

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOULOU MAMMERI, TIZI-OUZOU



FACULTE DE GENIE ELECTRIQUE ET DE L'INFORMATIQUE

DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE

Mémoire de fin d'études

Présenté en vue de l'obtention

du Diplôme d'Ingénieur d'Etat en Electronique

Option : Contrôle

Thème

**Simulation avec FluidSim-P 3.6 et modélisation de la
chaîne de détournement et de poinçonnage des cuves
intérieures des réfrigérateurs de l'ENIEM à l'aide du
Grafcet**

Proposé par : Mr. CHAREF

Présenté par :

Djafar HABIRECHE

Dirigé par : Mme. DJOUAHER

Hacene OUAREM

Année universitaire 2008/2009

Soutenu le : 27 Juin 2009

Sommaire

Introduction générale	01
 Chapitre I - Généralités sur les systèmes automatisés	
I. Introduction	02
II. La partie opérative	02
1. Les Pré-actionneurs	03
A. Les électrovannes	03
B. Les distributeurs	05
C. Les relais	06
D. Les contacteurs	08
2. Les actionneurs	09
A. Les vérins	09
B. Les moteurs hydrauliques	12
C. Les ventouses	12
3. Les Capteurs	13
A. Les fins de courses	14
B. Les capteurs de proximité	15
III. La partie de commande	17
1. Liaisons Partie commande-Partie opérative	18
IV. Le pupitre de commande	18
1. Les voyants électriques	19
2. Les boutons poussoir	19
3. Le bouton d'arrêt d'urgence	19
V. Conclusion	20

Chapitre II - Description du fonctionnement de la chaîne de détourage et poinçonnage des cuves intérieures des réfrigérateurs - ENIEM –

I.	Introduction	21
II.	Description de la chaîne	21
1.	Le palonnier n°1	23
A.	Fonction	23
B.	Constitution	23
C.	Fonctionnement	23
2.	La presse de détourage	24
A.	Fonction	24
B.	Constitution	24
C.	Fonctionnement	25
3.	Le palonnier n° 2	25
A.	Fonction	25
B.	Constitution	25
C.	Fonctionnement	26
4.	La perceuse	27
A.	Fonction	27
B.	Constitution	27
C.	Fonctionnement	27
5.	Le tapis roulant	28
A.	Fonction	28
B.	Constitution	28
C.	Fonctionnement	28
III.	Conclusion	28

Chapitre III - Simulation du fonctionnement de la chaine de détourage et poinçonnage des cuves intérieures des réfrigérateurs – ENIEM –

I.	Présentation de FluidSim	29
1.	Mise en route de FluidSim	29
2.	Le module digital	32
3.	Les entrée/sorties TOR	32
II.	Simulation de la chaîne	33
1.	Le premier palonnier	33
A.	La partie opérative	33
B.	La partie de commande	34
C.	Le diagramme d'état du fonctionnement du premier n°1	34
D.	Le circuit logique du module MD1	36
E.	Les équations logiques, régissant ce circuit	36
F.	La simulation du fonctionnement du palonnier n°1	37
2.	La presse de détourage	43
A.	La partie opérative	43
B.	La partie de commande	44
C.	Le diagramme d'état de fonctionnement de la presse de détourage	45
D.	Le module digital	46
E.	Les équations logiques, régissant ce circuit	47
F.	La simulation du fonctionnement de la presse de détourage	48
3.	Le deuxième palonnier	52
A.	La partie opérative	52
B.	La partie de commande	53
C.	Le diagramme d'état du fonctionnement	

	du palonnier n° 2	55
D.	Le circuit logique des modules digitaux	56
E.	Les équations logiques, régissant le fonctionnement de ce palonnier	56
F.	La simulation du fonctionnement du deuxième palonnier	58
4.	LA PERCEUSE	66
A.	La partie opérative:	66
B.	La partie de commande	66
C.	Le diagramme d'état d'éléments de la perceuse	68
D.	Le module digital	68
E.	Les équations logiques, régissant ce circuit	69
F.	La simulation du fonctionnement de la perceuse	70
5.	Le tapis roulant	72
A.	La partie opérative	72
B.	La partie de commande	72
C.	Le diagramme d'état du fonctionnement du tapis roulant	73
D.	La simulation du fonctionnement du tapis roulant	73
I.	Conclusion	74

Chapitre IV - Modélisation de la chaîne à l'aide du Grafcet

I.	Introduction	75
II.	Introduction au Grafcet	75
III.	Niveau du GRAFCET	76
1.	Grafcet du premier niveau	76
2.	Grafcet du deuxième niveau	76

IV.	Mise en équations du Grafcet	76
V.	Modélisation de la chaîne à l'aide du Grafcet	77
1.	Grafcet de niveau 1 du premier palonnier	78
2.	Grafcet de niveau 1 de la presse de détournage	79
3.	Grafcet de niveau 1 de la perceuse	80
4.	Grafcet de niveau 1 du deuxième palonnier	81
5.	Grafcet de niveau 2 du premier palonnier	82
6.	Grafcet de niveau 2 de la presse de détournage	83
7.	Grafcet de niveau 2 de la perceuse	84
8.	Grafcet de niveau 2 du deuxième palonnier	85
VI.	Conclusion	86
	Conclusion générale	87

Liste des abréviations

Les capteurs de fin de course

Au niveau du premier palonnier

- LS0 : Fin de course supérieure des tiges des vérins A1 et A2.
- LS1 : Fin de course inférieure des tiges des vérins A1 et A2.
- LS2 : Fin de course à droite du chariot guidé par le moteur M1.
- LS3 : Fin de course à gauche du chariot guidé par le moteur M1.

Au niveau du deuxième palonnier

- LS4 : Fin de course supérieure des tiges des vérins A3 et A4.
- LS5 : Fin de course inférieure des tiges des vérins A3 et A4.
- LS6 : Fin de course supérieure des tiges des vérins A5 et A6.
- LS7 : Fin de course inférieure des tiges des vérins A5 et A6.
- LS8 : Fin de course à droite du chariot guidé par le moteur M2.
- LS9 : Fin de course à gauche du chariot guidé par le moteur M2.

Au niveau de la presse de détournage

- LS10 : Fin de course supérieure de la tige du vérin A7 (glissière).
- LS11 : Fin de course inférieure de la tige du vérin A7 (glissière).
- LS12 : Fin de course arrière de la tige du vérin A8 (patin mobile).
- LS13 : Fin de course avant de la tige du vérin A8 (patin mobile).

Au niveau de la perceuse

- LS14 : Fin de course arrière de la tige du vérin A9 (poinçon).
- LS15 : Fin de course avant de la tige du vérin A9 (poinçon).

LS16 : Fin de course arrière de la tige du vérin A10 (fixation).

LS17 : Fin de course avant de la tige du vérin A10 (fixation).

Les détecteurs de proximité

Au niveau du premier palonnier

OP0 : Détecte l'arrivée des cuves, venantes de la chaîne de thermoformage.

Au niveau de la presse de détournage

OP2 : Détecte la présence d'une cuve, sur la matrice inférieure de la presse de détournage.

Au niveau de la perceuse

OP3 : Détecte la présence d'une cuve, sur la table de la perceuse.

Les vérins

Au niveau du premier palonnier

A1 et A2 : Vérins hydrauliques verticaux alimentés en parallèle.

Au niveau du deuxième palonnier

A3 et A4 : Vérins hydrauliques verticaux de la partie droite de ce palonnier.

A5 et A6 : Vérins hydrauliques verticaux de la partie gauche de ce palonnier.

Au niveau de la presse de détournage

A7 : Vérin hydraulique vertical soulevant la glissière.

A8 : Vérin hydraulique d'entraînement horizontal du patin mobile.

Au niveau de la perceuse

A9 : Vérin hydraulique à simple effet. Il est doté d'un outil à

poinçons à l'extrémité de sa tige.

A10 : Vérin pneumatique à double effet. Il est doté d'un outil de fixation à l'extrémité de sa tige.

Les ventouses

Au niveau du premier palonnier

V1, V2, V1' et V2' : Ces ventouses sont alimentées en parallèle. Elles sont accrochées à un cadre entraîné par les vérins A1 et A2.

Au niveau du deuxième palonnier

V3, V4, V3' et V4' : Ces ventouses sont alimentées en parallèle. Elles sont accrochées à un cadre entraîné par les vérins A3 et A4.

V5, V6, V5' et V6' : Ces ventouses sont alimentées en parallèle. Elles sont accrochées à un cadre entraîné par les vérins A5 et A6.

Les moteurs :

Au niveau du premier palonnier

M1 : Moteur hydraulique à deux sens de rotation. Il permet le déplacement du chariot du premier palonnier.

Au niveau du deuxième palonnier

M2 : Moteur hydraulique à deux sens de rotation. Il permet le déplacement du chariot du deuxième palonnier.

Au niveau du tapis roulant

M3 : Moteur hydraulique à sens de rotation unique. Il permet la rotation du tapis roulant.

Les distributeurs :

Au niveau du premier palonnier

- SOL1 : Distributeur 4/3 à pilotage électropneumatique avec rappel de ressort à la position centrale, pour les vérins A1 et A2.
- SOL2 : Distributeur 2/2 à pilotage électropneumatique pour les ventouses V1, V2, V1' et V2'.
- SOL3 : Distributeur 4/3 à pilotage électropneumatique avec rappel de ressort à la position centrale, pour le moteur M1.

Au niveau du deuxième palonnier

- SOL6 : Distributeur 4/3 à pilotage électropneumatique avec rappel de ressort à la position centrale, pour les vérins A3 et A4.
- SOL7 : Distributeur 4/3 à pilotage électropneumatique avec rappel de ressort à la position centrale, pour les vérins A5 et A6.
- SOL8 : Distributeur 2/2 à pilotage électropneumatique pour les ventouses V3, V4, V3' et V4'.
- SOL9 : Distributeur 2/2 à pilotage électropneumatique pour les ventouses V5, V6, V5' et V6'.
- SOL10 : Distributeur 4/3 à pilotage électropneumatique avec rappel de ressort à la position centrale, pour le moteur M2.

Au niveau de la perceuse

- SOL4 : Distributeur 4/3 à pilotage électropneumatique avec rappel de ressort à la position centrale, pour le vérin A7.
- SOL5 : Distributeur 4/3 à pilotage électropneumatique avec rappel de ressort à la position centrale, pour le vérin A8.

Au niveau de la presse de détourage

- SOL11 : Distributeur 3/2 à pilotage électropneumatique avec rappel de ressort à la position de repos, pour le vérin à poinçon A9.
- SOL12 : Distributeur 4/3 à pilotage électropneumatique avec rappel de

ressort à la position centrale, pour le vérin de fixation A10.

Au niveau du tapis roulant

SOL13 : Distributeur 4/3 à pilotage électropneumatique avec rappel de ressort à la position centrale, pour le moteur M3.

Les modules digitaux

MD1 : Contient le circuit logique de commande du premier palonnier.

MD2 : Contient le circuit logique de commande de la presse de détournage.

MD3 : Contient le circuit logique de commande du deuxième palonnier sans le chariot.

MD4 : Contient le circuit logique de commande du déplacement du chariot du deuxième palonnier.

MD5 : Contient le circuit logique de commande de la perceuse.

Les électrovannes

Au niveau du premier palonnier

1A1-2 : Elle commande la sortie de tige des vérins A1 et A2, via le distributeur SOL1.

2A1-2 : Elle commande la rentrée de tige des vérins A1 et A2, via le distributeur SOL1.

1V1-2 : Elle commande l'aspiration des ventouses V1, V2, V1' et V2', via le distributeur SOL2.

2V1-2 : Elle commande l'arrêt de l'aspiration des ventouses V1, V2, V1' et V2', via le

distributeur SOL2.

M1G : Commande la rotation du moteur hydraulique M1 vers la gauche, via le distributeur SOL3.

M1D : Commande la rotation du moteur hydraulique M1 vers la droite, via le distributeur SOL3.

Au niveau du deuxième palonnier

1A3-4 : Elle commande la sortie de tige des vérins A3 et A4, via le distributeur SOL6.

2A3-4 : Elle commande la rentrée de tige des vérins A3 et A4, via le distributeur SOL6.

1V3-4 : Elle commande l'aspiration des ventouses V3, V4, V3' et V4', via le distributeur SOL9.

2V3-4 : Elle commande l'arrêt de l'aspiration des ventouses V3, V4, V3' et V4', via le distributeur SOL9.

1A5-6 : Elle commande la sortie de tige des vérins A5 et A6, via le distributeur SOL7.

2A5-6 : Elle commande la rentrée de tige des vérins A5 et A6, via le distributeur SOL7.

1V5-6 : Elle commande l'aspiration des ventouses V5, V6, V5' et V6', via le distributeur SOL8.

2V5-6 : Elle commande l'arrêt de l'aspiration des ventouses V5, V6, V5' et V6', via le

distributeur SOL8.

M2G : Commande la rotation du moteur hydraulique M2 vers la gauche, via le distributeur SOL10.

M2D : Commande la rotation du moteur hydraulique M2 vers la droite, via le distributeur SOL10.

Au niveau de la presse de détourage

1A7 : Elle commande la sortie de tige du vérin A7, via le distributeur SOL4.

2A7 : Elle commande la rentrée de tige du vérin A7, via le distributeur SOL4.

1A8 : Elle commande la sortie de tige du vérin A8, via le distributeur SOL5.

2A8 : Elle commande la rentrée de tige du vérin A8, via le distributeur SOL5.

Au niveau de la perceuse

1A9 : Elle commande la sortie de tige du vérin A9, via le distributeur SOL11.

1A10 : Elle commande la sortie de tige du vérin A10, via le distributeur SOL12.

2A10 : Elle commande la rentrée de tige du vérin A10, via le distributeur SOL12.

Au niveau du tapis roulant

M3 : Commande la rotation du moteur M3, via le distributeur SOL13.

Les relais

Au niveau du deuxième palonnier

J : Relais d'alimentation du module digital MD4

R1V3-4 : Transmet l'information de l'ouverture de l'électrovanne 1V3-4

R2V3-4 : Transmet l'information de la fermeture de l'électrovanne 1V3-4

R1V5-6 : Transmet l'information de l'ouverture de l'électrovanne 1V5-6

R2V5-6 : Transmet l'information de la fermeture de l'électrovanne 1V3-4

Au niveau du Grafcet

M : Bouton marche.

AU : Bouton d'arrêt d'urgence.

O1: Capteur optique (détection de la cuve au niveau du premier palonnier).

O2 : Capteur optique (détection de la cuve au niveau de la presse de détournage).

O3 : Capteur optique (détection de la cuve au niveau de la perceuse).

1a12 : Sortie des vérins A1 et A2.

1a34 : Sortie des vérins A3 et A4.

1a56 : Sortie des vérins A5 et A6.

1a7 : Sortie du vérin A7.

1a8 : Sortie du vérin A8.

1a9 : Sortie du vérin A9.

1a10 : Sortie du vérin A10.

2a12 : Rentrés des vérins A1 et A2.

2a34 : Rentrés des vérins A3 et A4.

2a56 : Rentrés des vérins A5 et A6.

2a7 : Rentré du vérin A7.

2a8 : Rentré du vérin A8.

2a9 : Rentré du vérin A9.

2a10 : Rentré du vérin A10.

1v12 : Aspiration de la cuve par les ventouses V1 et V2.

1v34 : Aspiration de la cuve par les ventouses V3 et V4.

1v56 : Aspiration de la cuve par les ventouses V5 et V6.

2v12 : Fin d'aspiration de la cuve par les ventouses V1 et V2.

2v34 : Fin d'aspiration de la cuve par les ventouses V3 et V4.

2v56 : Fin d'aspiration de la cuve par les ventouses V5 et V6.

m1g : Rotation du moteur M1 dans le sens qui déplacera le chariot à gauche.

m1d : Rotation du moteur M1 dans le sens qui déplacera le chariot à droite.

m2g : Rotation du moteur M2 dans le sens qui déplacera le chariot à gauche.

m2d : Rotation du moteur M2 dans le sens qui déplacera le chariot à droite.

Introduction générale

L'automatisation est un domaine pluridisciplinaire qui associe les notions de la mécanique, de l'électronique et de l'informatique. Elle permet d'exécuter des tâches industrielles avec une intervention humaine très réduite. Elle devient ces dernières années le centre de préoccupation d'un bon nombre d'entreprises ; à cause de son évolution vers l'étude et la maîtrise des systèmes de plus en plus complexes, permettant l'exécution et le contrôle de tâches techniques, par des machines fonctionnant sans intervention humaine ; ou à l'aide d'une intervention réduite.

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

Le développement des solutions, de plus en plus complexes, proposées nécessite plusieurs étapes. La simulation en fait partie, elle consiste dans le test et la vérification du bon fonctionnement de ces solutions ; avant leurs réalisations matérielles ainsi que leurs mises en route.

Dans ce contexte, le thème de notre projet de fin d'études, est la simulation de la chaîne de détourage et de poinçonnage des cuves intérieures des réfrigérateurs de l'ENIEM avec FluidSim et sa modélisation à l'aide du Gfrcet. Pour cela on doit d'abord démystifier toutes ses ambiguïtés et connaître ses exigences fonctionnelles. Notre plan de travail est le suivant:

- Le premier chapitre est consacré pour les généralités sur les systèmes de production automatisés, ainsi la présentation des différents composants utilisés dans la chaîne.
- Le second chapitre est réservé à la description du fonctionnement de cette chaîne.
- Le troisième chapitre est consacré à la simulation du fonctionnement de cette chaîne.
- Le quatrième chapitre est réservé à la modélisation du fonctionnement de cette chaîne à l'aide du Gfrcet.

I. Introduction

Un système automatisé de production est un ensemble d'éléments en interactions organisés dans un but précis : agir sur une matière d'œuvre afin de lui donner une valeur ajoutée.

Le système automatisé est soumis à des contraintes : énergétiques, de configuration, de réglage et d'exploitation qui interviennent dans tous les modes de marche et d'arrêt du système.

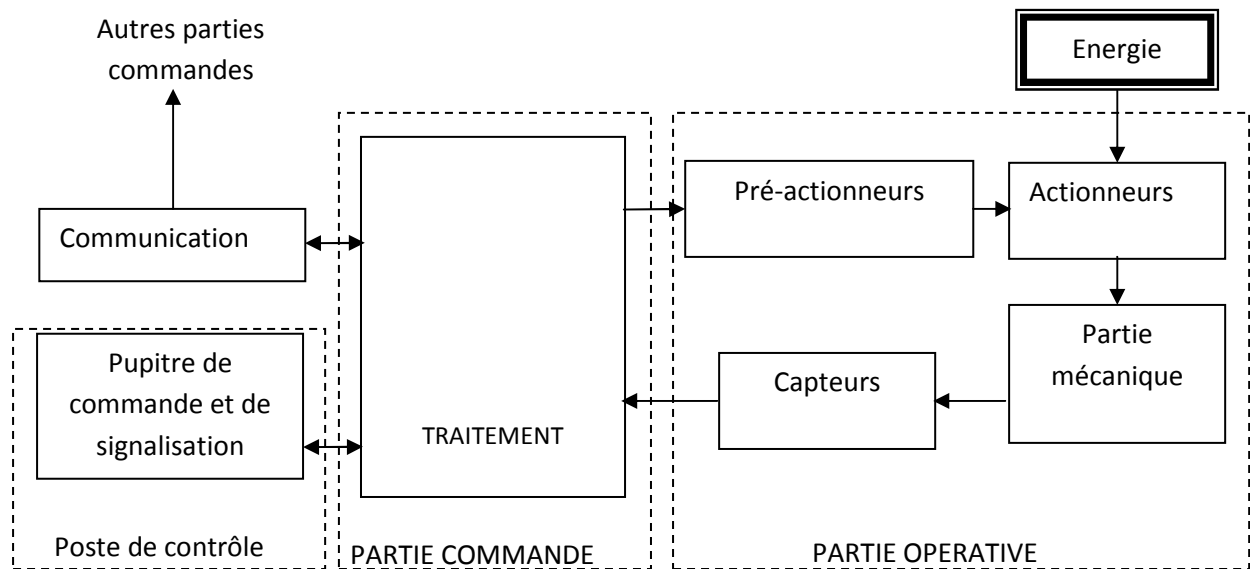


Figure I-1. Structure d'un système automatisé de production.

Comme indiqué sur la Figure I-1, un système automatisé de production est composé de deux grandes parties :

- Une partie opérative
- Une partie commande

II. La partie opérative

La partie opérative d'un système automatisé peut être décrite en une ou plusieurs chaînes fonctionnelles. Ces dernières comportent une chaîne d'action et une chaîne d'acquisition.

La chaîne d'action est un ensemble de composants organisés, dont le rôle est d'exécuter les ordres émis par la partie commande sur la matière d'œuvre, elle est constituée de :

- Pré-actionneurs (électrovannes, distributeurs, etc.).

- Actionneurs (vérins, moteurs, etc.).

La chaîne d'acquisition est un ensemble organisé de composants, dont le rôle est de prélever des grandeurs physiques sur la partie opérative ou sur l'environnement, et de les convertir en signaux interprétables par la partie commande. Elle est constituée de capteurs.

1. Les Pré-actionneurs

Un pré-actionneur est un composant de gestion de l'énergie d'alimentation d'un actionneur. Il reçoit l'information de la commande, puis, délivre en sortie la puissance nécessaire pour l'actionner. La figure I-2 illustre ceci.

