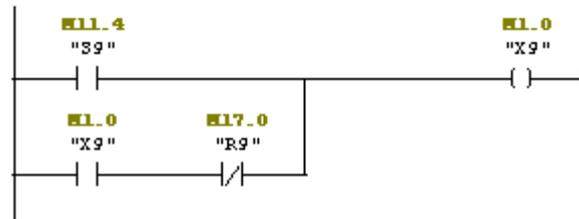
Réseau 40 : Titre :

Commentaire :



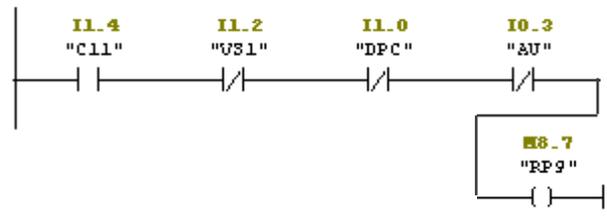
Réseau 41 : Titre :

Commentaire :



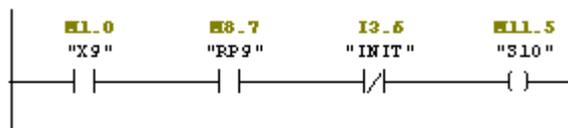
Réseau 42 : Titre :

Commentaire :



Réseau 43 : Titre :

Commentaire :



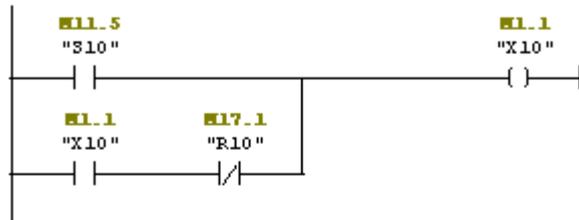
Réseau 44 : Titre :

Commentaire :



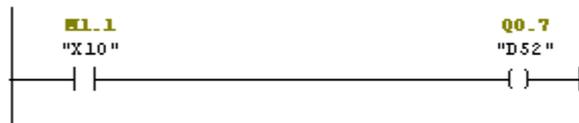
Réseau 45 : Titre :

Commentaire :



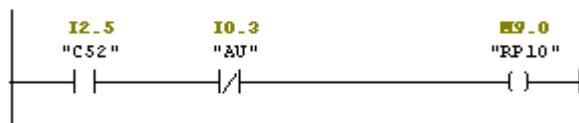
Réseau 46 : Titre :

Commentaire :



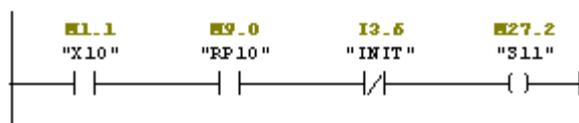
Réseau 47 : Titre :

Commentaire :



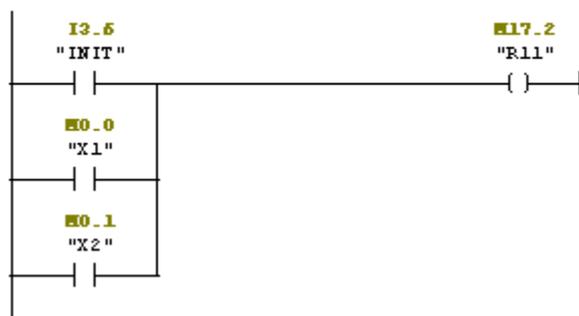
Réseau 48 : Titre :

Commentaire :



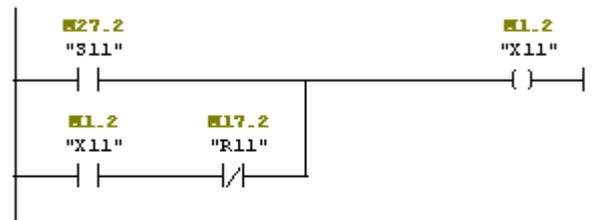
Réseau 49 : Titre :

Commentaire :



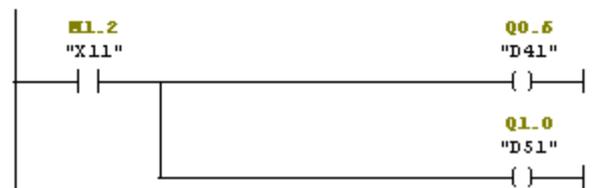
Réseau 50 : Titre :

Commentaire :



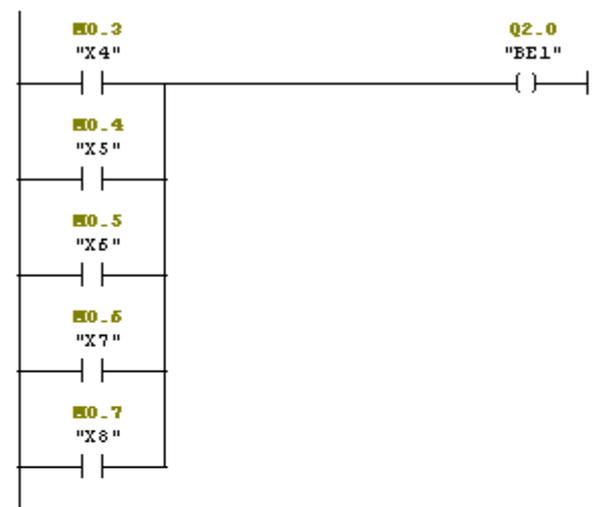
Réseau 51 : Titre :

Commentaire :



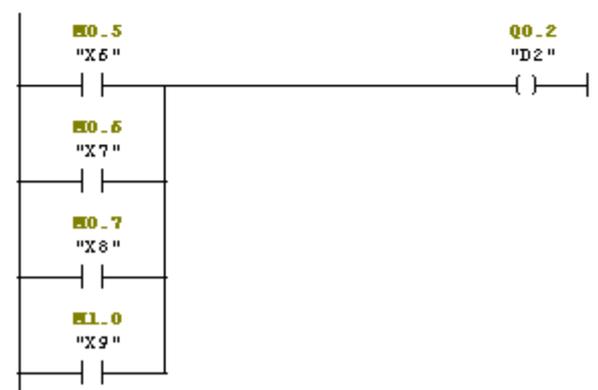
Réseau 52 : Titre :

Commentaire :



Réseau 53 : Titre :

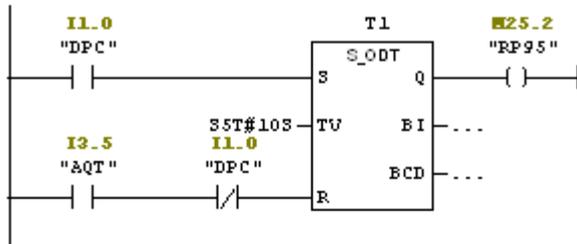
Commentaire :



- Programme en langage Ladder (CONT) du défaut au poste chargement :

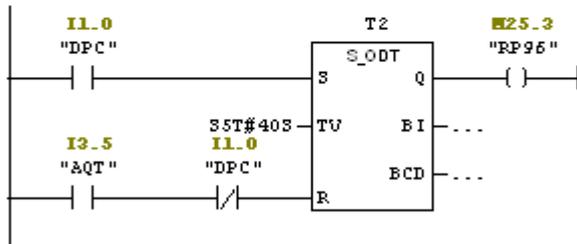
Réseau 1 : Titre :

Commentaire :



Réseau 2 : Titre :

Commentaire :



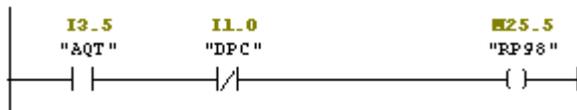
Réseau 3 : Titre :

Commentaire :



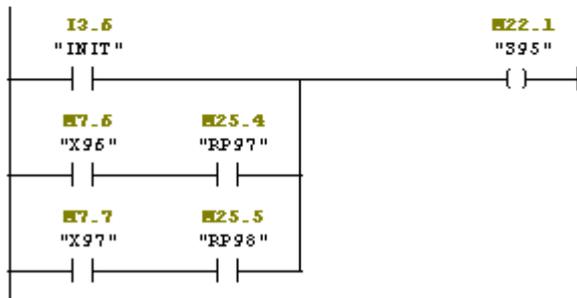
Réseau 4 : Titre :