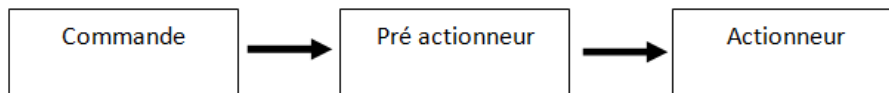


Figure I-2. Position du pré actionneur

Le choix d'un pré-actionneur, dépend essentiellement de :

- La nature de l'énergie de l'actionneur à gérer et de sa puissance.
- La nature du signal de sa commande.

Parmi ces pré-actionneurs, on citera :

A. Les électrovannes

L'électrovanne ou l'électrovalve (figure I-3), est un dispositif commandé électroniquement ; permettant d'autoriser ou d'interrompre par une action mécanique, la circulation d'un fluide ou d'un gaz dans un circuit.

Il existe deux types d'électrovannes : « Tout Ou Rien » et « proportionnelle ».

- Les électrovannes dites « Tout Ou Rien », sont des électrovannes qui ne peuvent s'ouvrir qu'en entier ou pas du tout. L'état change suivant qu'elle soit alimentée électriquement ou non.
- Les électrovannes proportionnelles sont celles qui peuvent être ouvertes proportionnellement en fonction du besoin. Elles sont généralement commandées.



Figure I-3. Illustration d'une Electrovanne

Une électrovanne est composée de deux parties :

1. Une tête magnétique constituée principalement d'une bobine, tube, culasse, bague de déphasage, ressort (figure I-4).
2. Un corps, comprenant des orifices de raccordement, obturés soit par clapet, membrane ou piston, etc. selon le type de technologie employée. 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.

Construction d'une électrovanne¹ :

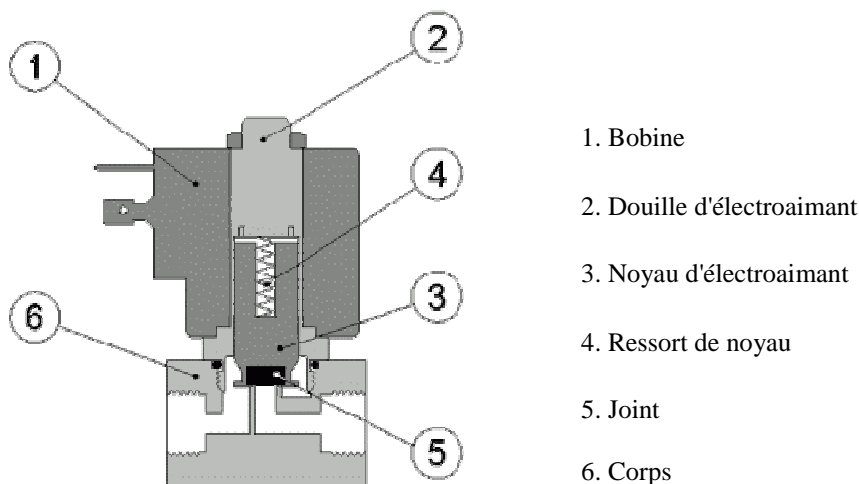


Figure I-4. Construction d'une électrovanne directe

¹ www.jaksa.si

B. Les distributeurs

Les distributeurs permettent de distribuer l'énergie pneumatique ou hydraulique aux actionneurs ou à d'autres distributeurs. Ils sont commandés par la partie de commande. En général, un distributeur comporte un coulisseau ou tiroir qui se déplace dans le corps du distributeur. Il permet de fermer ou d'ouvrir les orifices où circule l'air. La figure I-5 illustre une coupe verticale d'un distributeur.

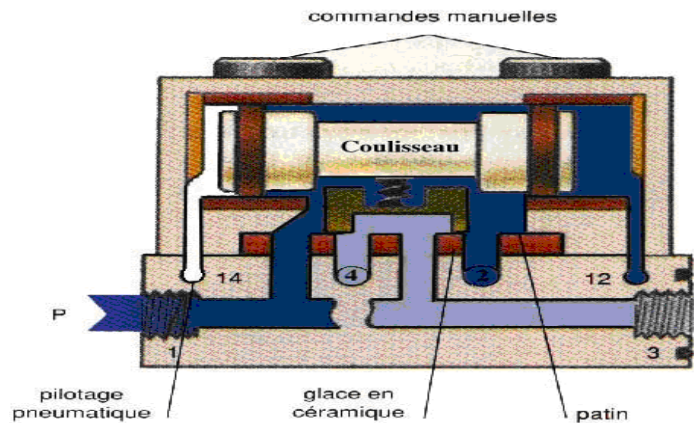


Figure I-5. Construction d'un distributeur.

Le choix d'un distributeur se fait selon le type et la puissance de l'actionneur à contrôler.

- Dans le cas où le vérin est à simple effet, il ne comporte donc qu'un seul orifice à alimenter. On utilise un distributeur avec un seul orifice de sortie. Exemple : Un distributeur 3/2 à trois orifices (pression, sortie, échappement) et à deux positions. La figure I-6 montre son symbole.

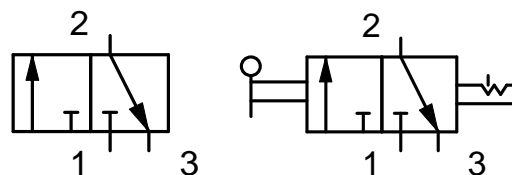


Figure I-6. Distributeur 3/2.

- Dans le cas où le vérin est à double effet, il comporte donc deux orifices sur lesquels, il faut alterner les états de pression et d'échappement. On utilise un distributeur comportant deux orifices de sortie. Deux possibilités sont offertes :
- Distributeurs 4/2 à quatre orifices (pression, sortie 1, sortie 2, échappement) et deux positions. La figure I-7 montre son symbole.

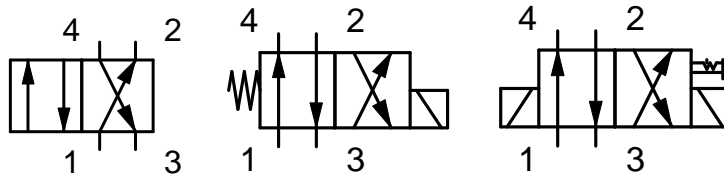


Figure I-7. Distributeur 4/2.

- Distributeurs 4/3 à quatre orifices (pression, sortie 1, sortie 2, échappement) et trois positions. La figure I-8 montre son symbole.

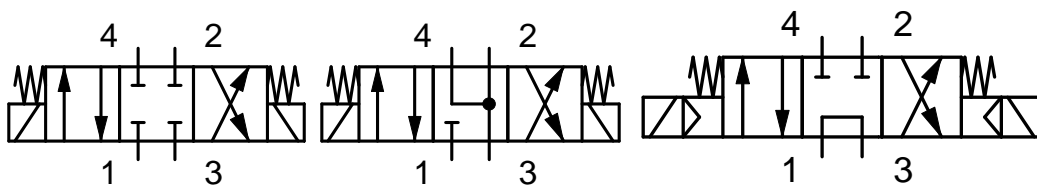


Figure I-8. Distributeur 4/3.

C. Les relais²

Le relais électromagnétique est un constituant de la famille des pré-actionneurs. Il permet d'établir la commutation d'un circuit en fonction d'un signal extérieur. Le circuit commuté peut être un circuit de commande ou un circuit de puissance alimentant un actionneur électrique. La figure I-9 montre une image d'un relais électromagnétique.

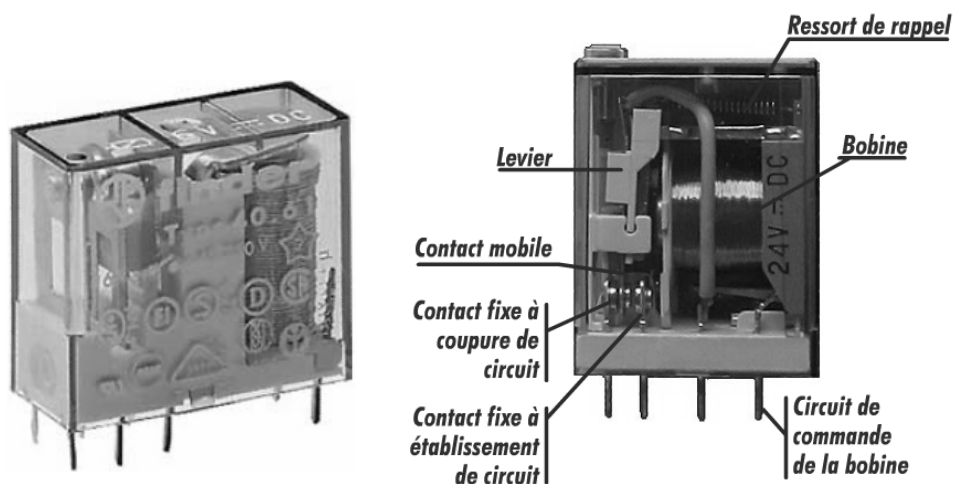


Figure I-9. Le relais électromagnétique et ses composants.

² www.guidedesautomatismes.com

Sur le schéma de la figure I-10, le relais dispose d'un seul contact à établissement de circuit. Tant que la bobine n'est pas alimentée le contact est ouvert.

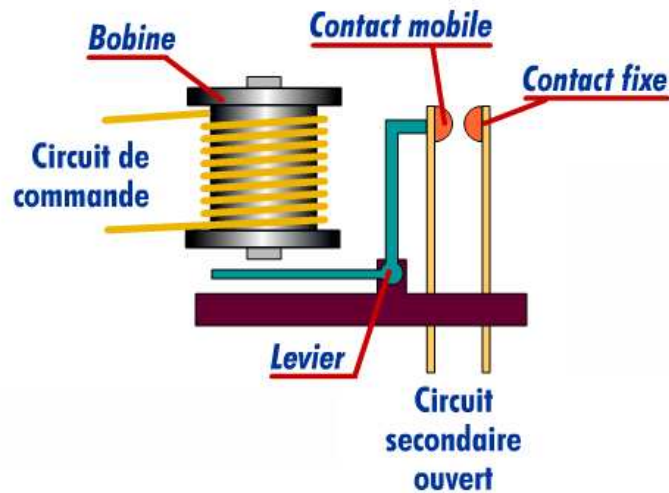


Figure I-10. Le relais à l'état ouvert.

Lorsque la bobine est alimentée, elle se comporte comme un électro-aimant et attire ainsi le levier. Le contact mobile est poussé par le levier vers le contact fixe. Le circuit secondaire est alors fermé. la figure I-11 illustre le relais à l'état fermé.

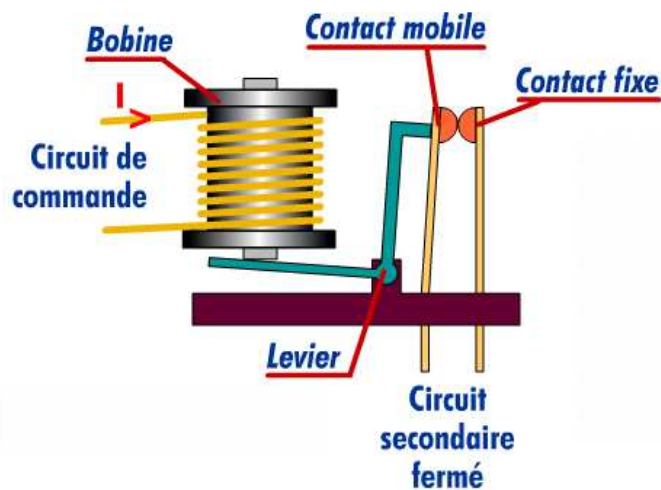


Figure I-11. Le relais à l'état fermé.

Les relais électromagnétiques sont équipés de plusieurs séries de contacts à établissement et à coupure de circuit. Comme indiqué sur la figure I-12.

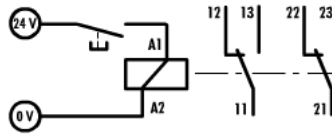


Figure I-12. Relais avec plusieurs contacts.

D. Les contacteurs³

Le contacteur est un pré-actionneur destiné à ouvrir ou fermer un circuit électrique, par l'intermédiaire d'un circuit de commande. Il alimente l'actionneur électrique en énergie de puissance, en fonction des consignes opératives issues de la partie de commande. Sur le schéma de la figure I-13, la consigne opérative est matérialisée par l'interrupteur du circuit de commande.

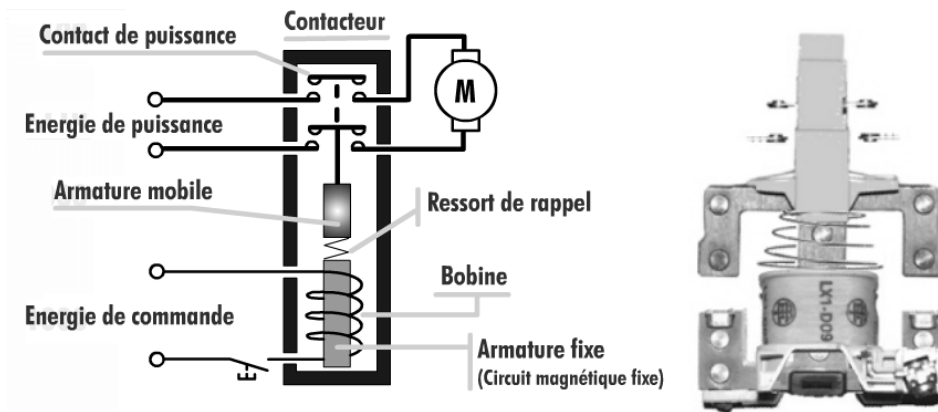


Figure I-13. Contacteur à l'état ouvert

La bobine étant alimentée par le circuit de commande, le noyau se transforme en aimant. Le champ magnétique créé provoque le déplacement de l'armature mobile qui comprime le ressort de rappel et ferme les contacts de puissance. L'actionneur est alors alimenté. La figure I-14 illustre cet état.

³ www.guidedesautomatismes.com

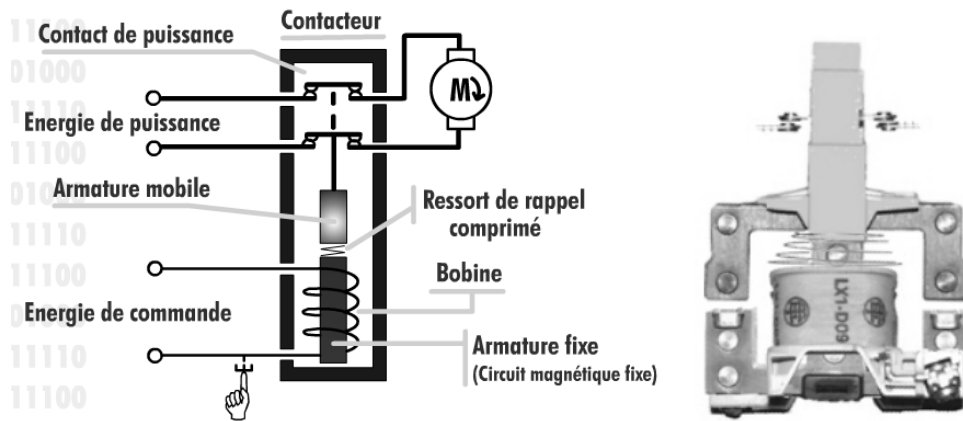


Figure I-14. Contacteur à l'état fermé

2. Les actionneurs

Un actionneur est un organe de la partie opérative. Il reçoit les ordres de la partie commande via un pré-actionneur. Il convertit l'énergie qui lui est fournie en travail utile. Suivant l'énergie qu'ils transforment, les actionneurs peuvent être pneumatiques, hydrauliques ou électriques. La figure I-15 montre le rôle de l'actionneur.

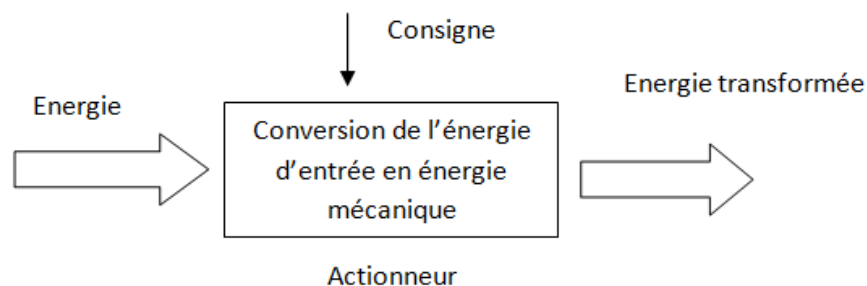


Figure I-15. Rôle de l'actionneur.

Dans le cas des actionneurs utilisant l'énergie d'un fluide, cette dernière est convertie en énergie mécanique afin d'accomplir certaines tâches. Parmi ces actionneurs, on citera :

- Les vérins
- Les moteurs
- Les ventouses

A. Les vérins

Les vérins sont des actionneurs très utilisés dans les systèmes automatisés de production. Ils convertissent l'énergie du fluide comprimé en mouvement de translation. Leur commande s'effectue via des distributeurs adéquats. Ceci du fait de l'existence de deux familles :

- Les vérins à simple effet.
- les vérins à double effet.

Les vérins sont utilisés pour accomplir un grand nombre de tâches. Parmi celles-ci, le déplacement d'objet, le poinçonnage, le pressage, la fixation, et cetera.

Remarque :

Les vérins pneumatiques utilisent des pressions de service de 2 à 10 bars. Ils sont souvent utilisés pour accomplir des tâches ne nécessitant pas de grandes puissances. Par contre, les vérins hydrauliques utilisent des pressions de service pouvant atteindre 350 bars. Ils sont utilisés pour accomplir des tâches nécessitant des grandes puissances, tel le pressage.

Constitution d'un vérin

Les vérins sont généralement constitués d'un piston et d'une tige, se déplaçant librement à l'intérieur d'un cylindre. Pour faire sortir la tige, il faut appliquer une certaine pression sur la face avant du piston ou sur la face arrière pour la faire rentrer.

Ils peuvent être à simple effet ou à double effet. Généralement, ils possèdent des amortisseurs pour réduire le choc avec les parois du cylindre. Sur la figure I-16, on peut apercevoir les différents composants d'un vérin.

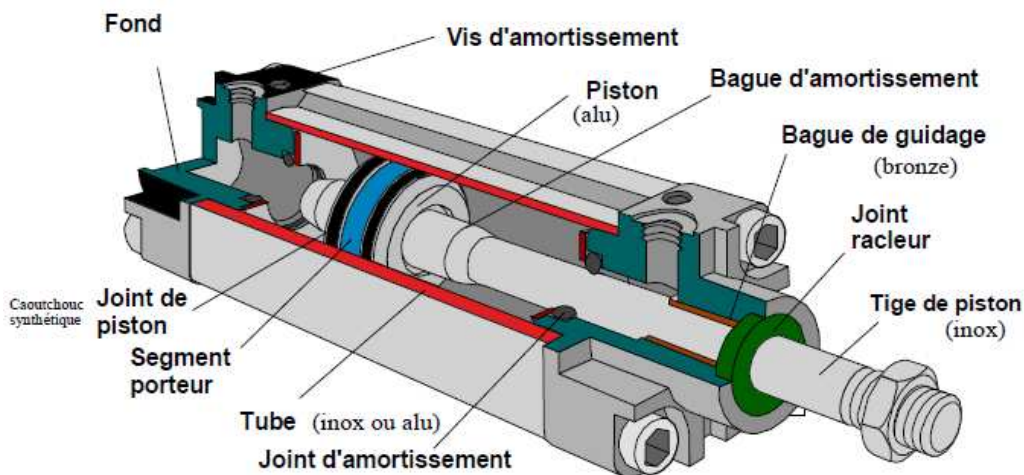


Figure I-16. Construction d'un vérin.⁴

Vérins simple effet:

Un vérin à simple effet, possède une seule entrée pour le fluide sous pression. Il ne développe l'effort que dans une seule direction. La course de retour à vide est réalisée par la

⁴ MECA2755, cours de pneumatique, Université Catholique de Louvain

détente d'un ressort ou par des forces extérieures (charges). L'emploi de ces vérins est limité aux faibles courses. La figure I-17 montre un vérin à simple effet.

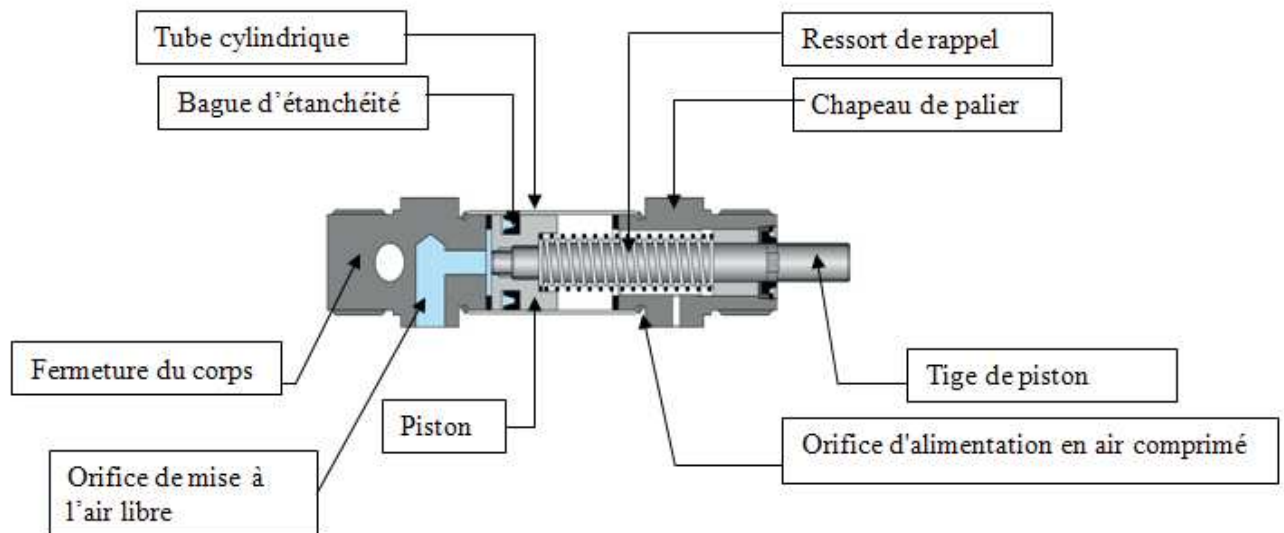


Figure I-17. Vérin simple effet.