Commentaire :



Réseau 5 : Titre :

Commentaire :



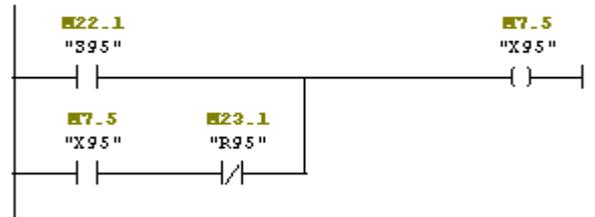
Réseau 6 : Titre :

Commentaire :



Réseau 7 : Titre :

Commentaire :



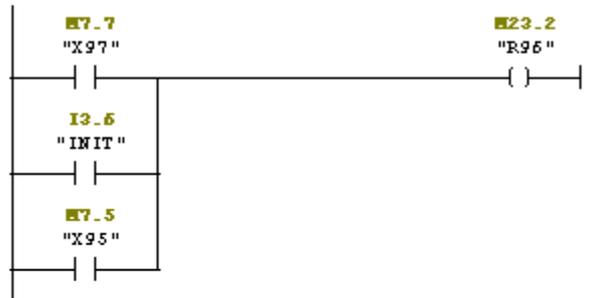
Réseau 8 : Titre :

Commentaire :



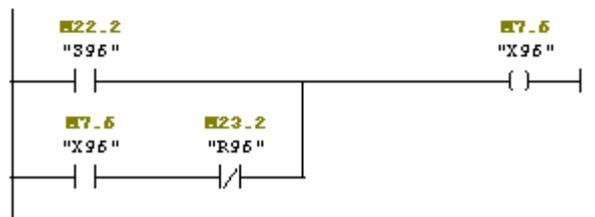
Réseau 9 : Titre :

Commentaire :



Réseau 10 : Titre :

Commentaire :



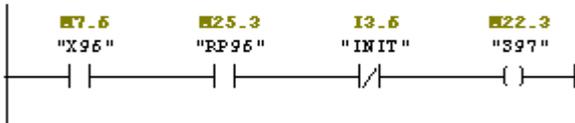
Réseau 11 : Titre :

Commentaire :



Réseau 12 : Titre :

Commentaire :



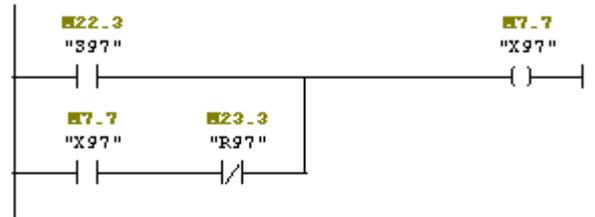
Réseau 13 : Titre :

Commentaire :



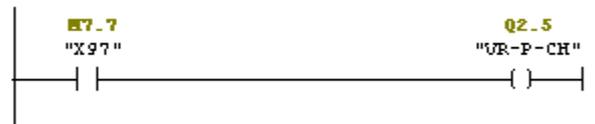
Réseau 14 : Titre :

Commentaire :



Réseau 15 : Titre :

Commentaire :



Réseau 16 : Titre :

Commentaire :

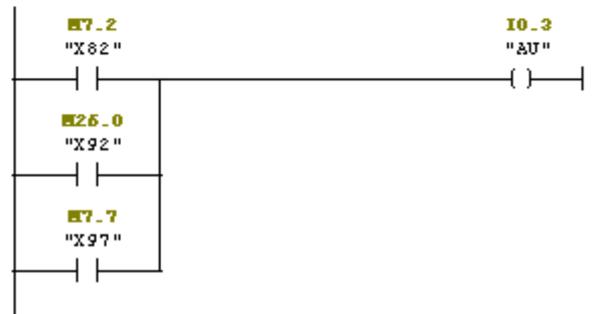


Table des mnémoniques :