Vérins à double effet:

Un vérin à double effet comporte deux orifices sur lesquels, l'alimentation et l'échappement sont alternativement appliqués. Ceci entraîne le déplacement du piston dans un sens, puis dans l'autre.

L'effort en sortie de la tige est plus grand que l'effort en rentrée de la tige, car, la pression n'agit pas sur la surface occupée par la tige. Ces vérins sont souvent équipés d'amortisseurs de fin de course qui évitent les chocs du piston avec les parois du cylindre. La figure I-18, montre un vérin à double effet.

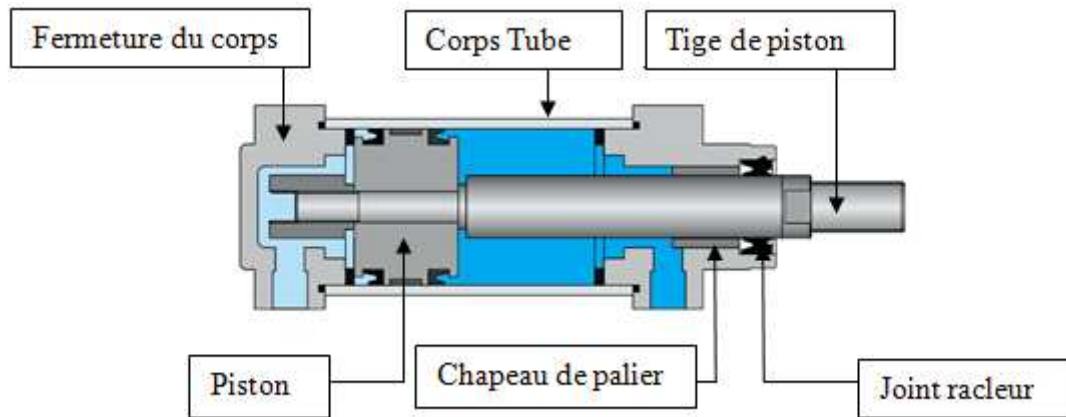


Figure I-18. Vérins à double effet.

B. Les moteurs hydrauliques

Tout comme les vérins, les moteurs hydrauliques utilisent l'énergie du fluide comprimé pour réaliser un mouvement de rotation. Il existe des moteurs hydrauliques avec mouvement de rotation unique, et d'autres avec mouvement de rotation double. La figure I-18 illustre ces différents moteurs.

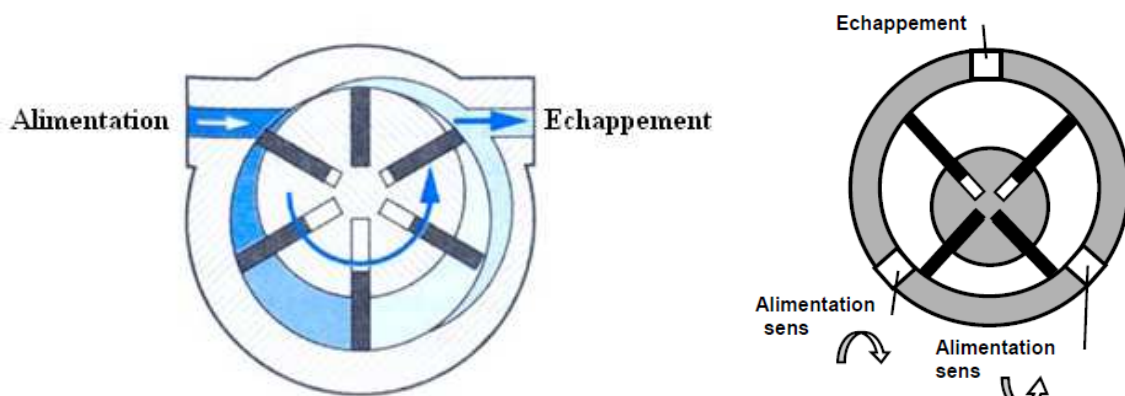


Figure I-18. Moteurs hydrauliques

C. Les ventouses

Les ventouses sont des actionneurs utilisant exclusivement l'énergie pneumatique. Elles sont utilisées pour accrocher des objets.

Le passage de l'air dans le rétrécissement augmente sa vitesse et diminue sa pression ($p_2 < p_1$). Il se crée alors une dépression qui permet d'aspirer l'air de la ventouse. Ce phénomène s'appelle l'effet venturi (figure I-19). On peut apercevoir une ventouse sur la figure I-20.

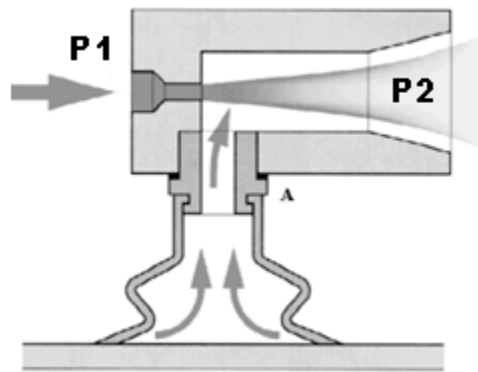


Figure I-19. Effet venturi

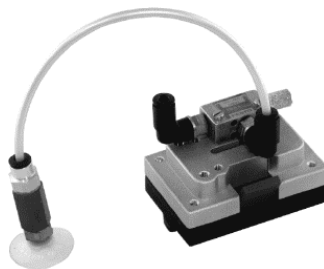


Figure I-20. Ventouse⁵

3. Les Capteurs⁶

Les capteurs sont des composants de la chaîne d'acquisition dans une chaîne fonctionnelle. Ils prélèvent les informations sur le comportement de la partie opérative, et les transforment en des informations exploitables par la partie commande. Une information est une grandeur abstraite, qui précise un événement particulier parmi un ensemble d'événements possibles. Pour pouvoir être traitée, cette information sera portée par un support physique, on parlera alors de signal. Les signaux sont généralement de nature électrique ou pneumatique. Dans les systèmes automatisés séquentiels, la partie commande traite des variables logiques ou numériques. L'information délivrée par un capteur pourra être logique (Tout Ou Rien), numérique (valeur discrète), ou analogique. Dans ce cas, il faudra adjoindre à la partie commande, un module de conversion analogique numérique.

⁵ FluidSim-P version 3.6

⁶ <http://philippe.berger2.free.fr>

On peut caractériser les capteurs selon deux critères:

- En fonction de la grandeur mesurée. On parle alors de capteur de position, de température, de vitesse, de force, de pression, etc. ;
- En fonction du caractère de l'information délivrée. On parle alors de capteurs logiques appelés aussi capteurs Tout Ou Rien (TOR), numérique (valeur discrète), ou analogique.

On peut alors classer les capteurs en deux catégories, les capteurs à contact qui nécessitent un contact direct avec l'objet à détecter et les capteurs de proximité. Chaque catégorie peut être subdivisée en trois catégories de capteurs : les capteurs mécaniques, électriques et pneumatiques. Les principales caractéristiques des capteurs sont :

- **L'étendue de la mesure** : c'est la différence entre le plus petit signal détecté et le plus grand perceptible sans risque de destruction pour le capteur.
- **La sensibilité** : c'est la plus petite variation d'une grandeur physique que peut détecter un capteur.
- **La rapidité** : c'est le temps de réaction d'un capteur entre la variation de la grandeur physique qu'il mesure et l'instant où l'information prise en compte par la partie commande.
- **La précision** : c'est la capacité de répétitivité d'une information position, d'une vitesse, et cetera.

A. Les fins de courses⁷

Les détecteurs de position sont des capteurs à contact. Ils peuvent être équipés d'un galet, d'une tige souple, d'une bille. L'information donnée par ce type de capteur est de type Tout Ou Rien et peut être électrique ou pneumatique. La figure I-21 illustre un détecteur de fin de course à galet.

⁷ www.guidedesautomatismes.com

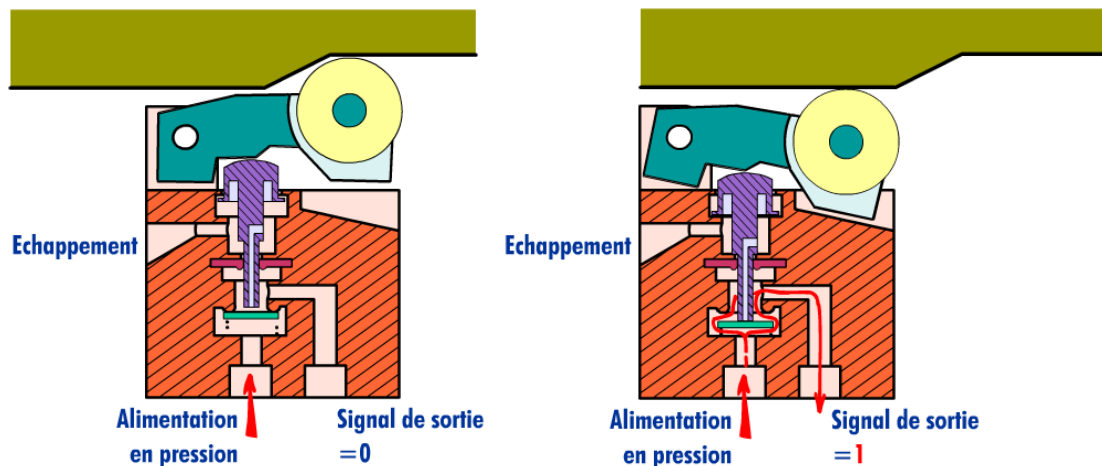


Figure I-21. Fin de course à galet.

B. Les capteurs de proximité

Un capteur photoélectrique est un capteur de proximité. Il se compose d'un émetteur (LED Infrarouge, Laser ...etc.) associé à un récepteur (photodiode, phototransistor...etc.). La détection d'un objet se fait par coupure ou variation d'un faisceau visible ou non. Le signal est amplifié pour être exploité par la partie commande. Parmi ces capteurs, on peut citer :

- **Capteur optique à réflexion directe**

Ce type de capteur est doté à la fois d'un émetteur et d'un récepteur. L'émetteur émet en permanence un faisceau visible (lumière) ou non visible (Infrarouge). La présence d'un objet dans la trajectoire de ce faisceau renvoie ce dernier vers le récepteur. Ce qui est traduit par la détection de cet objet. Par contre, l'absence d'objet sur cette trajectoire fait qu'aucun faisceau n'est renvoyé vers le récepteur, ce qui est traduit par non détection d'objet. La figure I-22, montre les cas possibles avec ce type de capteurs.

Ce genre de capteur est utilisé lorsque les surfaces des objets à détectés possèdent des bonnes caractéristiques de réflexion.

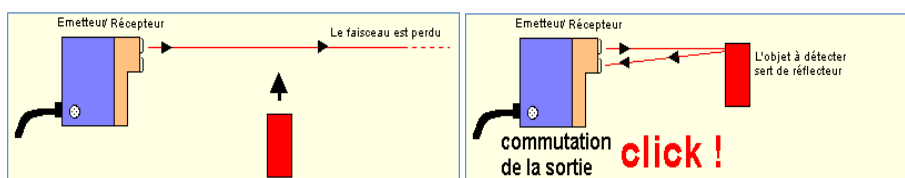


Figure I-22. Capteur optique à réflexion directe

- **Capteur optique du type Barrage**

Ce type de capteur est composé d'un émetteur disposé en face d'un récepteur. L'émetteur émet en permanence un faisceau visible (lumière) ou non visible (Infrarouge). L'absence d'objet sur la trajectoire du faisceau émis, fait que ce dernier est directement capté par le récepteur. Ce qui est traduit par non détection d'objet. Par contre, la présence d'un objet sur cette trajectoire empêche le faisceau d'atteindre le récepteur, ce qui est traduit par la détection de cet objet. La figure I-23, montre les cas possibles avec ce type de capteurs.

On peut utiliser ce type de capteur pour la détection de tout objet non transparent.

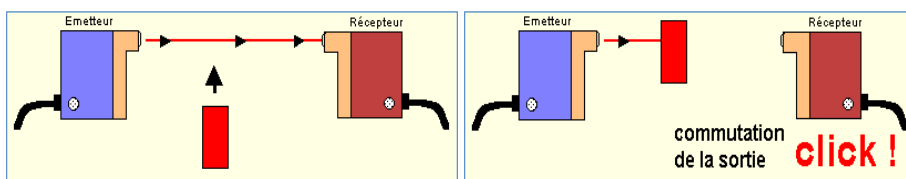


Figure I-23. Capteur optique du type Barrage

- **Capteur optique à reflex**

Un capteur optique à reflex est doté à la fois d'un émetteur et d'un récepteur. L'émetteur émet en permanence un faisceau visible (lumière) ou non visible (Infrarouge). En l'absence d'objet sur la trajectoire du faisceau émis, ce dernier est réfléchi vers le récepteur par un réflecteur placé directement en face. Dans ce cas aucun signal de détection n'est émis. La présence d'un objet sur cette trajectoire empêche le faisceau de n'atteindre ni le réflecteur, ni le récepteur. Ce qui est traduit par un signal de détection d'objet. La figure I-24, montre les cas possibles avec ce type de capteurs.

L'usage de ce type de capteur est limité à la détection d'objet avec des surfaces n'ayant pas une bonne caractéristique de réflexion.

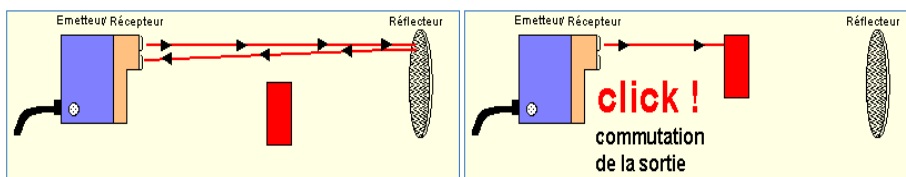


Figure I-24. Capteur optique avec reflex

III. La partie de commande⁸

La partie de commande « Cerveau » du système automatisé doit gérer le fonctionnement du système. Elle est chargée d'élaborer les consignes opératives à la destination de la partie opérative, en fonction des ses entrées (Comptes-rendus des capteurs et des consignes de l'opérateur) et des règles de traitement décrites par les équations logiques (Un programme, Un GRAFCET...etc.). Ceci est illustré sur la figure I-25.

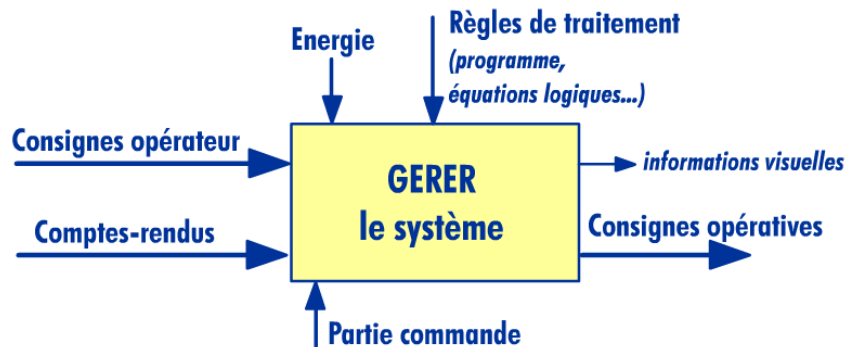


Figure I-25. Partie de commande

Les informations des entrées issues du pupitre et de la partie opérative, sont reliées à la partie de commande par ses entrées. Ces dernières sont exploitées par l'organe de traitement qui applique les règles de traitement afin de déterminer quelles sorties doivent être activées. A l'issu du traitement, les sorties de la partie de commande sont transmises à la partie opérative ou au pupitre. La figure I-26 montre le rôle de cette partie.

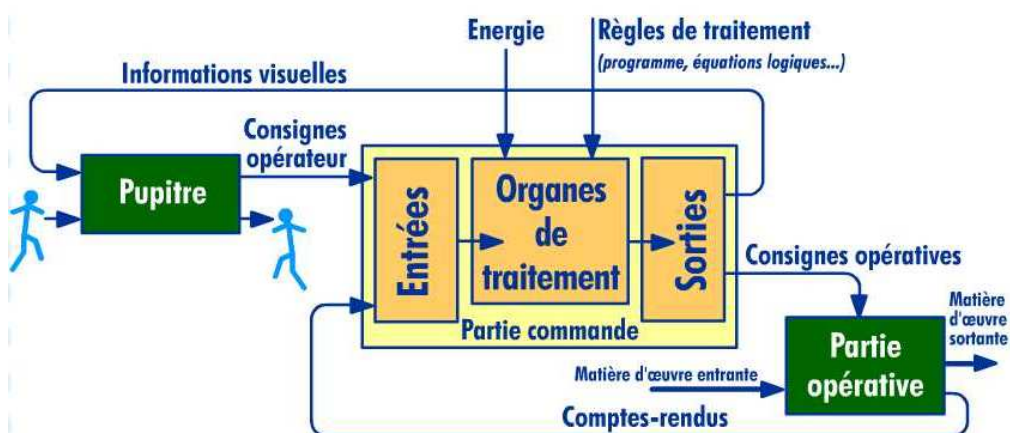


Figure I-26. Structure de la partie commande

⁸ www.guidedesautomatismes.com

1. Liaisons Partie commande-Partie opérative

La partie opérative reçoit les informations issues des capteurs et du pupitre. Elle adresse des consignes opératives aux pré-actionneurs et des messages à l'opérateur via les éléments de visualisation du pupitre (figure I-27). Dans la majorité des cas, toutes ces informations (d'entrée et de sortie) sont des signaux électriques.

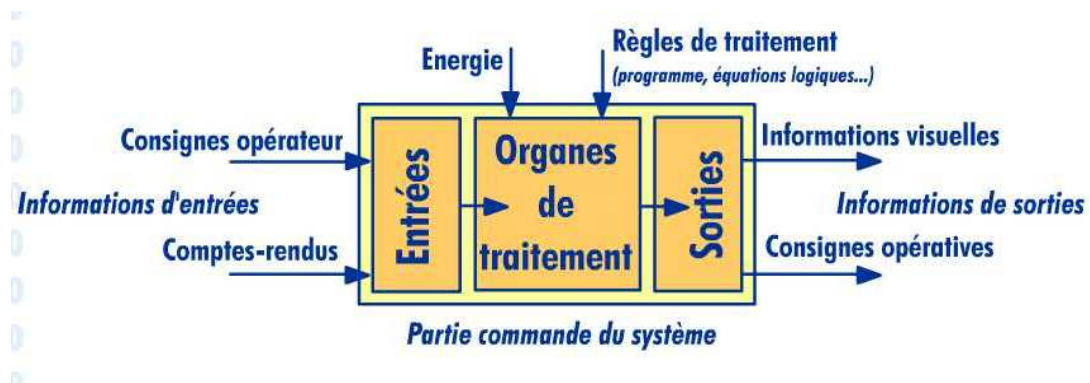


Figure I-27. Liaison Partie opérative-Partie commande

IV. Le pupitre de commande⁹

Le pupitre est un des éléments permettant le dialogue entre l'opérateur et la partie commande. L'opérateur envoie des consignes et reçoit des informations principalement visuelles. Il dispose pour cela des différentes formes de boutons, sélecteur et voyants.



Figure I-28. Le pupitre de commande

⁹www.guidedesautomatismes.com

1. Les voyants électriques

Les voyants lumineux sont omniprésents sur les pupitres des systèmes. Leurs couleurs permettent de différencier leurs messages : en marche, à l'arrêt, en défaut, prêt...etc. la figure I-29, montre deux exemples de ces voyants.



Figure I-29. Les voyants électriques et leur symbole

Les voyants lumineux, comportent une ampoule ou un système de diodes électroluminescentes (LED). La majorité des voyants fonctionnent sous une tension de 24V.

2. Les boutons poussoir

Les boutons poussoir sont les éléments de dialogue de bases sur les pupitres traditionnels. Leur couleur permet de distinguer leurs fonction: mise en marche, mise à l'arrêt, mise en ou hors énergie, consigne, acquittement...etc. on peut apercevoir un exemple de bouton poussoir sur la figure I-30.



Figure I-30. Bouton poussoir

3. Le bouton d'arrêt d'urgence

Le bouton d'arrêt d'urgence est un bouton poussoir "Coup de poing" (la large zone d'appui permet de l'enclencher en donnant un coup de poing). Il est de couleur rouge (Couleur des boutons d'arrêt). La figure I-31, montre un exemple de bouton d'arrêt d'urgence.