Mnémonique	Opérande	Type	Commentaire
AQT	I3.5	BOOL	Acquittement
AU	I0.3	BOOL	Arrêt d'urgence
BE1	Q2.0	BOOL	Ouverture de l'électrovanne (ventouses poste préparation carton)
BE2	Q2.1	BOOL	Ouverture de l'électrovanne (ventouses poste chargement)
BM	Q2.2	BOOL	Démarrage du moteur du convoyeur
BP	I0.0	BOOL	Bouton poussoir de démarrage
C11	I1.4	BOOL	Détecteur de proximité du vérin V1 (position repos)
C12	I1.5	BOOL	Détecteur de proximité du vérin V1 (position travail)
C21	I1.6	BOOL	Détecteur de proximité du vérin V2 (position repos)
C22	I1.7	BOOL	Détecteur de proximité du vérin V2 (position travail)
C31	I2.0	BOOL	Détecteur de proximité du vérin V3 (position repos)
C32	I2.1	BOOL	Détecteur de proximité du vérin V3 (position travail)
C41	I2.2	BOOL	Détecteur de proximité du vérin V4 (position repos)
C42	I2.3	BOOL	Détecteur de proximité du vérin V4 (position travail)
C51	I2.4	BOOL	Détecteur de proximité du vérin V5 (position repos)
C52	I2.5	BOOL	Détecteur de proximité du vérin V5 (position travail)
C61	I2.6	BOOL	Détecteur de proximité du vérin V6 (position repos)
C62	I2.7	BOOL	Détecteur de proximité du vérin V6 (position travail)
C71	I3.0	BOOL	Détecteur de proximité du vérin V7 (position repos)
C721	I3.1	BOOL	Détecteur de proximité du vérin V7 (position travail 1)
C722	I3.2	BOOL	Détecteur de proximité du vérin V7 (position travail 2)
C81	I3.3	BOOL	Détecteur de proximité du vérin V8 (position repos)
C82	I3.4	BOOL	Détecteur de proximité du vérin V8 (position travail)
CO	I0.1	BOOL	Commutateur en continu
CY	I0.2	BOOL	Commutateur en cycle (arrêt à la fin du cycle)
D11	Q0.1	BOOL	Rentrée de la tige du vérin V1
D12	Q0.0	BOOL	Sortie de la tige du vérin V1
D2	Q0.2	BOOL	Rentrée de la tige du vérin V2
D31	Q0.4	BOOL	Rotation de l'arbre du vérin V3 dans l'autre sens
D32	Q0.3	BOOL	Rotation de l'arbre du vérin V3 (fermeture des petites ailettes)
D41	Q0.6	BOOL	Rotation de l'arbre du vérin V4 dans l'autre sens
D42	Q0.5	BOOL	Rotation de l'arbre du vérin V4 (fermeture des grandes ailettes)
D51	Q1.0	BOOL	Rentrée de la tige du vérin V5
D52	Q0.7	BOOL	Sortie de la tige du vérin V5

D6	Q1.1	BOOL	Sortie de la tige du vérin d'arrêt V6
D71	Q1.3	BOOL	Rentrée de la tige du vérin V7
D72	Q1.2	BOOL	Sortie de la tige du vérin V7
D81	Q1.5	BOOL	Rentrée de la tige du vérin V8
D82	Q1.4	BOOL	Sortie de la tige du vérin V8
DM1	Q1.7	BOOL	Dilatation du muscle pneumatique
DM2	Q1.6	BOOL	Rétrécissement du muscle pneumatique
DP1	I0.6	BOOL	Détecteur de pots rangée 1
DP2	I0.7	BOOL	Détecteur de pots rangée 2
DPC	I1.0	BOOL	Détecteur de présence carton (poste de chargement)
INIT	I3.6	BOOL	La mise sous tension (Initialisation)
PC	I1.1	BOOL	Détecteur de présence carton (poste de préparation carton)
PH	I0.5	BOOL	Détecteur photoélectrique
PS	I0.4	BOOL	Détecteur position sélecteur
VJ-M-CA	Q3.0	BOOL	Allumage du voyant jaune du magasin carton (défaut temp.)
VJ-P-CH	Q2.4	BOOL	Allumage du voyant jaune du poste de chargement (défaut temp.)
VJ-P-PR	Q2.6	BOOL	Allumage du voyant jaune du poste de préparation carton
VR-M-CA	Q3.1	BOOL	Allumage du voyant rouge du magasin carton
VR-P-CH	Q2.5	BOOL	Allumage du voyant rouge du poste de chargement
VR-P-PR	Q2.7	BOOL	Allumage du voyant rouge du poste de préparation carton
VS1	I1.2	BOOL	Vacuostat (poste de préparation carton)
VS2	I1.3	BOOL	Vacuostat (poste de chargement)
VV	Q2.3	BOOL	Allumage du voyant vert

Tableau 5.3 : Table des mnémoniques

Conclusion

Dans le but d'automatiser l'installation, le GRAFCET de fonctionnement est élaboré, puis traduit en équations logiques, ce qui permet la programmation (langage à CONTACT choisi). Le programme obtenu est implémenté dans l'automate programmable industriel (API) gérant l'installation entière.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale :

L'encartonnement actuel du produit se fait d'une manière manuelle. Ce fonctionnement présente tellement d'inconvénients : tâche fatigante sur les opérateurs, processus répétitif, risques d'accident de travail, productivité limitée, coût assez élevé... Afin de remédier à tout ça en vue d'une automatisation du processus, nous avons initié notre travail par l'élaboration du cahier des charges. Puis nous avons exploité la méthode d'analyse fonctionnelle adéquate (FAST) qui nous a permis de proposer des solutions techniques, à la fois, économiques, non encombrantes et qui permettent de gagner du temps et de l'énergie.

Après avoir choisi les différents éléments technologiques à utiliser dans l'installation, un dimensionnement de ces derniers était évident, et ce, suivant la nature et la manière que chaque élément va effectuer sa tâche, puis dresser une liste de ces derniers tout en donnant leurs codes de commande chez la firme industrielle FESTO (vérins, distributeurs et limiteurs de débit).

Pour estimer le temps d'exécution des différentes tâches tout en prenant en considération l'amortissement du fin de course des vérins, nous avons opté pour une simulation online, proposée par la firme FESTO.

Nous avons élaboré les GRAFCET de bon fonctionnement du système ainsi que ceux des défauts, ce qui permet le séquençage et l'organisation de toutes les tâches de l'automatisme d'un point de vue logique. Ce séquençage est vérifié avec le logiciel de simulation Automation Studio.

La modélisation du GRAFCET en équations logiques menant à un programme (dans notre cas en langage Ladder) à implanter dans le cerveau gérant l'automatisme (API S7-300 de Siemens), permet en outre la gestion réelle et autonome de tout élément constituant l'installation, ce qui est révélé validé par le progiciel de simulation S7-PLCSIM de Siemens, et il ne reste à l'opérateur que la superviser de loin suivant le fonctionnement souhaité.

Ce modeste travail nous a permis d'élargir nos connaissances dans le domaine de l'automatisme et spécifiquement en conception et en programmation.

Il est souhaitable de continuer ce travail par des perspectives où nous envisageons :

- L'évaluation technico-économique du système proposé ;
- La réalisation de l'automatisme ;
- La supervision de l'installation.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] : Documentation interne de l'entreprise d'accueil (catalogues et manuels d'utilisation)
- [2] : « Google Maps » <http://www.google.fr/maps>
- [3] : JEAN-LOUIS FANCHON « Guide des sciences et technologies industrielles ». Edition NATHAN. Paris, 2001
- [4] : Henry Ney « Electrotechnique et normalisation 2 éléments d'automatisme ». Edition NATHAN. France, 1989
- [5] : Jacques Faisandier et coll. « Mécanismes hydrauliques et pneumatiques, 9^{ème} Edition ». Edition DUNOD. Paris, 2006
- [6] : PHILIPPE TAILARD « Guide de dimensionnement, les vireurs pneumatiques », TECHNOLOGIE n°123 (revue technologique), Janvier-Février 2003
- [7] : « Muscle pneumatique MAS FESTO »
http://xdki.festo.com/xdki/data/doc_FR/PDF/FR/MAS_FR.pdf (le 17/04/2012)
- [8] : Thierry Schanen « Guide des Automatismes - v7 ». France, 2008
- [9] : « Guide de l'utilisateur de l'atelier Pneumatique » référence : FT-DOC-85002, Automation Studio version 3.0.5
- [10] : Maxime DESSOUDE « Moteurs asynchrones - Choix et problèmes connexes ». Techniques de l'ingénieur d3490
- [11] : Patrick BRUTSAERT, Daniel LALOY et Damien VERBEKE « Construction des machines tournantes - Machines à courant alternatif ». Techniques de l'ingénieur d3572
- [12] : Robert LE BORZEC « Réducteurs de vitesse à engrenages ». Techniques de l'ingénieur b5640
- [13] : Frédéric KRATZ et Yves PARMANTIER « Capteurs - Définitions, principes de détection ». Techniques de l'ingénieur r400
- [14] : « Capteurs »
<http://fr.wikipedia.org/wiki/Capteur#Caract.C3.A9ristiques> (le 18/03/2012)
- [15] : Gérard Boujat_ Jean-Pierre Pesty « Automatisme ». Edition DUNOD. Paris. 1993
- [16] : Georges Vogt « Automatisation En Hors Procédé ». Edition DUNOD. Paris. 2003
- [17] : PHILIPPE TAILARD « Guide de dimensionnement, les vireurs pneumatiques », TECHNOLOGIE n° 121 (revue technologique), Septembre-Octobre 2002