Figure I-31. Bouton d'arrêt d'urgence

V. Conclusion

Au cours de ce chapitre, nous avons étudié les composants d'un système automatisé de production et nous avons pu retenir, que le choix d'un composant par rapport à un autre est soumis à certaines conditions. Pour réussir l'automatisation d'un procédé, ce choix doit être optimal.

Ces notions nous serviront lors de l'étude au chapitre suivant, du fonctionnement de la chaîne de détournage et poinçonnage des cuves intérieures des réfrigérateurs de l'ENIEM.

I. Introduction

La fabrication de réfrigérateurs au niveau de l'unité froid de l'ENIEM, se fait grâce une série de chaînes industrielles. Ces chaînes opèrent des traitements aux matières initiales (Feuilles de plastiques, tôles métalliques etc.) les unes après les autres, jusqu'à en obtenir des produits finaux (Réfrigérateurs).

Nous nous intéressons à la chaîne du détourage et poinçonnage des cuves intérieures des réfrigérateurs. La fonction de cette station est d'enlever l'excédent de matière des cuves en plastique qui proviennent de la chaîne du thermoformage. Puis d'opérer des poinçons sur les parois latérales de ces cuves. Pour réaliser ces fonctions, deux palonniers, une presse, une perceuse et un tapis roulant sont mis en œuvre. Tous commandés par un automate TOSHIBA.

Tout au long de ce chapitre, nous allons décrire l'ensemble de la chaîne et expliquer son fonctionnement.

II. Description de la chaîne¹⁰

La chaîne du détourage et poinçonnage des cuves intérieurs des réfrigérateurs est composée de cinq postes : Une presse de détourage, une perceuse, deux palonniers et un tapis roulant. La cuve venant de la chaîne de thermoformage, est récupérée par le palonnier n°1. Il la dépose sur la matrice inférieure de la presse de détourage. Celle-ci enlève l'excédent de matière de la cuve (détourage). Puis, elle la remet à la disposition du palonnier n°2. Ce dernier, la récupère et la transfère vers la perceuse pour être poinçonnée. Ensuite, le même palonnier la récupère et la dépose sur le tapis roulant pour être évacuée vers la chaîne suivante. Sur la figure II-1, on peut distinguer, d'un point de vue fonctionnel, les différents postes de cette chaîne industrielle.

¹⁰ Documentations ENIEM.

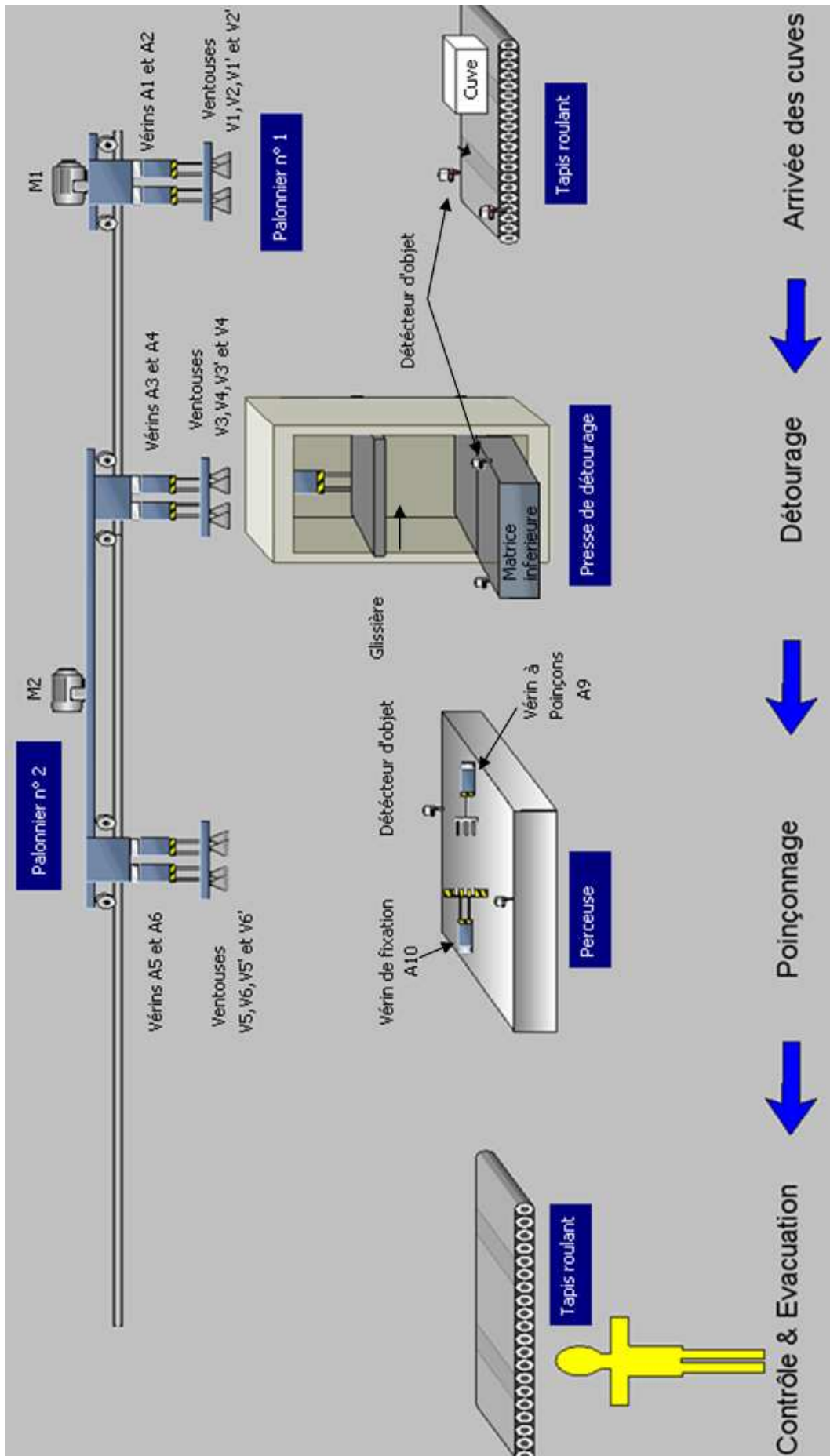


Figure II-1 Les différents postes de la chaîne

1. Le palonnier n°1

A. Fonction

Le rôle du palonnier n°1, est de récupérer les cuves qui proviennent de la chaîne de thermoformage et les transférer sur la matrice inférieure de la presse de détourage.

B. Constitution

Le palonnier n°1, comme sur la figure II-2, est constitué de deux vérins à double effet verticaux, portant à l'extrémité de leurs tiges quatre ventouses. Les deux vérins sont dotés de capteurs de fin de course en sortie et en rentrée de tige. L'ensemble ainsi constitué est accroché à un chariot qui peut se déplacer sur un axe horizontal à l'aide du moteur hydraulique M1.

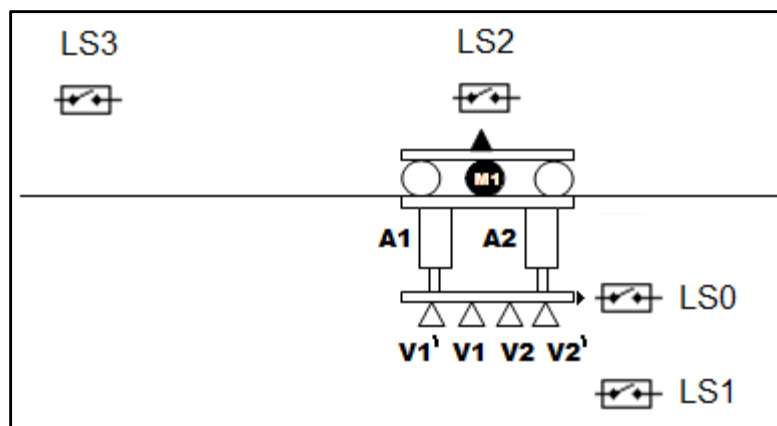


Figure II-2. Le palonnier n°1

C. Fonctionnement

Lorsqu'une cuve est détectée par le capteur optique **OP0**, ce dernier envoie un signal à la partie de commande, qui actionne la sortie des tiges des vérins **A1** et **A2**. Un capteur de fin de course inférieure **LS1** arrête ces vérins, déclenche une temporisation de deux secondes et ordonne l'aspiration de la cuve par les ventouses **V1**, **V2**, **V1'**, **V2'**. Une fois la temporisation écoulée, la partie de commande actionne la rentrée des tiges des deux vérins. Un autre capteur de fin de course supérieure **LS0** signale la fin de cette action et démarre le moteur hydraulique **M1** qui déplace le chariot dans la direction de la presse. Une fois arrivé le capteur **LS3** arrête le moteur et réactionne la sortie des tiges des vérins **A1** et **A2**. Le capteur de fin de course **LS1** arrête les deux vérins, met fin à l'aspiration de la cuve par les ventouses et ordonne la rentrée des tiges. Ce qui fait que la cuve est déposée sur la matrice inférieure de la presse.

Le capteur de fin de course supérieure **LS0** actionne le retour du chariot vers la droite. Le capteur **LS2** situé au dessus de l'endroit où arrivent les cuves arrête cette opération. Le cycle complet reprend dès qu'une cuve est détectée par le détecteur d'objet **OP0**.

2. La presse de détournage

A. Fonction

La fonction de la presse est d'effectuer un détournage. C'est-à-dire enlever l'excédant de matière tout autour des cuves en plastique.

B. Constitution

La presse est une machine exclusivement conçue avec d'énormes pièces d'acier. Ce qui fait qu'elle œuvre avec des éléments très lourds. C'est pourquoi elle a un réservoir d'huile et une pompe entraînée par un moteur électrique pour l'actionnement des deux grands vérins hydrauliques à double effet. Le premier est vertical. Une glissière est fixée à l'extrémité de sa tige. Le deuxième est horizontal et sans tige. Il entraîne le patin mobile (la matrice inférieure) vers l'avant ou vers l'arrière. La figure II-3, illustre les principaux éléments de ce poste.

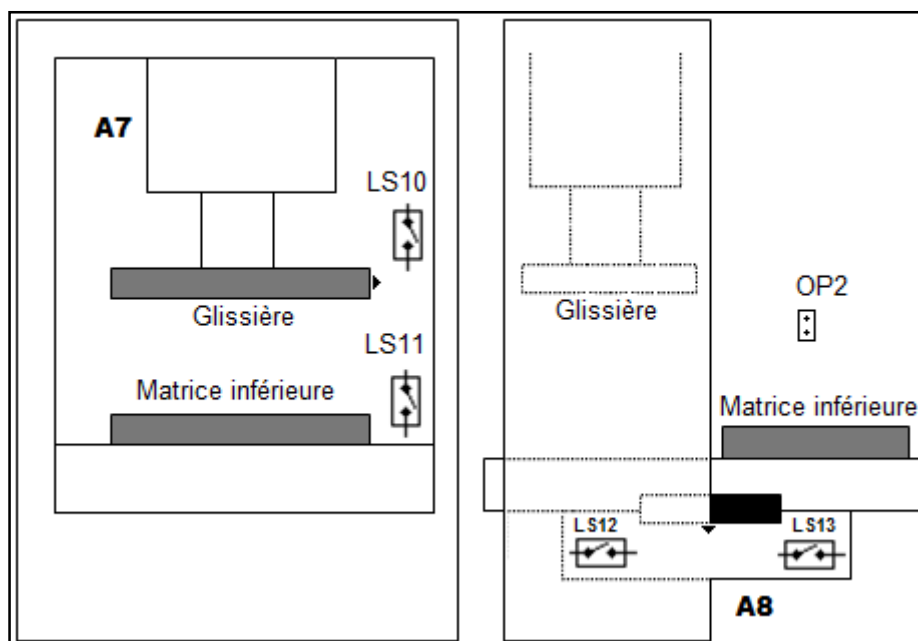


Figure II-3. La presse de détournage

C. Fonctionnement

Une fois la cuve est déposée sur la matrice inférieure par le palonnier n°1, le détecteur d'objet **OP2** la détecte et actionne le vérin sans tige **A8** vers l'arrière. Le capteur de fin de course **LS12** arrête cette action et lance la sortie de tige du vérin vertical **A7**. Il y aura coupure de matière partout où la glissière et la matrice inférieure sont en contacte (détourage). Le capteur de fin de course **LS11** empêche la glissière de descendre plus bas et démarre une temporisation de deux secondes. Une fois ce temps écoulé, cette dernière actionne le vérin **A7** en rentrée de tige. Le capteur de fin de course **LS10** arrête ce vérin et active l'avance du patin mobile (vérin **A8**). Le capteur de fin de course **LS13** arrête ce dernier. Ainsi, la cuve détournée est disponible pour être poinçonnée.

3. Le palonnier n° 2

A. Fonction

Le rôle de ce palonnier est de transférer les cuves. A la fois, de la presse de détourage vers la perceuse et de la perceuse vers le tapis roulant.

B. Constitution

Ce palonnier est composé de deux parties similaires. Une partie à droite et une autre à gauche. Toutes les deux, elles sont constituées de deux vérins à double effet verticaux. Portant aux extrémités de leurs tiges quatre ventouses. Les deux vérins sont dotés de capteurs de fin de course en sortie et en rentrée de tige. L'ensemble ainsi constitué est accroché à un chariot qui peut se déplacer sur un axe horizontal à l'aide d'un moteur hydraulique. La figure II-4, illustre les principaux éléments de ce poste.

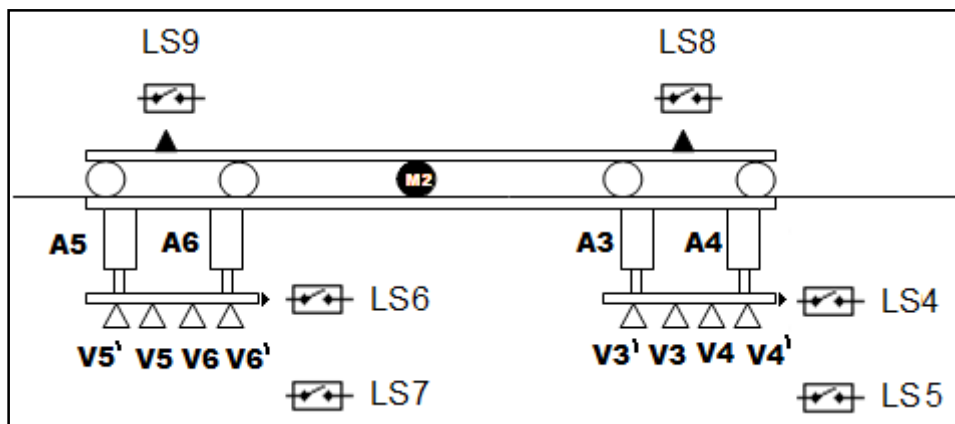


Figure II-4. Le palonnier n°2

C. Fonctionnement

Le déplacement du patin mobile de la presse de détournage vers l'avant, par le biais du vérin **A8** actionne le capteur de fin de course **LS13**. Signalant ainsi, la fin du détournage et la disponibilité de la cuve pour le palonnier n°2.

La partie de commande actionne la descente des tiges des vérins **A3 et A4**. Le capteur de fin de course **LS5** arrête cette action, ordonne l'aspiration de la cuve par les ventouses **V3, V4, V3' et V4'** et démarre une temporisation de deux secondes. L'écoulement de cette dernière est suivi de la remontée des tiges des vérins **A3 et A4**. Le capteur de fin de course **LS4** arrête leurs actions. La cuve reste suspendue en l'air jusqu'au soulèvement de l'autre cuve traitée par la perceuse.

Au niveau de la perceuse, la rentrée de la tige du vérin **A10** actionne le capteur de fin de course **LS16**. Ce qui lance la descente des tiges des deux vérins **A5 et A6**. Le capteur de fin de course **LS7** arrête ce mouvement et autorise l'aspiration de la cuve par les ventouses **V5, V6, V5' et V6'**. Il démarre aussi, une temporisation de deux secondes. La fin de ce temps est directement suivi de la rentrée des tiges des vérins **A5 et A6**. Le capteur de fin de course **LS6** arrête ce mouvement. Désormais, cette deuxième cuve est suspendue en l'air.

Les deux cuves suspendues en l'air, signifie que les capteurs de fin de course **LS4, LS6 et LS8** sont activés. Ce qui démarre le moteur **M2** et déplace le chariot vers la gauche ; le capteur de fin de course **LS9** arrête ce moteur. Il autorise la descente des tiges des vérins **A3, A4, A5 et A6**. La sortie des tiges des deux premiers vérins **A3 et A4** est arrêtée par le capteur de fin de course **LS5**. Ce dernier, arrête l'aspiration des ventouses **V3, V4, V3' et V4'** et démarre une temporisation de deux secondes. L'écoulement de ce temps ordonne la rentrée des tiges des vérins **A3 et A4**. Le capteur de fin de course **LS4** met fin à cette action. Un autre capteur de fin de course **LS7** arrête la descente des deux vérins **A5 et A6**. Il met fin aussi à l'aspiration de la cuve par les ventouses **V5, V6, V5' et V6'** et démarre une temporisation de deux secondes. La fin de cette temporisation est suivi de la rentrée des tiges de ces vérins. Le capteur de fin de course **LS6** met fin à cette action.

Les capteurs de fin de course **LS4, LS6 et LS9** sont désormais activés. Ce qui démarre le moteur **M2** dans le deuxième sens. Ceci dit que le chariot se déplace vers la droite. Ce mouvement s'arrête par l'actionnement du capteur de fin de course **LS8**.

Le cycle complet recommencera par la disponibilité des cuves dans la presse de détournage et dans la perceuse.

4. La perceuse

A. Fonction

La perceuse opère des poinçons sur les parois latérales des cuves

B. Constitution

La perceuse est essentiellement constituée de deux vérins. Le premier vérin à simple effet, porte un outil poinçon à l'extrémité de sa tige. Le deuxième vérin à double effet, porte une matrice fixée à sa tige pour la contre-réaction et fixation de la cuve. La figure II-5, illustre les principaux éléments de ce poste.

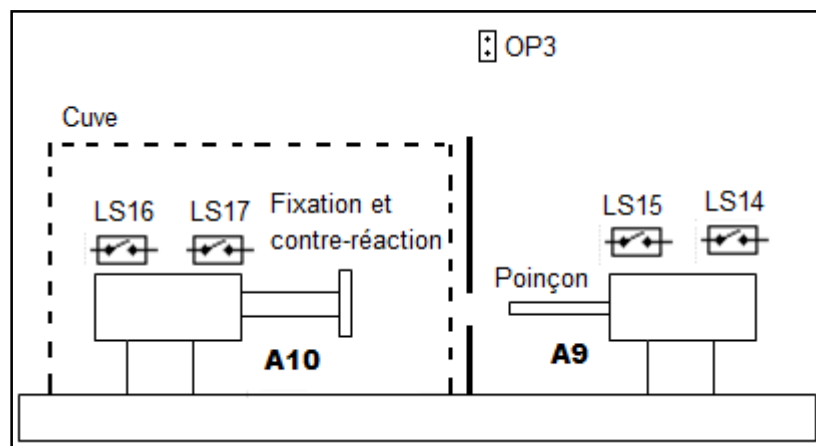


Figure II-5. La perceuse

C. Fonctionnement

La présence d'une cuve sur la table de la perceuse est signalée par un capteur de position **OP3**. La partie de commande actionne la sortie de tige du vérin de contre-réaction et de fixation **A10**. Le capteur de fin de course **LS17** démarre l'avance du vérin à poinçon **A9**. Par conséquent, ce dernier poinçonne la cuve. Le capteur de fin de course **LS15** arrête l'alimentation de ce vérin. Le ressort de rappel qu'il contient, fait rentrer sa tige. L'autre capteur de fin de course **LS14** signale la fin de cette action et du fait ordonne la rentrée de tige du vérin **A10**. Le capteur de fin de course **LS16** arrête cette action. La cuve est désormais libérée et disponible pour le palonnier n° 2.

5. Le tapis roulant

A. Fonction

La tâche du tapis roulant est l'évacuation des cuves traitées par la station de détournement et poinçonnage vers la station d'assemblage. Durant cette évacuation l'opérateur effectue un contrôle visuel des cuves.

B. Constitution

Le tapis roulant est constitué de plusieurs cylindres horizontaux parallèles, d'un tapis bouclé et d'un moteur hydraulique. La figure II-6, illustre ce poste.

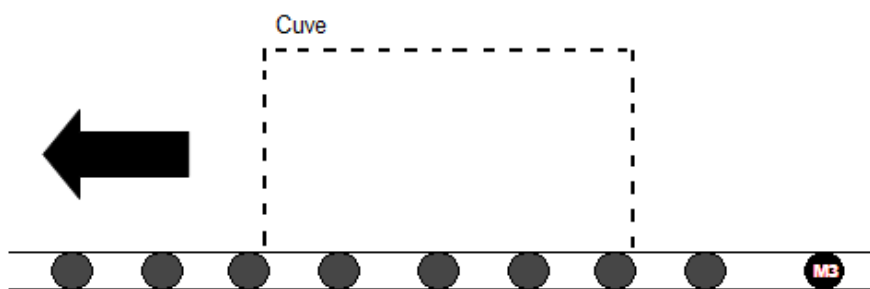


Figure II-6. Le tapis roulant

C. Fonctionnement

Le moteur hydraulique M3 tourne en permanence entraînant avec lui l'ensemble des cylindres du tapis.