[18] : Jean-Marie HIERNARD « Automatisation pneumatique, actionneurs linéaires : vérins ». Techniques de l'ingénieur b6100

[19] : « Vérins d'arrêt »

http://www.parker-origa.com/fileadmin/files/internet/AT/Industriepneumatik/PDF_Catalogue_Parker/French/Stopper_Cylinders/2011/P-A3P170F_Stopperzyl_F_U-P-L-K-A_Screen.pdf

[20] : « Le Guide Norgren pour le choix des vérins pneumatiques »

http://resources.norgren.com/document_resources/PDF_links/product_literature/brochures/actuators/actuators_guide/fr_actuator_guide.pdf

[21] : « Dossier la régulation de vitesse »

http://www.festo-didactic.com/ov3/media/customers/1100/06_regulation_de_vitesse_f.pdf

[22] : « LEROY SOMER, HTA-HTF Moteurs asynchrones triphasés fermés – Extraction de fumées-0,4 à 400 kW » (Brochure technique Réf. 3469F-233/a-02.2001)

[23] : « Automate Programmable Industriel »

http://www.geea.org/IMG/pdf/LES_AUTOMATES_PROGRAMMABLES_INDUSTRIELS_pour_GEEA.pdf (le 27 /3/2012)

[24] : Daniel DUPONT et David DUBOIS « Réalisation technologique du GRAFCET ». Techniques de l'ingénieur s8032

[25] : William Bolton « Les Automates programmables industriels ». Edition DUNOD. Paris, 2010

[26] : ANDRE SIMON « Automates programmables industriels ». Edition L'ELAN. Liège, 1991

[27] : G. DECHENAU « API et PC : Solution concurrentes ou complémentaires ? ». Techniques de l'ingénieur r8022.

ANNEXE

Diamètre du piston (mm)	L1 (mm)	L2 (mm)	Charge maximale sur le palier FB(max) (N)
8	31,2	17,3 + course	2,5
10	31,2	17,3 + course	3,9
12	35,2	21,8 + course	5,6
16	35,2	21,8 + course	10
20	39,3	25,6 + course	15,7
25	42,8	27,6 + course	24,5
32	32	52 + course	40
40	37	58 + course	65
50	39	68 + course	100
63	43	71 + course	155
80	52	79 + course	250
100	56	85 + course	395
125	91	118 + course	615
160	103	149 + course	1005

Tableau 1 : Charge maximale sur le palier en fonction des dimensions du vérin (FESTO)

Ø vérin (mm)	8	10	12	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250
Ø tige (mm)	4	4	6	6	10	12	12	18	18	20	20	30	30	40	40	50

Tableau 2 : Exemples de vérins commercialisés

Les équations en vue de la programmation :

- **Les équations du sélecteur de produit :**

- Les équations des réceptivités :

$$RP20=PH$$

$$RP21=(N=2).PS$$

$$RP22=(N=2). \overline{PS}$$

$$RP23=\overline{PS}$$

$$RP24=PS$$

- Les équations d'activation des étapes :

$$S20=INIT+RP22.X23+X23.RP24$$

$$S21=X20.RP20. \overline{INIT}$$

$$S22=X21.RP21. \overline{INIT}$$

$$S23=X21.RP22. \overline{INIT}$$

- Les équations de désactivation des étapes :

$$R20=X20. \overline{INIT}$$

$$R21=X22+X23+INIT$$

$$R22=X20+INIT$$

$$R23=X20+INIT$$

- Les équations d'états des étapes :

$$X20=S20+X20. \overline{R20}$$

$$X21=S21+X21. \overline{R21}$$

$$X22=S22+X22. \overline{R22}$$

$$X23=S23+X23. \overline{R23}$$

- Les équations de l'activation des sorties :

$$DM1=X23$$

$$DM2=X22$$

- **Les équations du poste de chargement :**

- Les équations des réceptivités :

$$RP30=BP. \overline{AU}$$

$$RP31= \overline{AU}$$

$$RP32=1$$

$$RP34=1$$

$$RP40=(L=2).(K=2)$$

$$RP49=C62.C71.C81. \overline{VS2}. \overline{AU}$$

$$RP50=DPC$$

$$RP60=C721. \overline{AU}$$

$$RP61=VS2. \overline{AU}$$

$$RP62=C71. \overline{AU}$$

$$RP63=C82. \overline{AU}$$

$$RP64=C722. \overline{AU}$$

$$RP65=\overline{VS2}. \overline{AU}$$

$$RP66= C721. \overline{AU}$$

$$RP67=C71.C81$$

$$RP68=1$$

$$RP71=CO$$

$$RP72=CY$$

- Les équations d'activation des étapes :

$$S30=INIT+RP72.X70$$

$$S31=(X30.RP30+X70.RP71). \overline{INIT}$$

$$S32=X31.RP31. \overline{INIT}$$

$$S33=X32. \overline{INIT}$$

$$S34=X31.RP31. \overline{INIT}$$

$$S40=X34. \overline{INIT}$$

$$S41=X40.RP40. \overline{INIT}$$

$$S50=X34. \overline{INIT}$$

$$S51=X50.RP50. \overline{INIT}$$

$$S60=X41.X51.RP49. \overline{INIT}$$

$$S61=X60.RP60. \overline{INIT}$$

$$S62=X61.RP61. \overline{INIT}$$

$$S63=X62.RP62. \overline{INIT}$$

$$S64=X63.RP63. \overline{INIT}$$

$$S65=X64.RP64. \overline{INIT}$$

$$S66=X65.RP65. \overline{INIT}$$

$$S67=X66.RP66. \overline{INIT}$$

$$S68=X67.RP67. \overline{INIT}$$

$$S70=X33.X68. \overline{INIT}$$

- Les équations de désactivation des étapes :

$$R30=X31. \overline{INIT}$$

$$R31=X32.X34+INIT$$

$$R32=X33+INIT$$

$$R33=X70+INIT$$

$$R34=X40.X50+INIT$$

$$R40=X41+INIT$$

$$R41=X60+INIT$$

$$R50=X51+INIT$$

$$R51=X60+INIT$$

$$R60=X61+INIT$$

$$R61=X62+INIT$$

$$R62=X63+INIT$$

$$R63=X64+INIT$$

$$R64=X65+INIT$$

$$R65=X66+INIT$$

$$R66=X67+INIT$$

$$R67=X68+INIT$$

$$R68=X70+INIT$$

$$R70=X30+X31+INIT$$

- Les équations d'états des étapes :

$$X30=S30+X30. \overline{R30}$$

$$X31=S31+X31. \overline{R31}$$

$$X32=S32+X32. \overline{R32}$$

$$X33=S33+X33. \overline{R33}$$

$$X34=S34+X34. \overline{R34}$$

$$X40=S40+X40. \overline{R40}$$

$$X41=S41+X41. \overline{R41}$$

$$X50=S50+X50. \overline{R50}$$

$$X51=S51+X51. \overline{R51}$$

$$X60=S60+X60. \overline{R60}$$

$$X61=S61+X61. \overline{R61}$$

$$X62=S62+X62. \overline{R62}$$

$$X63=S63+X63. \overline{R63}$$

$$X64=S64+X64. \overline{R64}$$

$$X65=S65+X65. \overline{R65}$$

$$X66=S66+X66. \overline{R66}$$

$$X67=S67+X67. \overline{R67}$$

$$X68=S68+X68. \overline{R68}$$

$$X70=S70+X70. \overline{R70}$$

- Les équations de l'activation des sorties :