III. Conclusion

Au cours de ce chapitre, nous avons pu constater l'interaction des postes de la chaîne et la quasi-indépendance de cette dernière vis-à-vis de l'intervention humaine. Au chapitre suivant, nous allons essayer de préserver ces aspects et réaliser une simulation du fonctionnement de cette chaîne à l'aide du logiciel de simulation FluidSim-P 3.6.

I. Présentation de FluidSim

FluidSim 3.6 est logiciel de dessin assisté par ordinateur CAD¹¹. C'est aussi un simulateur pour les systèmes automatisés pneumatiques et/ou hydrauliques. Il a été publié en 2004 par Festo Didactic GmbH & Co. KG et Art Systems, en collaboration avec l'université de Paderborn. Il existe en deux versions : une version pneumatique, et une autre hydraulique.

Une particularité importante de FluidSim, est l'étroite corrélation entre les fonctionnalités CAD (Dessin Assisté par Ordinateur) et la simulation. Ainsi FluidSim permet d'une part, le dessin de plans schématiques des fluides satisfaisants aux normes Allemandes (normes DIN) ; d'autre part il est en mesure – à la base de la description des composants physiques - de réaliser une simulation expressive des montages décrits.

L'utilisation de ce logiciel est intuitive et rapide. Ce qui permet, après une courte période d'initiation, de développer et de simuler des plans schématiques de fluides. Ainsi il offre deux modes d'exploitations :

- Un mode d'édition, pour l'élaboration de nouveaux plans schématiques. Grâce à la bibliothèque des composants électriques, électromécanique, pneumatiques et hydrauliques (Annexe - Les composants de FluidSim-P 3.6).
- Un mode de simulation, pour l'exécution et la visualisation des comportements des systèmes précédemment schématisés. Cette exécution peut être complète ou partielle (pas-à-pas).

Remarque :

En raison de non disponibilité de la version complète de FluidSim Hydraulique et la similitude du comportement des composants hydrauliques avec ceux pneumatiques. La simulation de la chaîne se fera uniquement avec la version pneumatique, en l'occurrence, FluidSim-P 3.6.

1. Mise en route de FluidSim

Après l'installation de la version pneumatique de FluidSim-P 3.6 une icône est automatiquement placée sur le bureau. Un double cliquer sur celle-ci suffit pour lancer le programme. L'écran de la figure III-1 apparaît :

¹¹ Computer-Aided Design = Dessin Assisté par ordinateur

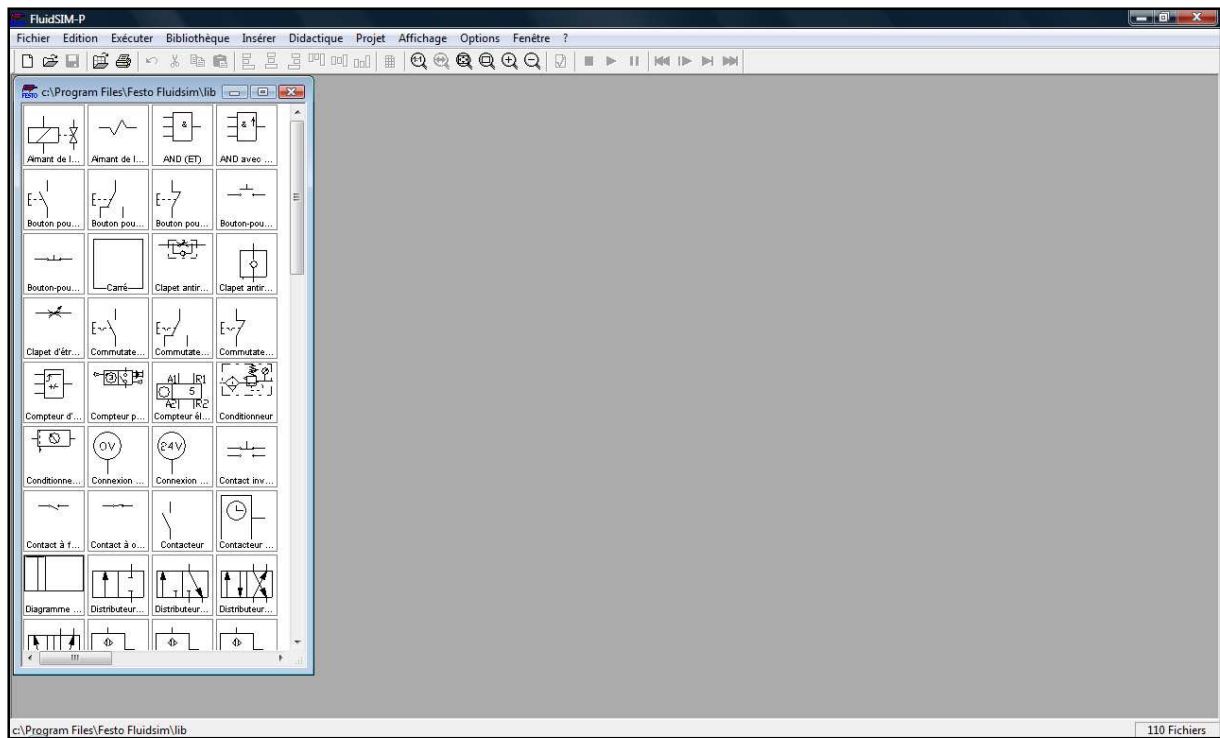


Figure III-1. Ecran de démarrage de FluidSim-P 3.6

Pour créer un nouveau projet, on clique sur l'onglet **Projet** de la barre de menu en haut de la fenêtre précédente. Puis sur **nouveau**. La boîte de dialogue suivante apparaît :

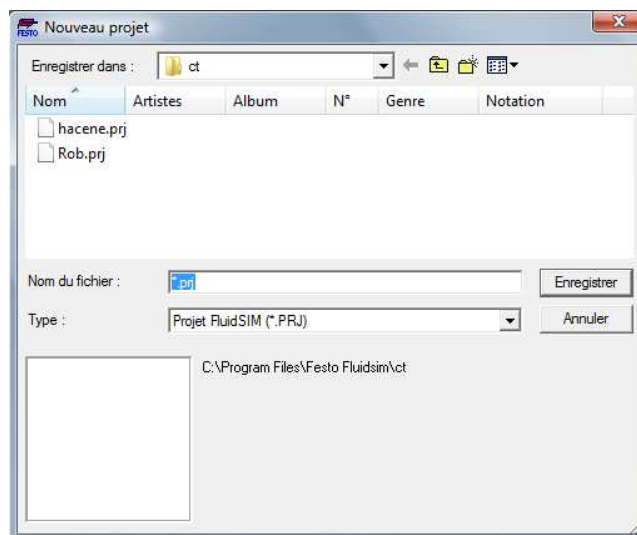


Figure III-2. Boîte de dialogue d'enregistrement de projet

On saisit le nom du projet à créer dans le champ **Nom du fichier** suivi de l'extension **PRJ**. On clique sur **enregistrer** pour achever la création du nouveau projet.

Une fois le projet sauvegardé, une page d'édition doit être créée en allant à la barre de menu comme suit : **Fichier > Nouveau**.

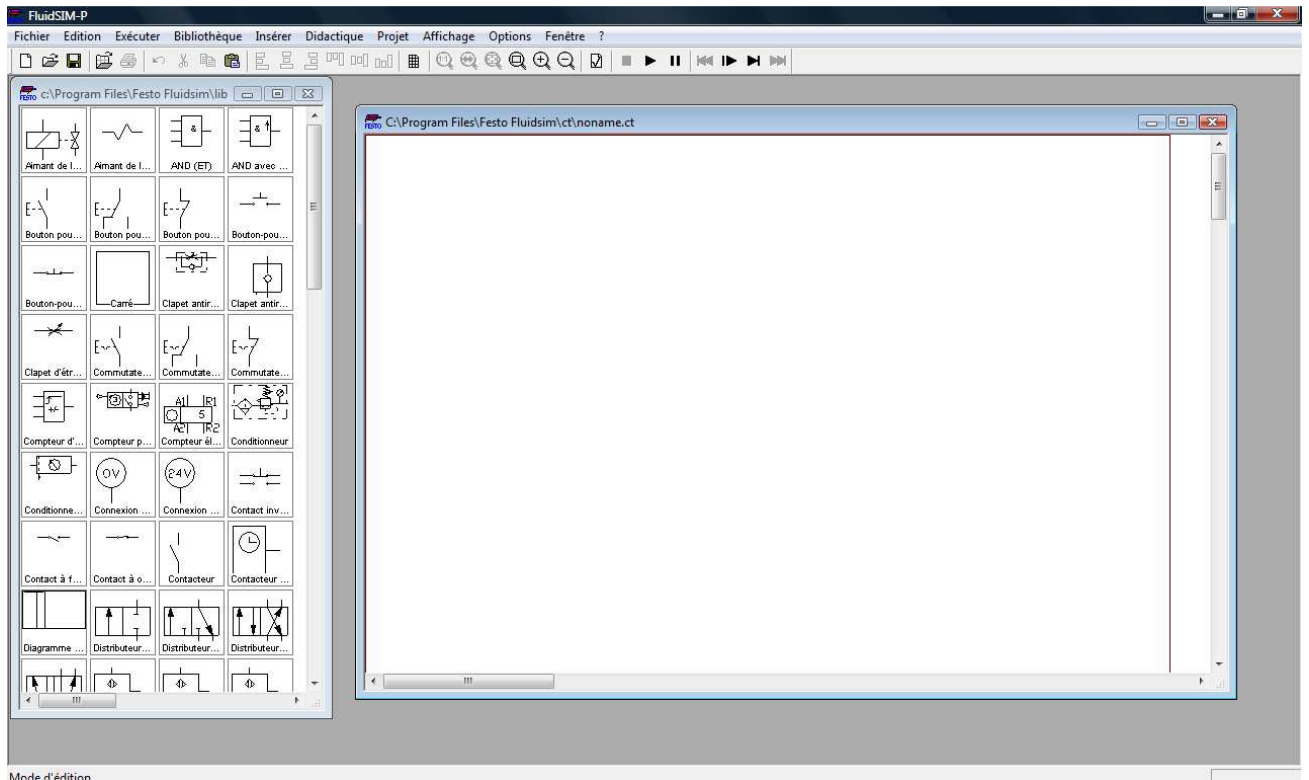


Figure III-3. Affichage après la création d'un projet

Sur la gauche on retrouve la librairie des composants électriques, électromécaniques et pneumatiques. Sur la droite se trouve la fenêtre d'édition, elle sert d'espace de travail pour les plans schématiques.

Dans le mode d'édition, un glisser-déposer ou un copier-coller d'un composant de la librairie, sur la fenêtre d'édition permet d'insérer ce composant.

Des liaisons entre pôles ou entre orifices des composants sont possibles, seulement, si elles sont homogènes. C'est-à-dire : électrique-électrique, pneumatique-pneumatique et signal numérique-signal numérique.

Le basculement vers le mode de simulation, se fait avec la barre d'outils destinée à cet effet :



Figure III-4. Barre d'outils de la simulation

De gauche vers la droite :

- Bouton arrêt : ceci arrête la simulation et permet le retour dans le mode d'édition.
- ▶ Bouton de lancement de la simulation après avoir testé le plan schématique.
- || Bouton pause : permet la mise en pause de la simulation.
- ◀ Bouton redémarrage de la simulation depuis le début.
- ▶ Bouton pas-à-pas : ceci permet l'exécution pas à pas la simulation.
- ▶ Bouton d'exécution de la simulation jusqu'au prochain changement d'état.
- ▶ Bouton de passage au thème suivant de la représentation.

2. Le module digital

Le module digital sert à l'intégration compacte d'un circuit numérique dans un circuit électropneumatique. Le module numérique possède huit entrées et huit sorties électriques dont les états sont transmis à son circuit numérique interne. Le module digital dans le circuit électropneumatique prend peu de place.

Les entrées / sorties du module digital correspondent aux entrées et sorties du module dans le schéma de circuit électropneumatique.

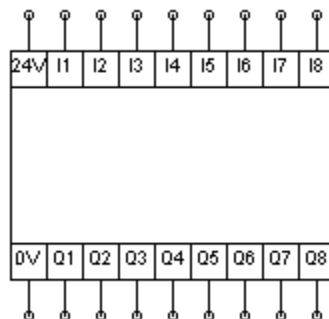


Figure III-5. Le module digital

3. Les entrées/sorties TOR

Les entrées TOR sont désignées par un "I", et les sorties par un "Q". Sous FluidSIM, il est possible d'utiliser des composants numériques à l'intérieur mais aussi à l'extérieur d'un module digital. Les entrées, convertissent l'information électrique en numérique. Alors que, les sorties, convertissent l'information numérique en électriques.

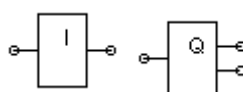


Figure III-6. Les entrées / sorties

II. Simulation de la chaîne :

Comme la chaîne de détournage et poinçonnage des cuves intérieurs des réfrigérateurs de l'ENIEM, est composé de cinq postes, ayant des fonctions complémentaires ; un poste en attente d'une cuve, dépend des postes en amont et en aval. Ceci dit, qu'il ne commence les opérations qu'une fois la cuve traitée est transférée au poste suivant, et que la cuve à traiter est disponible au poste précédent ; mais une fois son travail commencé, il ne dépend que de ses propres éléments, capteurs, temporisation, et cetera. La simulation de chaque poste, peut se faire indépendamment des autres.

1. Le premier palonnier

A. La partie opérative :

Les deux vérins A1 et A2, sont alimentés en parallèle, et commandés par le distributeur 4/3 « SOL1 » à pilotage électropneumatique avec rappel de ressort à la position centrale. Les quatre ventouses V1, V2, V1' et V2' sont alimentées en parallèle et commandées par le distributeur 2/2 « SOL2 » à pilotage électropneumatique. Le moteur hydraulique M1 est alimenté et commandé par le distributeur 4/3 « SOL3 » à pilotage électropneumatique avec rappel de ressort à la position centrale. Le vérin d'entraînement en parallèle avec le moteur simule le déplacement du chariot.

L'énergie nécessaire pour le fonctionnement de ce palonnier est délivrée par la source d'air comprimé et le conditionneur. La figure III-7, montre la partie opérative du palonnier n°1.

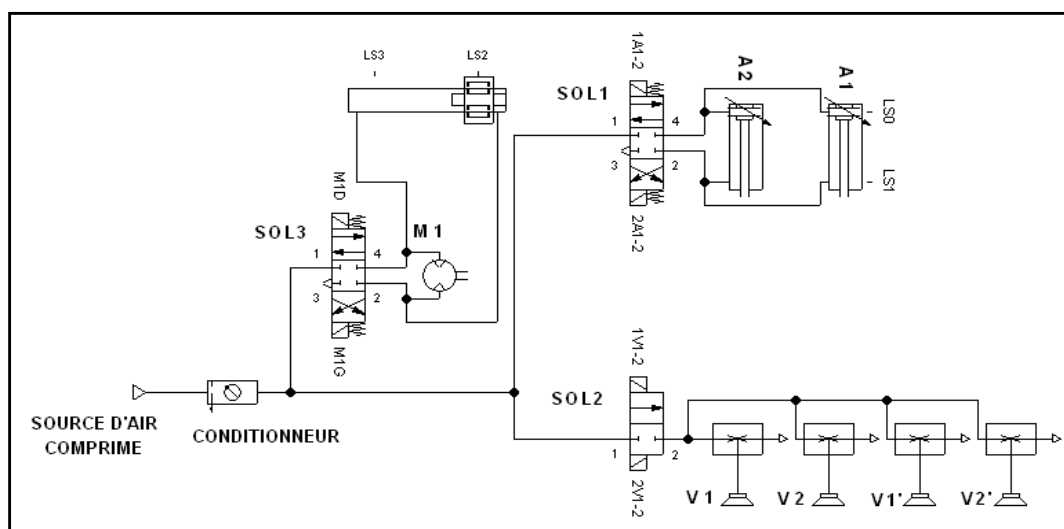


Figure III-7. Partie opérative du palonnier n°1.

B. La partie de commande :

La commande du premier palonnier se fait à l'aide du module digital MD1. Il est alimenté sous 24V. Les capteurs de fin de course LS0, LS1, LS2, LS3, LS8 et LS9 sont connectés respectivement aux entrées I0, I1, I2, I3, I6 et I7. Le détecteur d'objet OP0 est connecté à l'entrée I4. Le bouton d'arrêt d'urgence est connecté à l'entrée I5. Les distributeurs SOL1, SOL2 et SOL3, sont contrôlés par les électrovannes 1A1-2, 2A1-2, 1V1-2, 2V1-2, M1G et M1D via les sorties Q0, Q0, Q2, Q3, Q4, et Q5. La figure III-8, illustre toutes ces connexions.

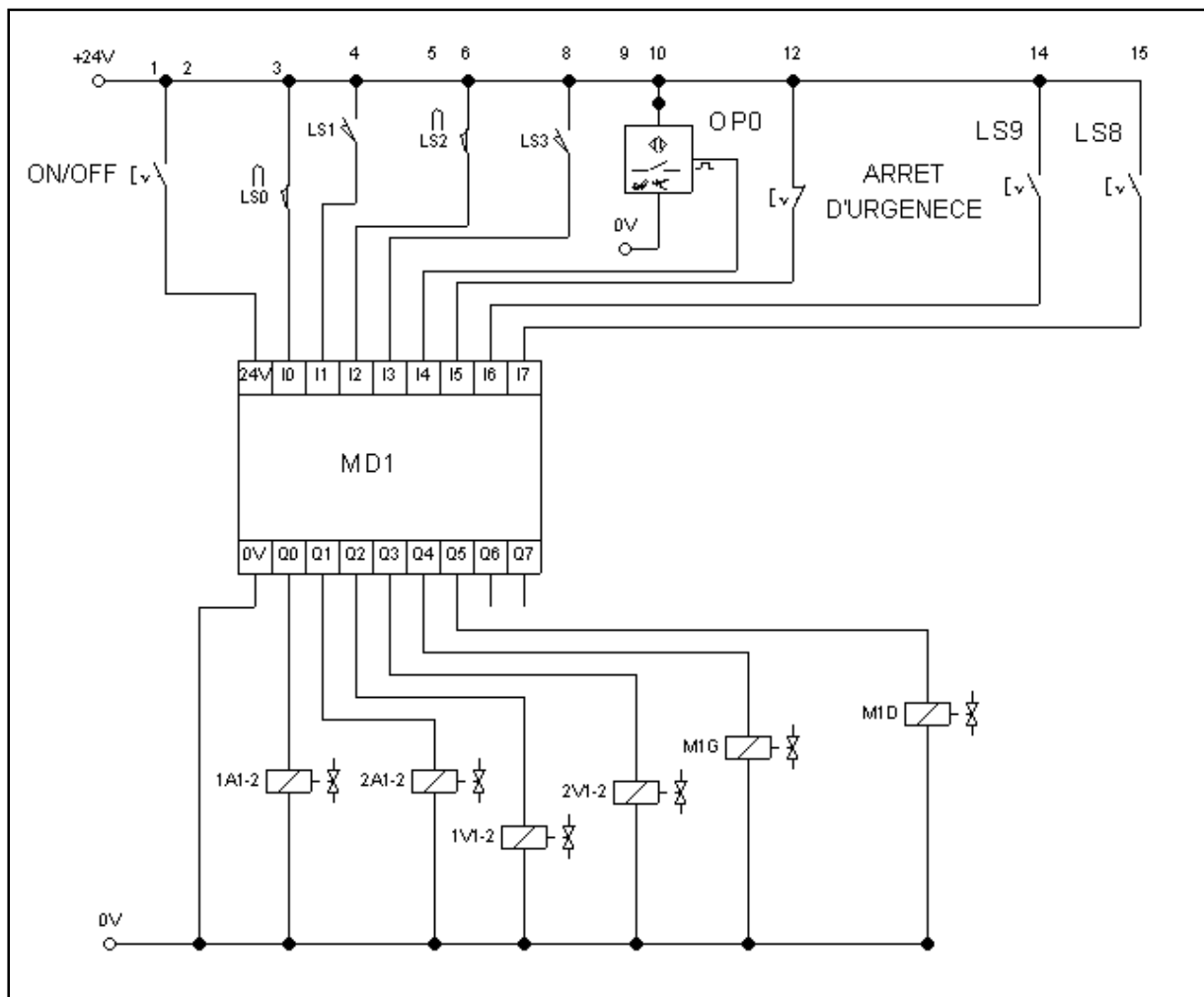


Figure III-8. Partie commande du palonnier n°1

C. Le diagramme d'état du fonctionnement du palonnier n° 1

Le diagramme suivant (Figure III-9) résume le fonctionnement global du palonnier n°1.