$$BM. \overline{AU} = X33$$

$$BE2 = X61 + X62 + X63 + X64$$

$$D6 = X51 + X60 + X61 + X62 + X63 + X64 + X65 + X66$$

$$D71 = X62 + X66 + X67$$

$$D72 = X60 + X64$$

$$D81 = X67$$

$$D82 = X63$$

- **Les équations du cas de défaut au poste de préparation carton :**

- Les équations des réceptivités :

$$RP90 = BP.PC. (T / \overline{DPC} / 10s)$$

$$RP91 = BP.PC. (T / \overline{DPC} / 40s)$$

$$RP92 = DPC$$

$$RP93 = AQT$$

- Les équations d'activation des étapes :

$$S90 = INIT + X91.RP92 + X92.RP93$$

$$S91 = X90.RP90. \overline{INIT}$$

$$S92 = X91.RP91. \overline{INIT}$$

- Les équations de désactivation des étapes :

$$R90 = X91. \overline{INIT}$$

$$R91 = X90.X92 + INIT$$

$$R92 = X90 + INIT$$

- Les équations d'états des étapes :

$$X90 = S90 + X90. \overline{R90}$$

$$X91 = S91 + X91. \overline{R91}$$

$$X92 = S92 + X92. \overline{R92}$$

- Les équations de l'activation des sorties :

$$VJ-P-PR = X91$$

$$VR-P-PR = X92$$

- **Les équations du cas de défaut au poste de chargement :**

- Les équations des réceptivités :

$$RP95=(T/DPC/10s)$$

$$RP96=(T/DPC/40s)$$

$$RP97= \overline{DPC}$$

$$RP98= \overline{DPC}.AQT$$

- Les équations d'activation des étapes :

$$S95=INIT+X96.RP97+X97.RP98$$

$$S96=X95.RP95. \overline{INIT}$$

$$S97=X96.RP96. \overline{INIT}$$

- Les équations de désactivation des étapes :

$$R95=X96. \overline{INIT}$$

$$R96=X97+X95+INIT$$

$$R97=X97+ INIT$$

- Les équations d'états des étapes :

$$X95=S95+X95. \overline{R95}$$

$$X96=S96+X96. \overline{R96}$$

$$X97=S97+X97. \overline{R97}$$

- Les équations de l'activation des sorties :

$$VJ-P-CH=X96$$

$$VR-P-CH=X97$$

Résumé

L'industrie a besoin de plus en plus d'être rénovée. C'est la raison pour laquelle l'automatisation des unités de production est devenue, de nos jours, une nécessité absolue.

L'entreprise CO.G.B a proposé un thème d'automatisation du processus d'encartonnement de son produit Samsa 1,8 kg.

Dans le présent manuscrit, il a été proposé à cette automatisation des solutions techniques normalisées et commercialisées (8 vérins pneumatiques avec leurs distributeurs et limiteurs de débit, un moteur électrique asynchrone triphasé avec son réducteur de vitesse, des ventouses et autres éléments technologiques utilisés selon le besoin). Un dimensionnement a été fait pour les vérins, dans le but d'éviter toute sorte de flexion ou de flambage, tout en prenant en considération le facteur de vitesse de déplacement de leurs tiges. Le moteur a été dimensionné suivant son couple résistant et sa vitesse de rotation, il a été aussi vérifié au démarrage et régime établi.

Le GRAFCET assure la logistique de l'installation, ce dernier a été modélisé en programme (langage à contact) implémenté dans l'API S7-300 de Siemens gérant l'automatisme.

Mots/cléu: FAST, vérin pneumatique, distributeur pneumatique, moteur asynchrone, détecteur, automatisation, GRAFCET, API, programmation.