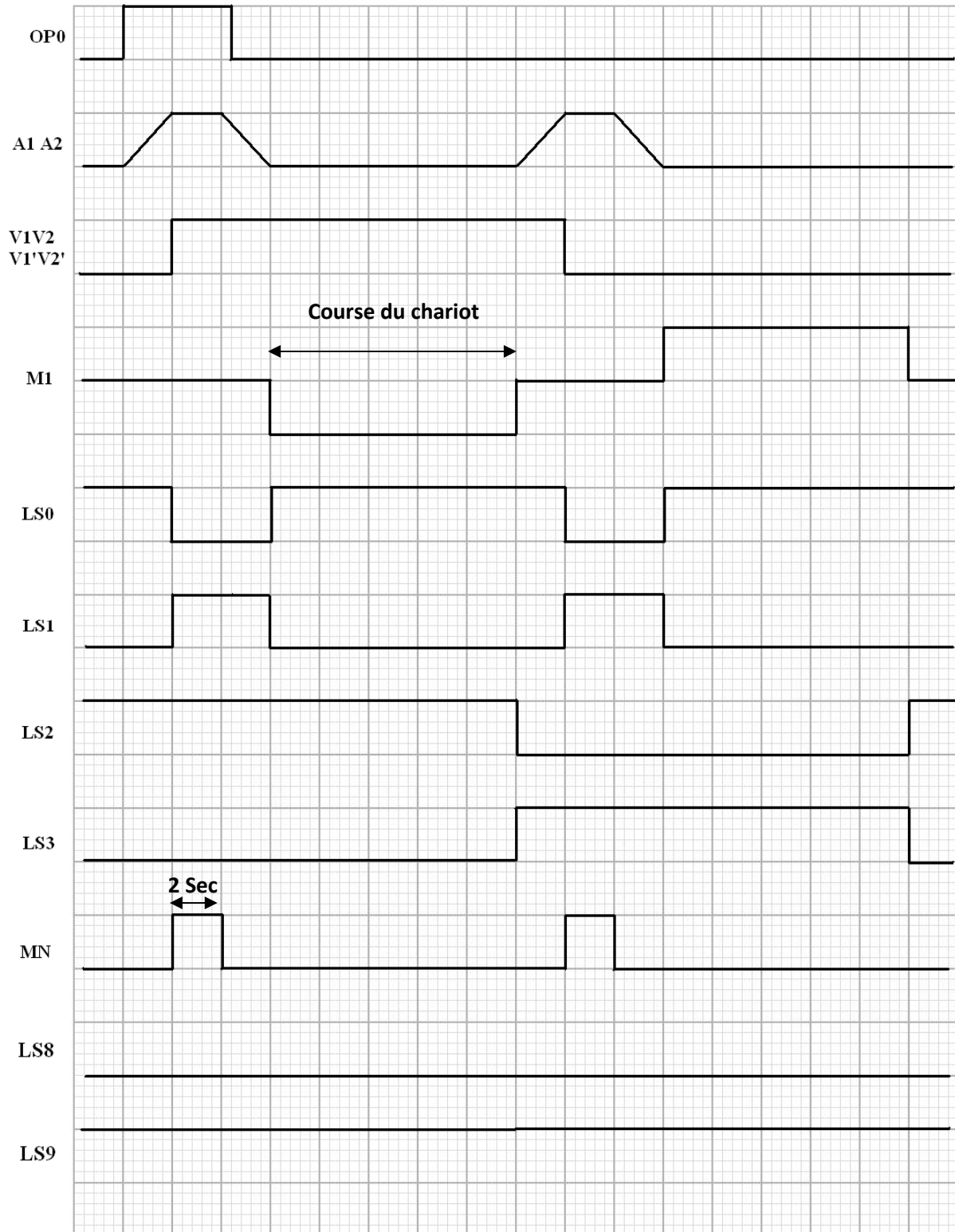


Figure III-9. Diagramme d'état de fonctionnement du palonnier n°1

D. Le circuit logique du module MD1

Des mémoires à un bit (bascules RS) sont utilisées pour chaque entrée. Elles servent essentiellement, pour la sauvegarde des états des contacteurs de fin de course et du détecteur d'objet. Pour ne pas avoir des états contradictoires, la disposition des bascules se fait par paire pour les entrées des I0-I1, I2-I3 et I6-I7. Une temporisation de deux secondes est utilisée dans ce palonnier. Sa réalisation nécessite, un générateur d'impulsions de période d'une seconde et un compteur pour ces impulsions. Ce dernier, génère un signal de niveau haut, lorsque le nombre d'impulsions comptées est de deux.

E. Les équations logiques, régissant ce circuit

- Sortie des tiges des vérins A1 et A2 :

$$1A1-2 = Q0 = \overline{A\bar{U}} * [(LS0 * LS2 * OP0) + (LS0 * LS3 * CA)]$$

- Rentrée des tiges des vérins A1 et A2 :

$$2A1-2 = Q1 = \overline{A\bar{U}} * [(LS1 * LS2 * MN) + (LS1 * LS3 * MN)]$$

- Aspiration au niveau des ventouses V1, V2, V1' et V2' :

$$1V1-2 = Q2 = \overline{A\bar{U}} * LS1 * LS2$$

- Arrêt de l'aspiration au niveau des ventouses V1, V2, V1' et V2' :

$$2V1-2 = Q3 = \overline{A\bar{U}} * LS1 * LS3$$

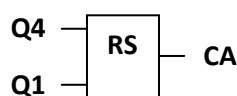
- Rotation du moteur hydraulique dans le sens 1, déplacement du chariot vers la gauche :

$$MG = Q4 = \overline{A\bar{U}} * LS0 * LS2 * LS9 * CB$$

- Rotation du moteur hydraulique dans le sens 2, déplacement du chariot vers la droite :

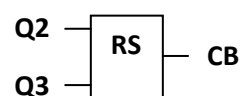
$$MD = Q5 = \overline{A\bar{U}} * LS0 * LS3 * \overline{CB}$$

Condition CA



$$CA_{n+1} = Q_4 + \overline{Q_1} * CA_n$$

Condition CB



$$CB_{n+1} = Q_2 + \overline{Q_3} * CB_n$$

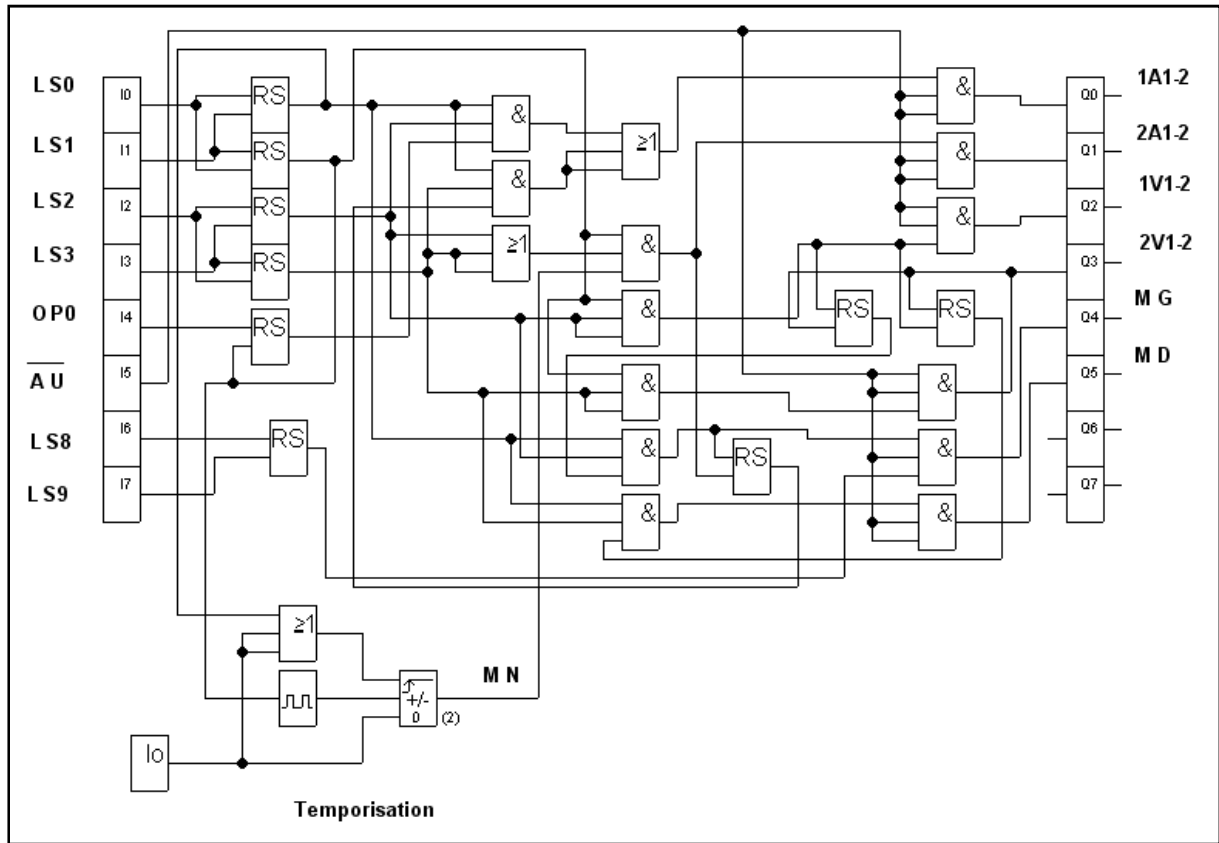


Figure III-10. Circuit logique du module MD1.

F. La simulation du fonctionnement du palonnier n°1

Lorsqu'une cuve arrive, un capteur optique **OP0** transmet l'information à la partie de commande. Si les capteurs de fin de course **LS0** et **LS2** sont activés, cette dernière actionne la sortie des tiges des deux vérins **A1** et **A2**. La figure III-11 illustre ce mouvement.

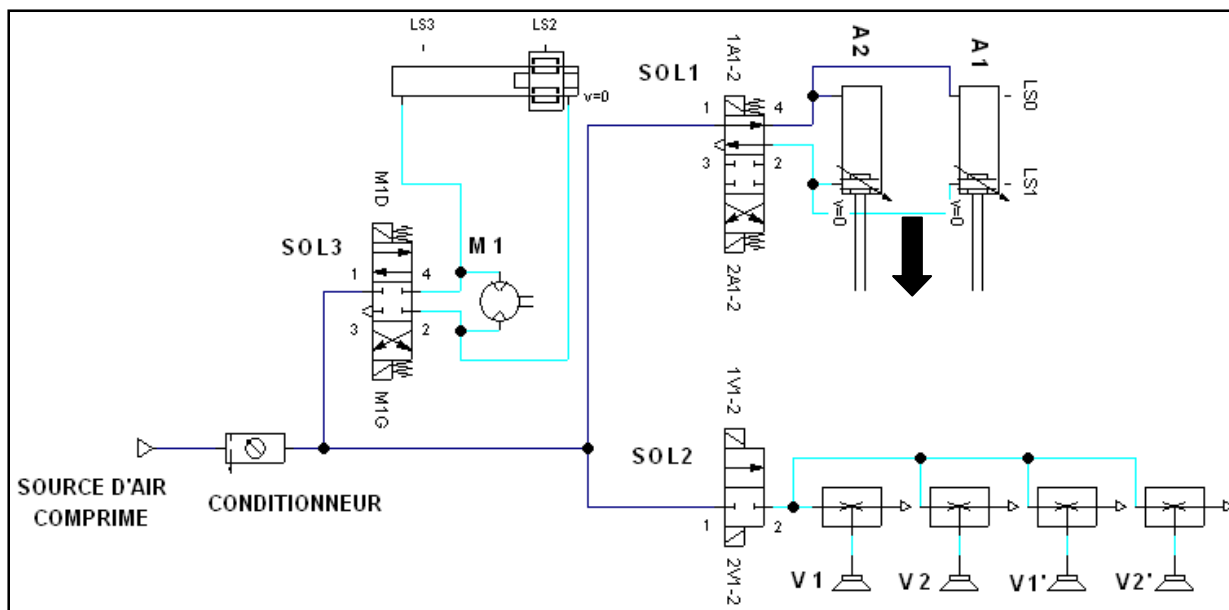


Figure III-11. Sortie des tiges des vérins A1 et A2.

Le capteur de fin de course LS1 détecte la sortie maximum des tiges des vérins A1 et A2. Il transmet l'information à la partie de commande. Cette dernière arrête la sortie de ces tiges, démarre une temporisation de deux secondes. Ordonnant aussi, le passage d'air dans les tuyères d'aspiration des ventouses V1, V2, V1' et V2'. Ce qui implique l'aspiration de la cuve par ces dernières. Sur la figure III-12, on aperçoit le passage d'air à travers ces ventouses.

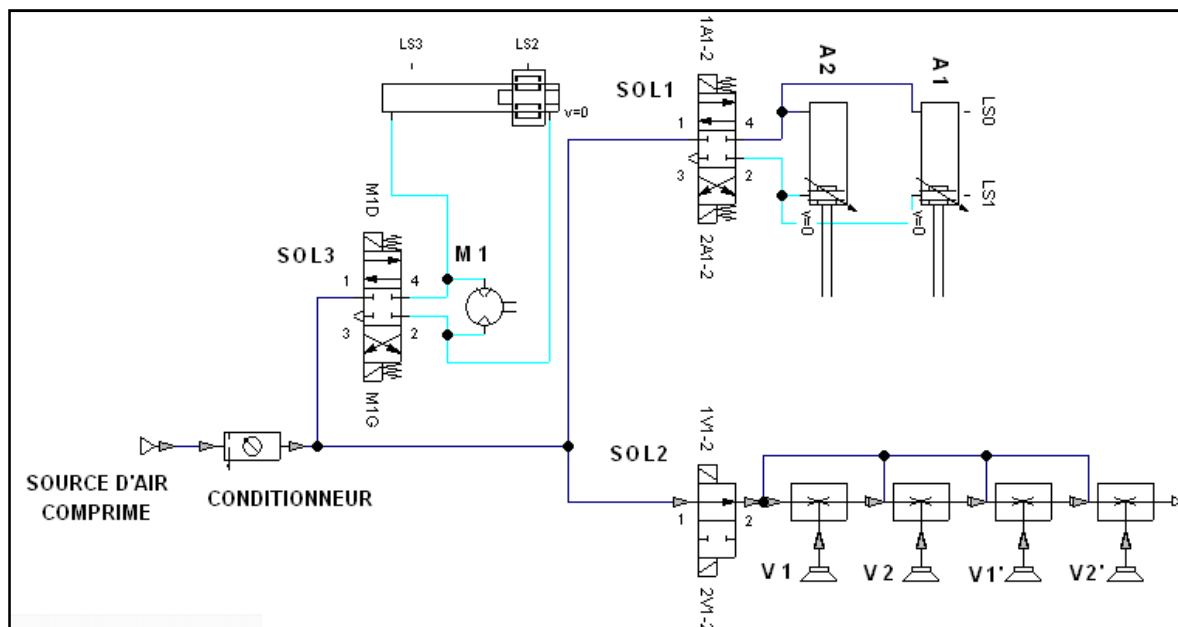


Figure III-12. Aspiration de la cuve par les ventouses V1, V2, V1' et V2'

Une fois, les deux secondes écoulées, la rentrée des tiges des vérins A1 et A2 est ordonnée par la partie de commande. La figure III-13 illustre ce mouvement.

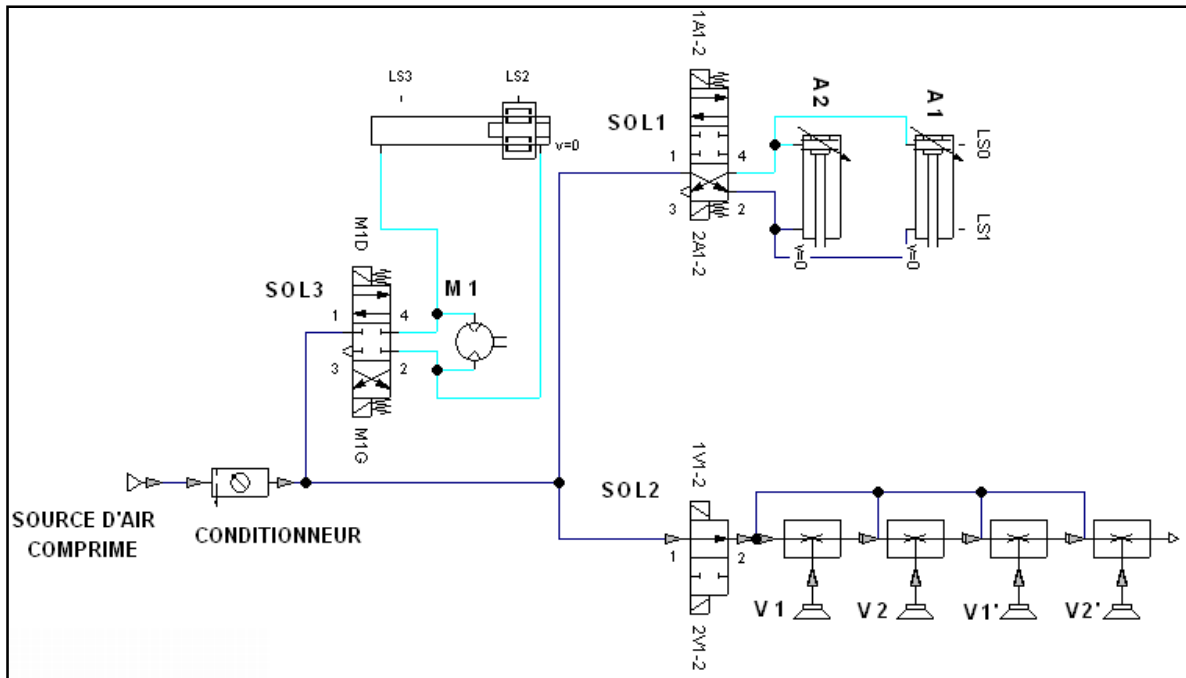


Figure III-13. Rentrée des tiges des vérins A1 et A2.

Le capteur de fin de course LS0, détecte la rentrée maximale des tiges des vérins A1 et A2. Il informe la partie de commande. Cette dernière arrête la rentrée des tiges de ces vérins et démarre le moteur hydraulique M1 dans le sens qui déplacera le chariot vers la gauche. La figure III-14 illustre ce mouvement.

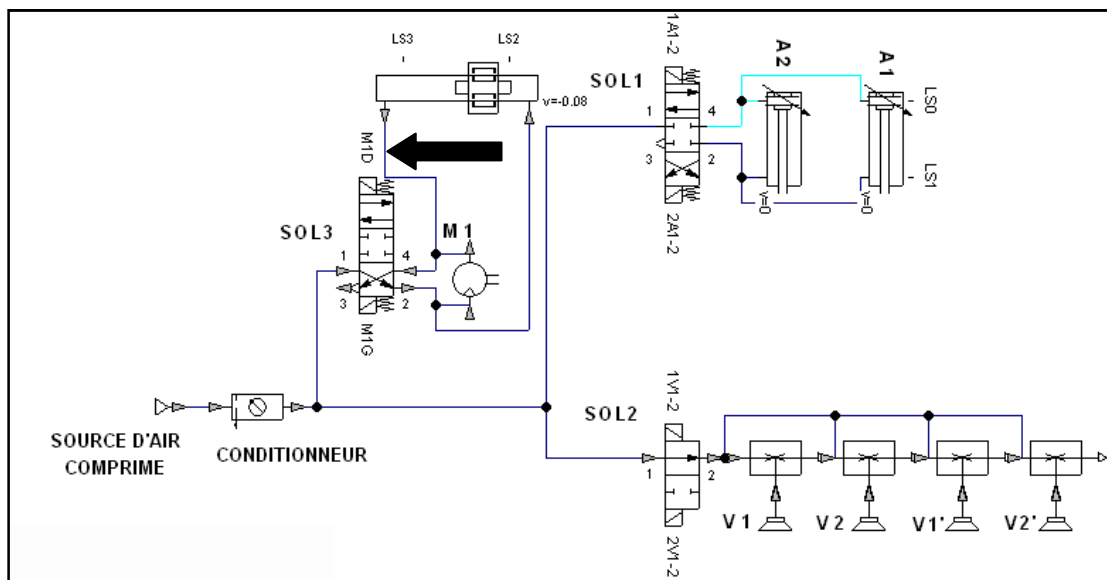


Figure III-14. Déplacement du chariot vers la gauche.

Dés que, le chariot atteint l'extrémité gauche, le capteur de fin de course LS3 se ferme. Par conséquent, la partie commande arrête la rotation du moteur hydraulique M1. Cette situation est illustrée par la figure III-15.

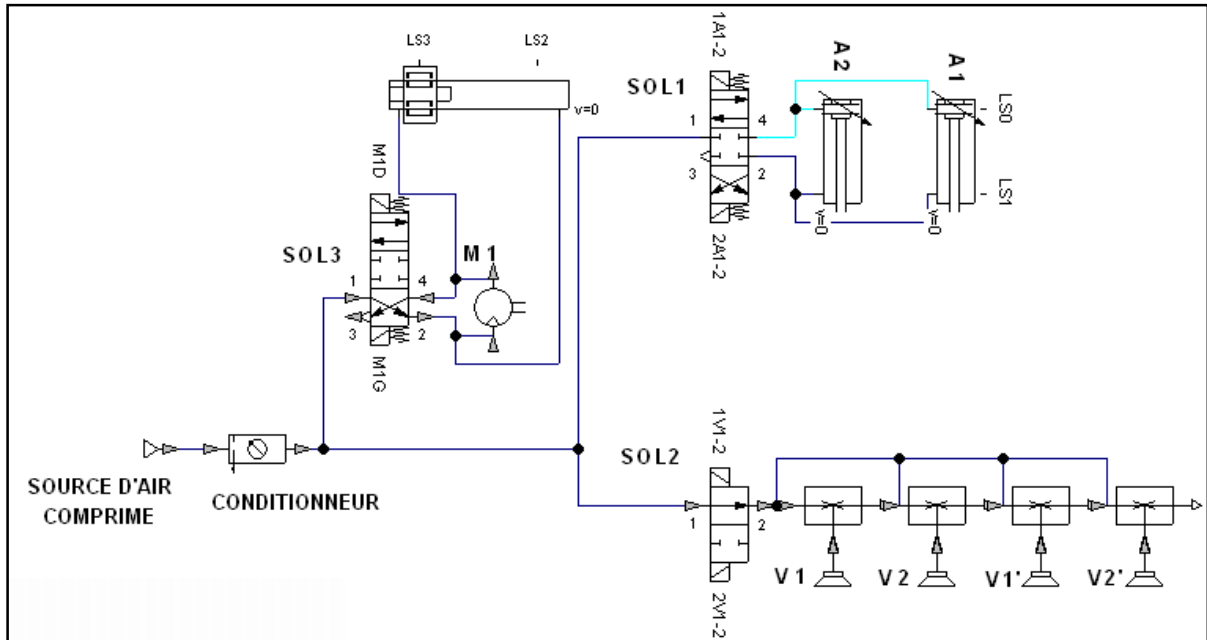


Figure III-15. Arrivé du chariot à l'extrémité gauche.

La condition de fermeture des contacteurs de fins de courses LS0 et LS3, autorise la sortie des tiges des vérins A1 et A2. La figure III-16 illustre ce mouvement.

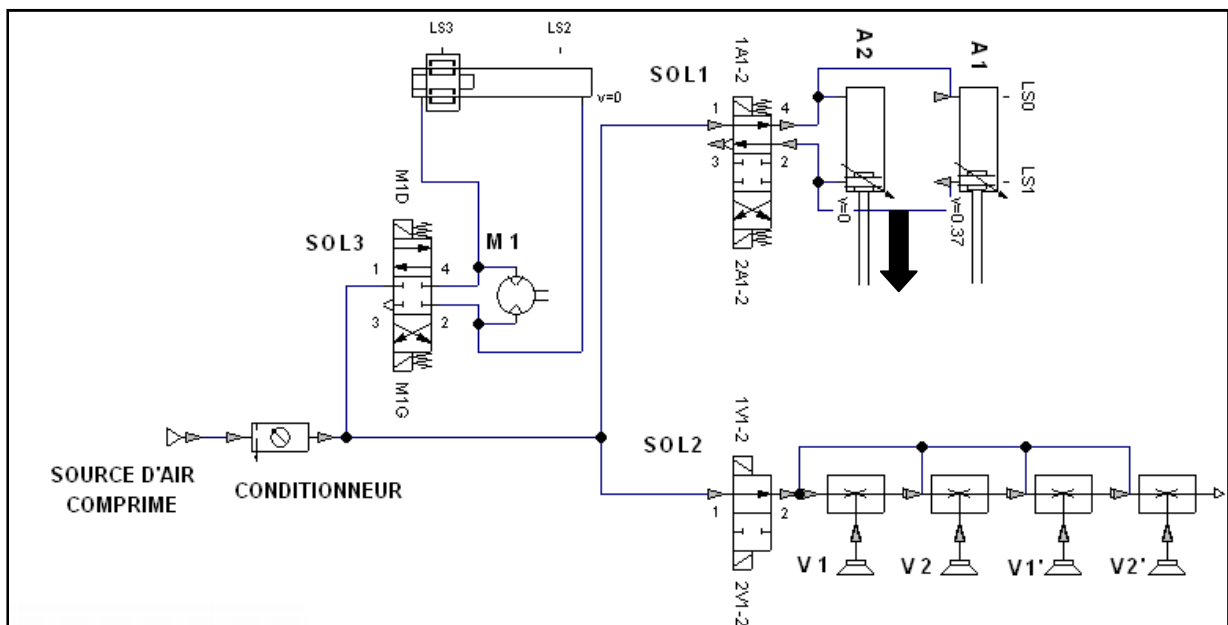


Figure III-16. Sorties des tiges des vérins A1 et A2.

Le capteur de fin de course LS1, détecte la sortie maximum des tiges des vérins A1 et A2. Il transmet l'information à la partie de commande. Cette dernière, arrête la sortie de ces tiges, démarre une temporisation de deux secondes. Empêchant aussi, le passage d'air, dans les tuyères d'aspiration des ventouses V1, V2, V1' et V2'. Ce qui implique la libération de la cuve par ces dernières. Sur la figure III-17, on aperçoit cette situation.

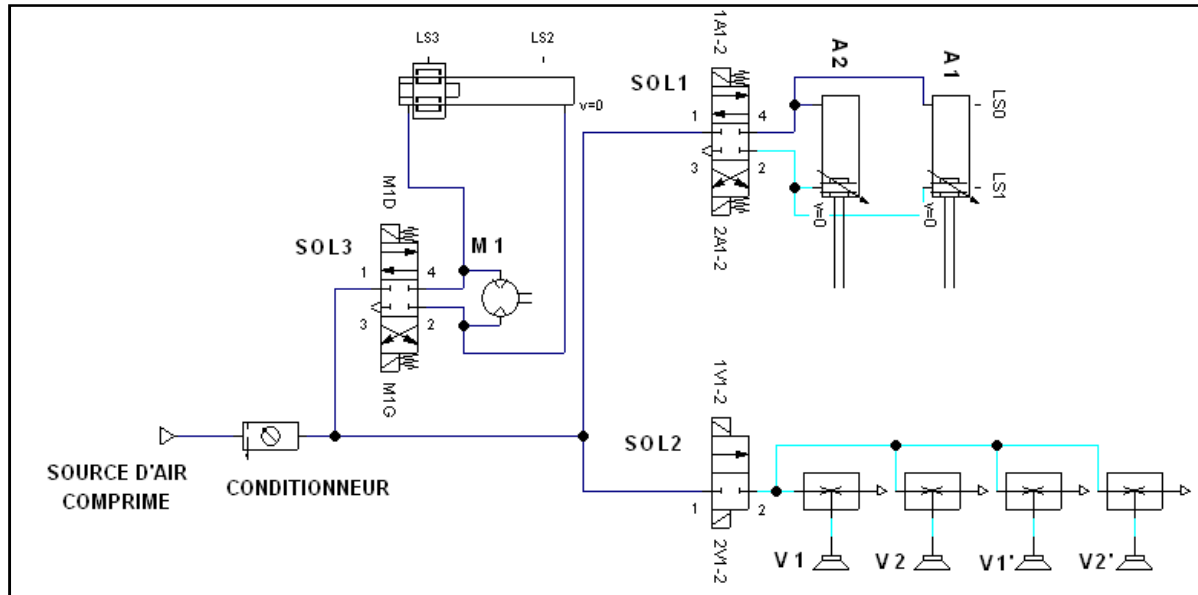


Figure III-17. Libération de la cuve par les ventouses V1, V2, V1' et V2'.

Une fois le temps de la temporisation écoulé, la rentrée des tiges des vérins A1 et A2 est ordonnée par la partie de commande. La figure III-18 illustre ce mouvement.

Désormais, la cuve est déposée sur la matrice inférieure de la presse.

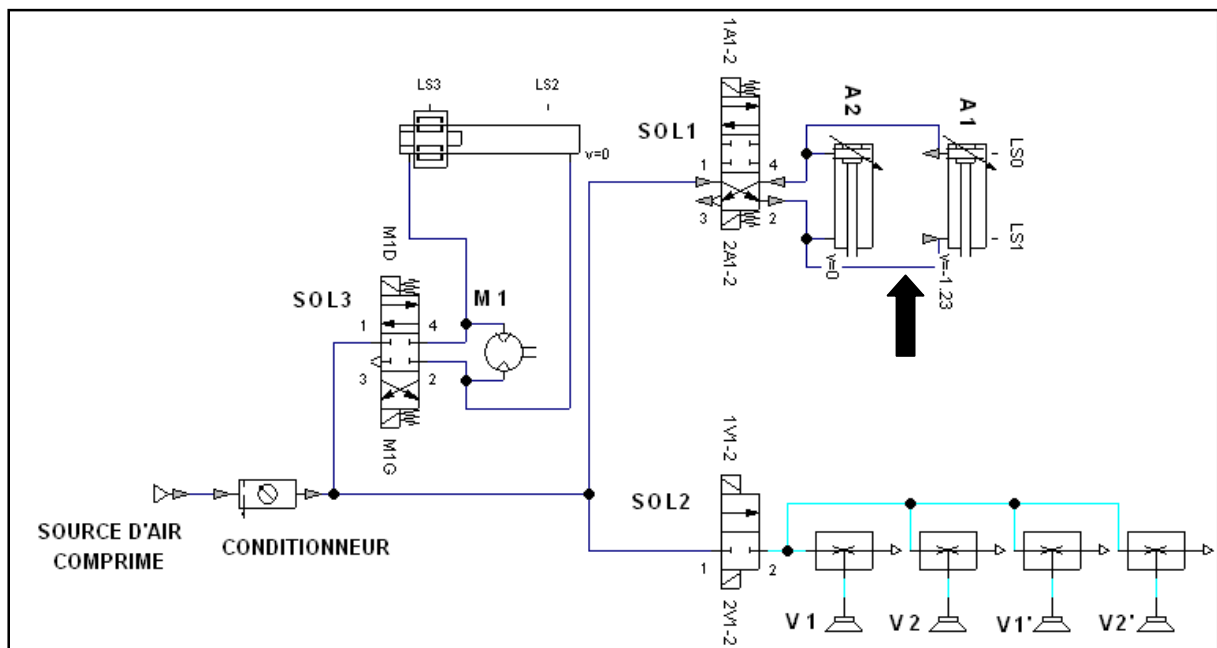


Figure III-18. Rentrée des tiges des vérins A1 et A2.

Le capteur de fin de course LS0, détecte la rentrée maximale des tiges des vérins A1 et A2. Il informe la partie de commande. Cette dernière arrête la rentrée des tiges de ces vérins, et démarre le moteur hydraulique M1 dans le sens 2. Ce qui déplacera le chariot vers la droite. La figure III-19 illustre ce mouvement.

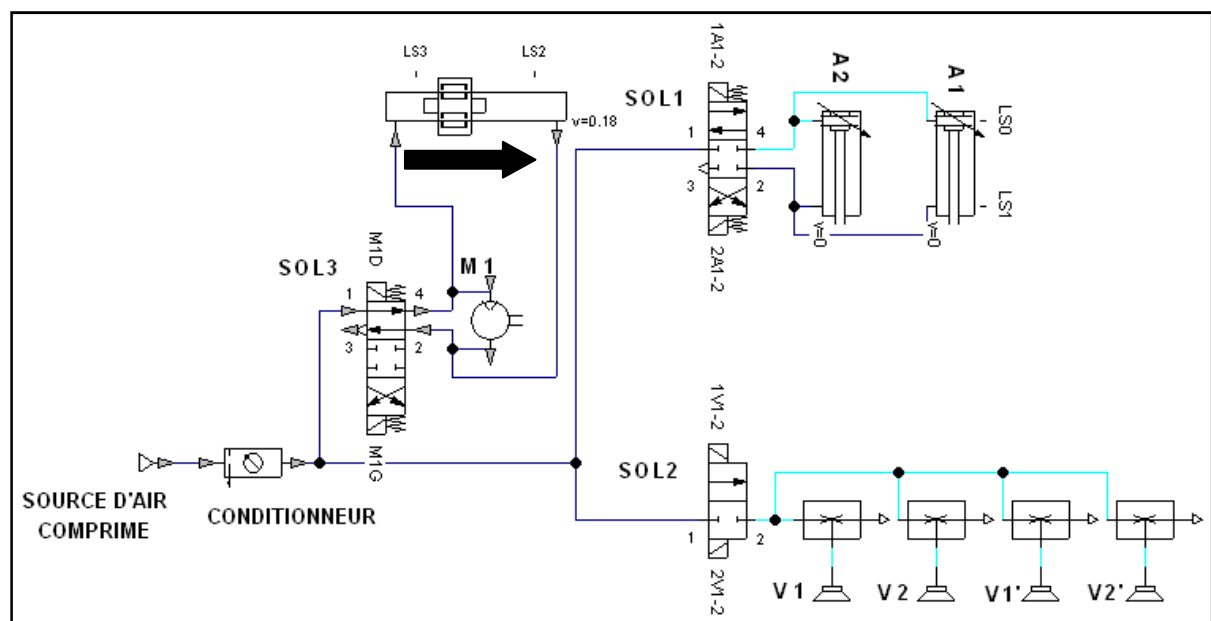


Figure III-19. Déplacement du chariot à droite.

L'arrivée du chariot à l'extrémité droite, actionne le capteur de fin de course LS2, indiquant la position initiale du chariot. La partie de commande ordonne l'arrêt immédiat de la rotation du moteur M1. Cette situation est visible sur la figure III-20.

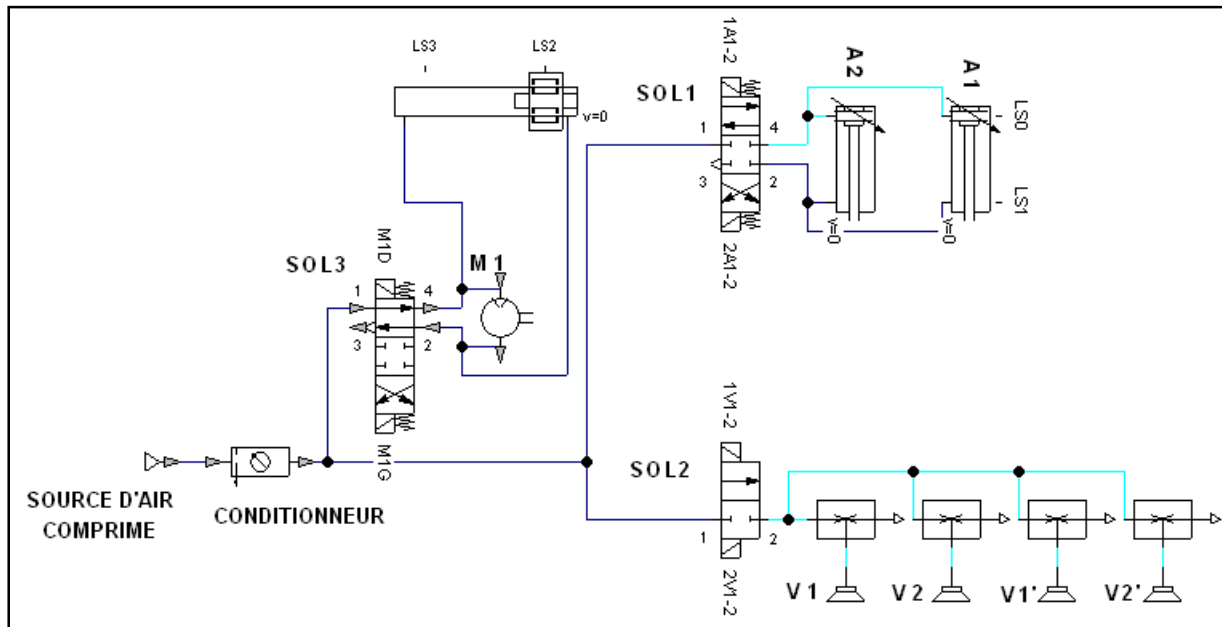


Figure III-20. Retour du chariot à la position initiale.

Si une autre cuve est déjà détectée par le détecteur d'objet OP0, tout le cycle décrit ci-dessus reprend directement. Sinon, il reprendra à la détection d'une nouvelle cuve.

2. La presse de détournage

A. La partie opérative:

Le vérin A7 (glissière) est contrôlé par le distributeur 4/3, à pilotage électropneumatique avec rappel de ressort à la position de centrale SOL4. Le vérin A8 (patin mobile) est contrôlé par le distributeur 4/3, à pilotage électropneumatique avec rappel de ressort à la position centrale SOL5.

L'énergie nécessaire pour le fonctionnement de ce palonnier est délivrée par la source d'air comprimé et le conditionneur. La figure III-21 illustre, la partie opérative de ce poste.

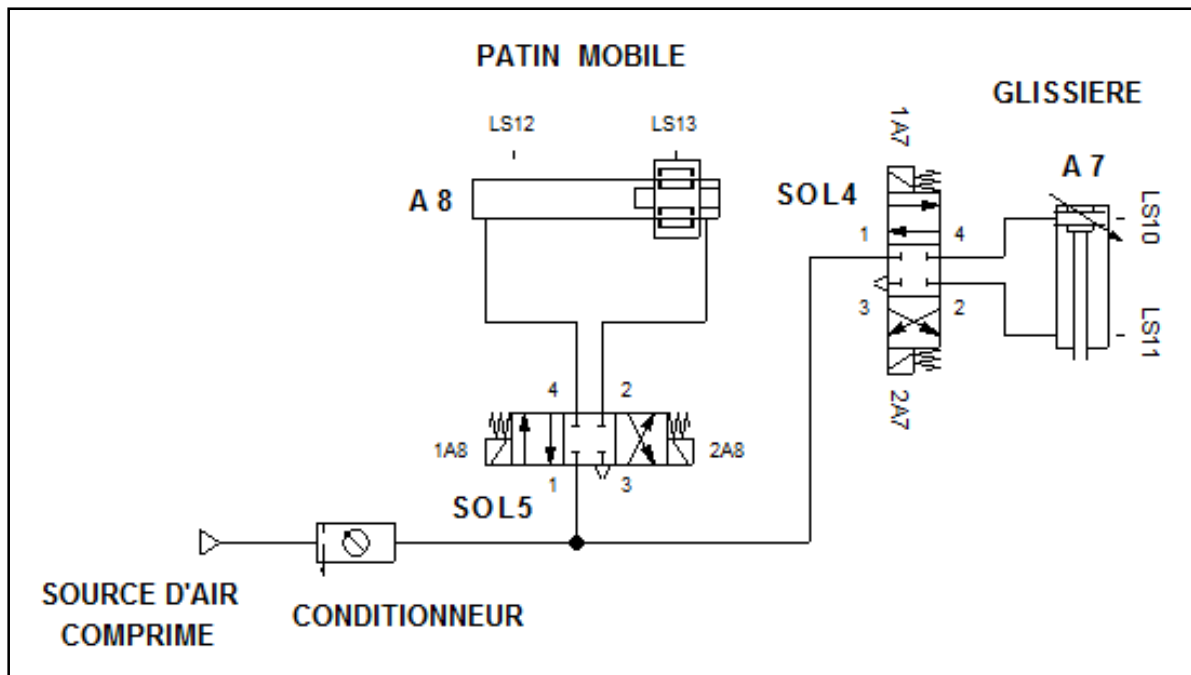


Figure III-21. Partie opérative de la presse de détourage.

B. La partie de commande :

La commande de la presse de détourage se fait à l'aide d'un module digital MD2. Il est alimenté sous 24V. Les capteurs de fin de course LS10, LS11, LS12 et LS13, sont connectés respectivement aux entrées I0, I1, I2 et I3, le détecteur d'objet OP2 est connecté à l'entrée I4. Le bouton d'arrêt d'urgence est connecté à l'entrée I5. Les distributeurs SOL4 et SOL5 sont contrôlés par les électrovannes (1A7, 2A7) et (1A8, 2A8) via les sorties Q2, Q3, Q1 et Q0. Ces connexions sont illustrées sur la figure III-22.

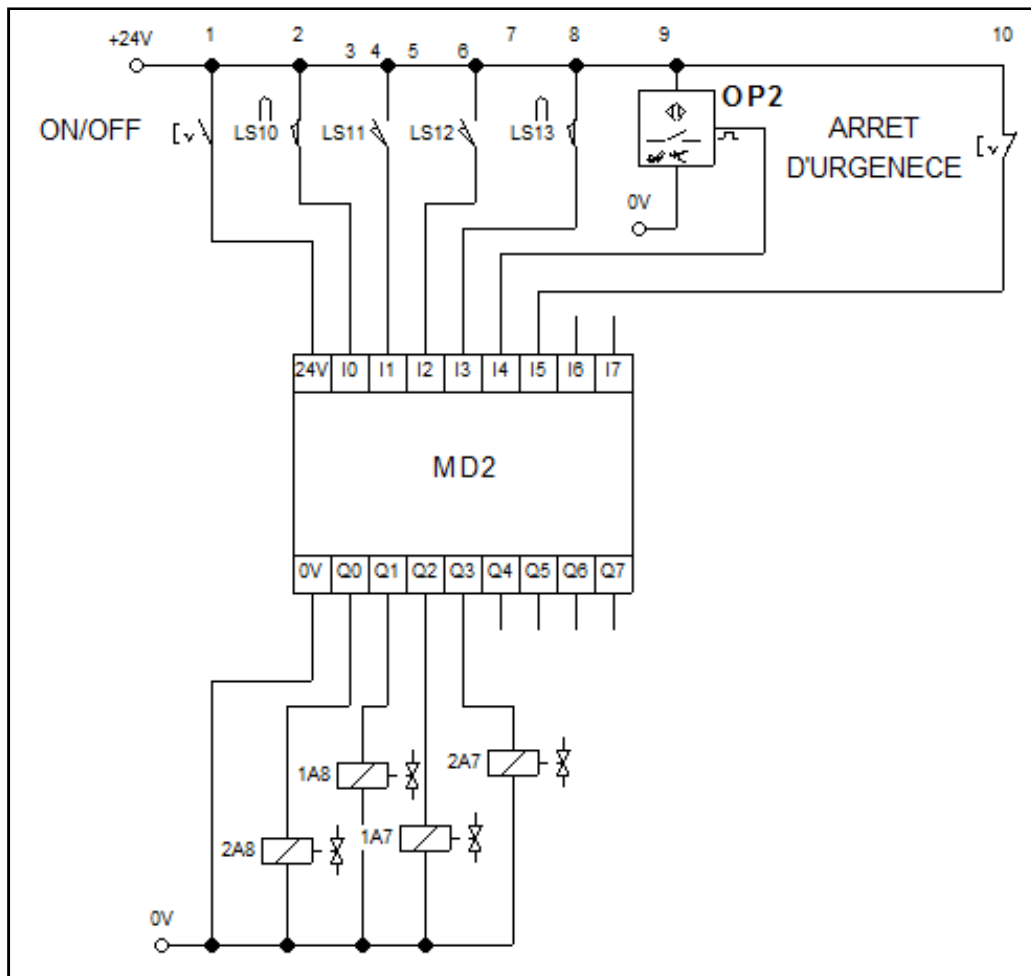


Figure III-22. Partie commande de la presse de détourage

C. Le diagramme d'état de fonctionnement de la presse de détournage

Le diagramme suivant (Figure III-23) résume le fonctionnement global de la presse de détournage.

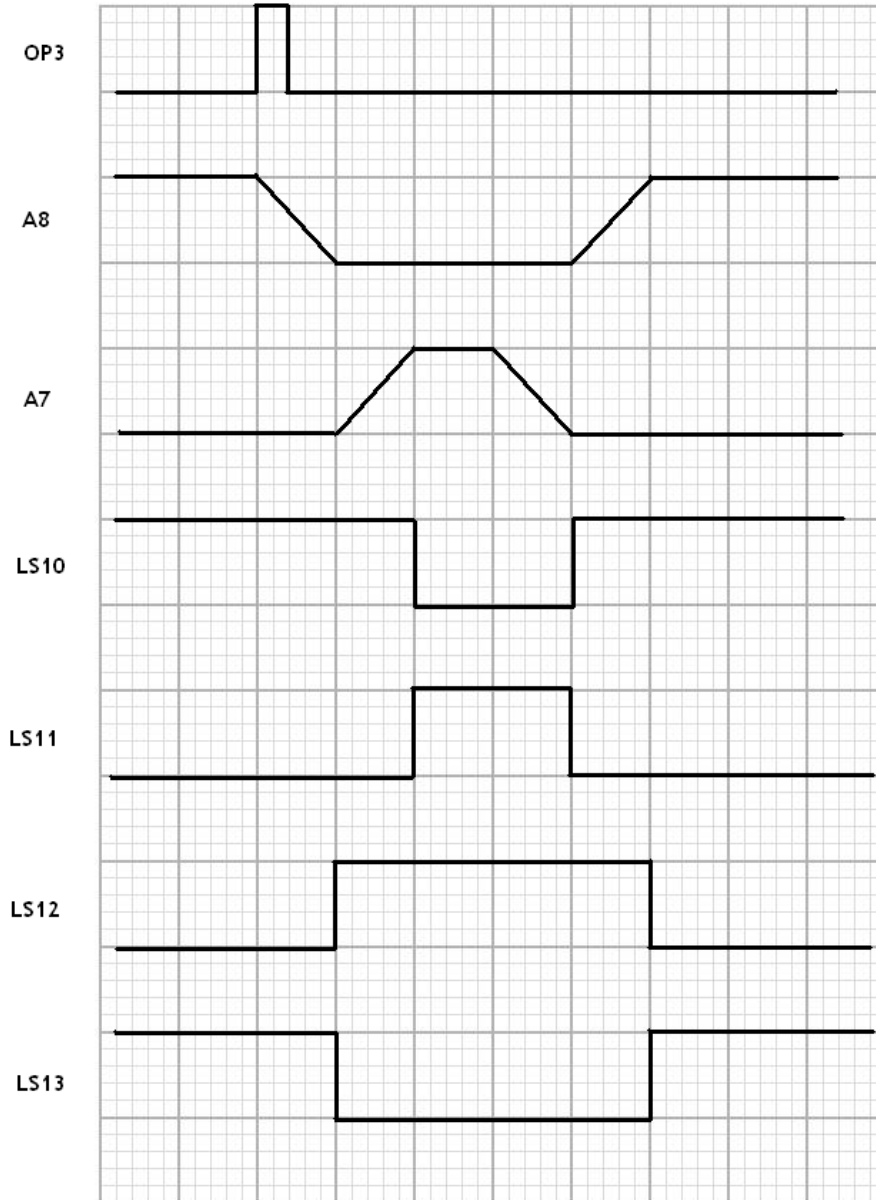


Figure III-23. Diagramme d'état de fonctionnement de la presse de détournage

D. Le module digital

Des mémoires à un bit (bascules RS) sont utilisées pour chaque entrée. Elles servent essentiellement, pour la sauvegarde des états des contacteurs de fin de course et du détecteur de position. Pour ne pas avoir des états contradictoires, la disposition des bascules se fait par paire pour les entrées I0-I1 et I2-I3. Une temporisation de deux secondes, est utilisée dans ce

poste. Sa réalisation nécessite un générateur d'impulsions de période d'une seconde et un compteur pour ces impulsions. Ce dernier, génère un signal de niveau haut, lorsque le nombre d'impulsions comptées, est de deux.

E. Les équations logiques, régissant ce circuit

- Rentrée de tige du vérin A8 :

$$2A8 = Q0 = \overline{AU} * LS10 * LS13 * OP2$$

- Sortie de tige du vérin A8 :

$$1A8 = Q1 = \overline{AU} * LS10 * LS12 * CA$$

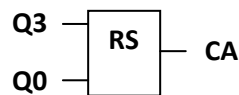
- Sortie de tige du vérin A7 :

$$1A7 = Q2 = \overline{AU} * LS10 * LS12 * \overline{CA}$$

- Rentrée de tige du vérin A7 :

$$2A7 = Q3 = \overline{AU} * LS11 * LS12 * MN$$

Condition CA



$$CA_{n+1} = Q3 + \overline{Q0} * CA_n$$

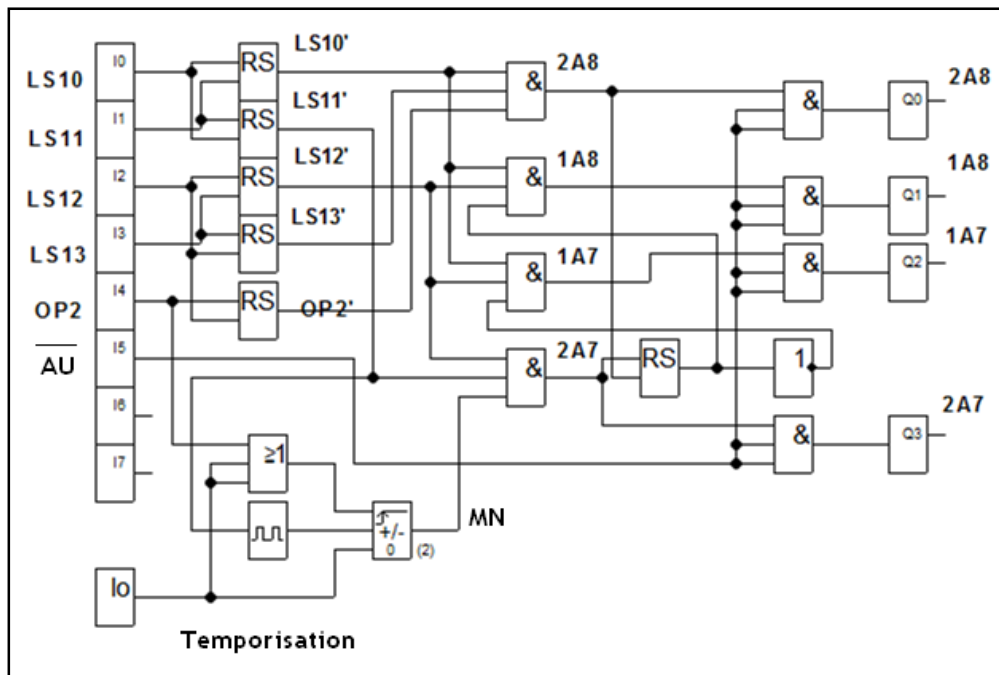


Figure III-24. Circuit logique du module digital MD1

F. La simulation du fonctionnement de la presse de détourage

En l'absence de cuve sur la matrice inférieure de la presse de détourage, les composants de cette dernière s'immobilisent. La tige du vérin A7 reste l'intérieure. Le patin mobile reste dans la position avant. C'est-à-dire que la tige du vérin A8 est sortante. La Figure III-25 illustre cet état. La dynamique de tout l'ensemble surgit avec l'arrivée d'une cuve.

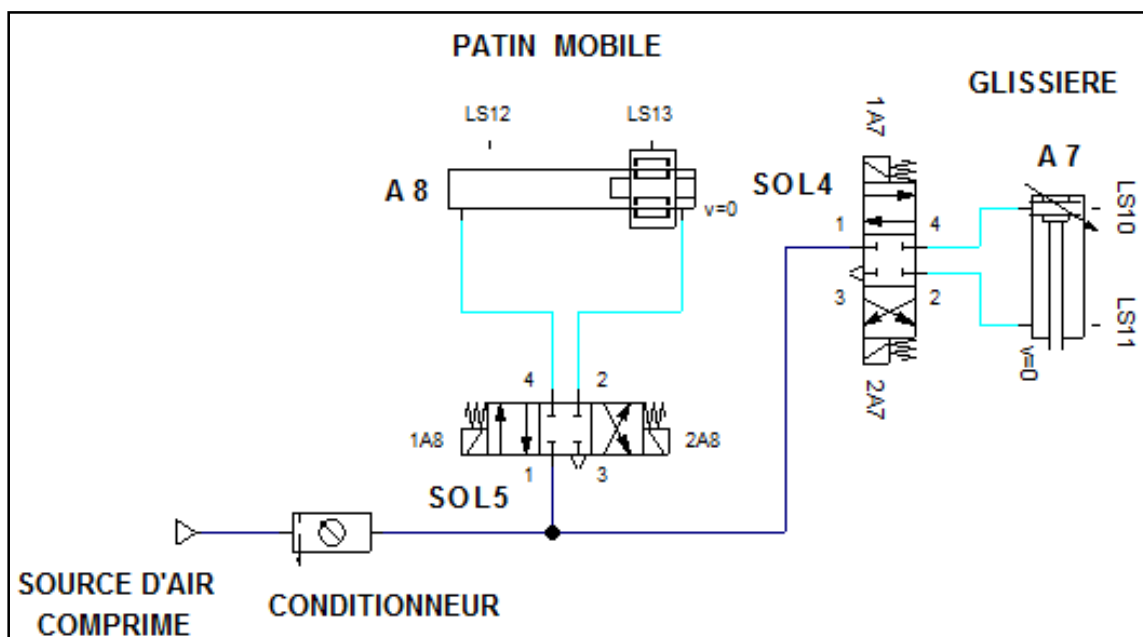


Figure III-25. La presse de détourage en attente de cuve.

Le détecteur d'objet OP2, détecte toute cuve transférée par le palonnier n°1 sur la matrice inférieure de la presse de détourage. Une information est transmise, par celui-ci vers la partie commande. Cette dernière ordonne le mouvement en arrière du vérin A8 (patin mobile). Une fois à l'intérieur, le contacteur de fin de course LS12 se retrouve fermé. La figure III-26 illustre ce mouvement.

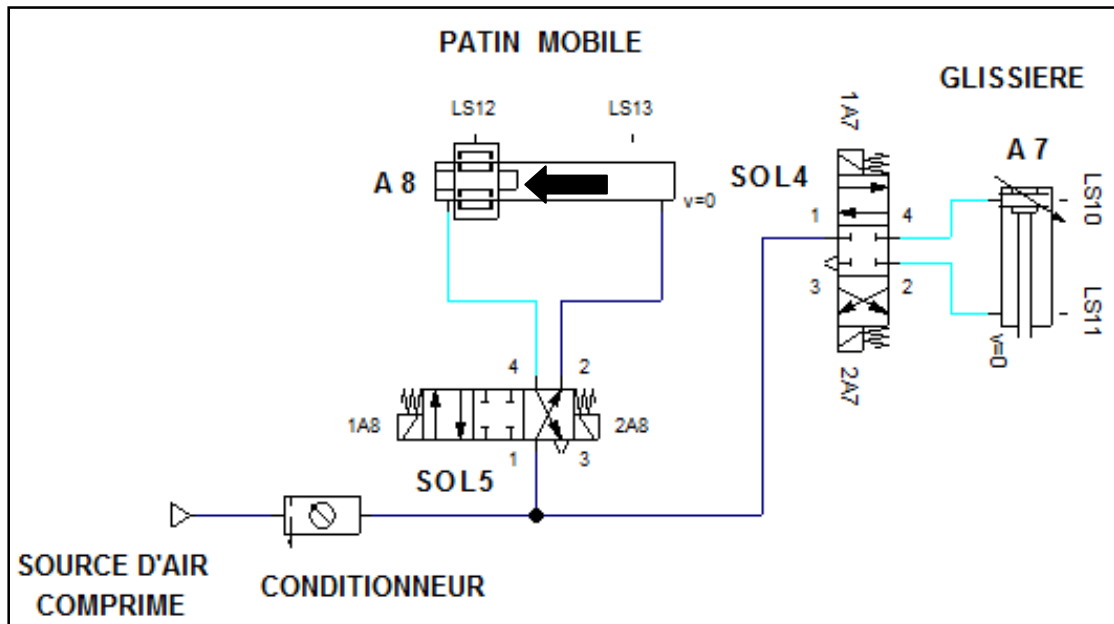


Figure III-26. Déplacement vers l'arrière du patin mobile

Tenant compte de l'état fermé du capteur de fin de course LS12, la partie de commande, ordonne la sortie de tige du vérin A7 (descente de la glissière). Un autre capteur de fin de course détecte la sortie maximale de cette tige. Il signale l'information à la partie de commande. Celle-ci arrête la sortie de cette tige (Figure III-27) et démarre une temporisation de deux secondes (Figure III-28).

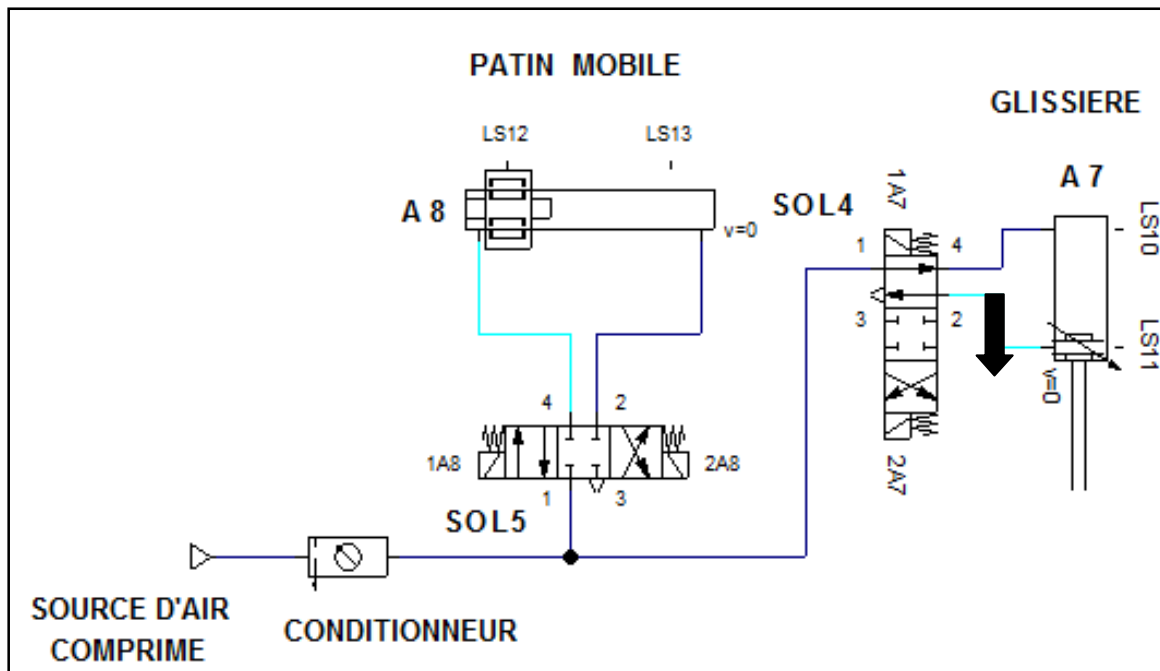


Figure III-27. Sortie de tige du vérin A7

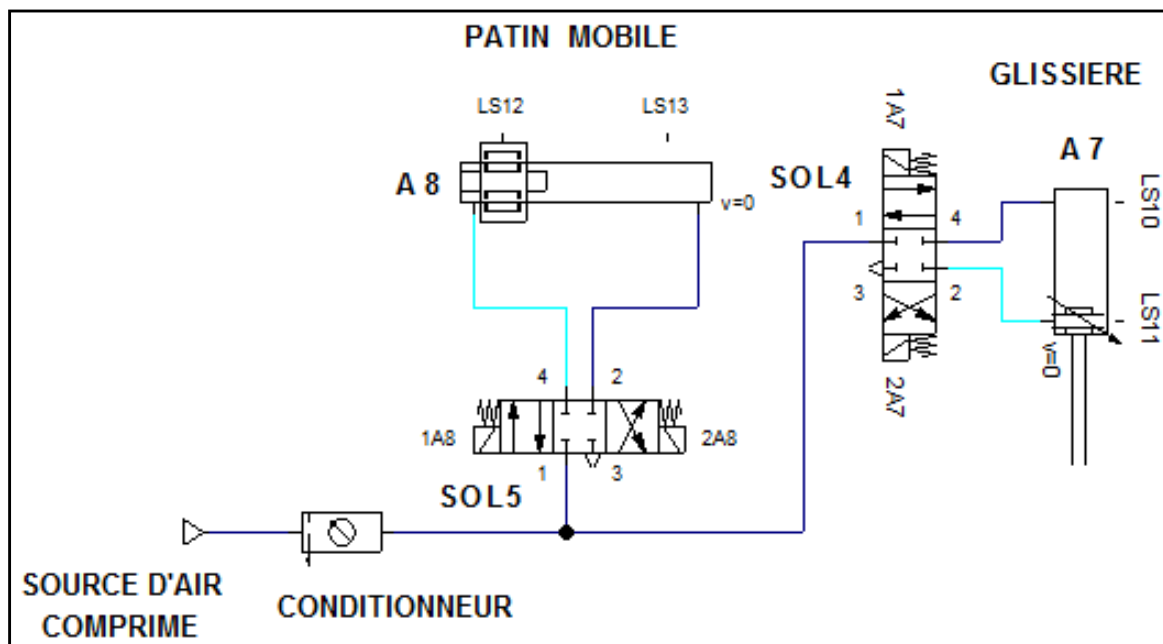


Figure III-28. Déclenchement de la temporisation.

Une fois la temporisation écoulée, la partie commande, ordonne la remontée de la glissière. Le capteur de fin de course LS10 détecte la rentrée maximale de cette tige. Il transmet la nouvelle à la partie de commande, qui arrête cette action (Figure III-29).

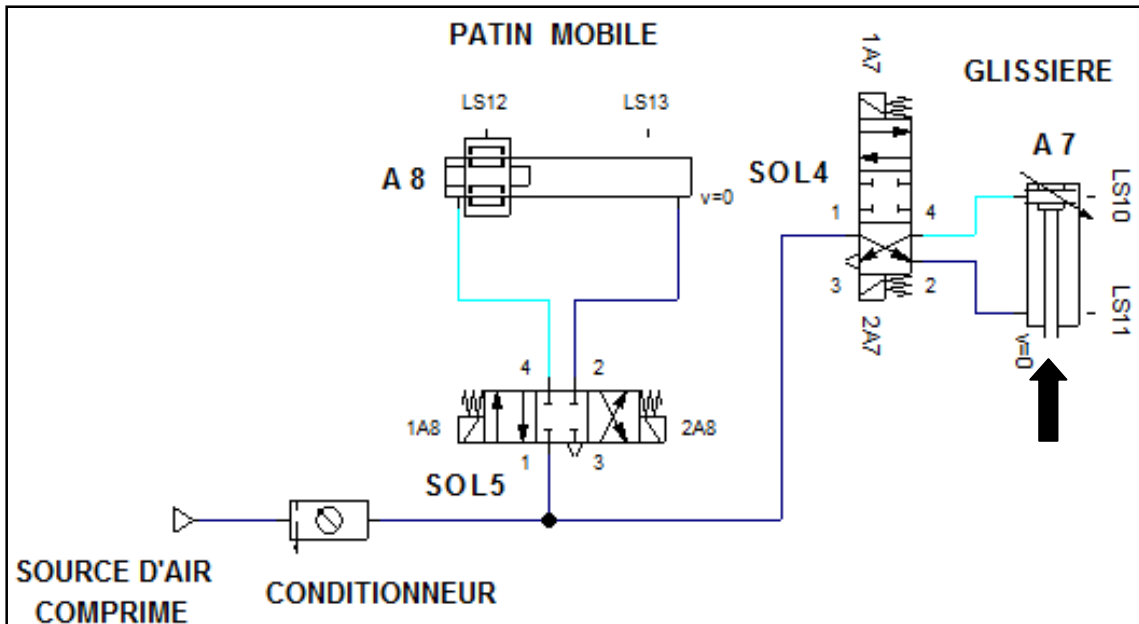


Figure III-29. Rentrée du vérin A7.

La glissière retournée dans sa position supérieure, permet à la partie de commande d'autoriser le déplacement en avant du patin mobile. Le capteur de fin de course LS13, détecte son avance maximale. Du fait, la partie de commande met un terme à cette action. Elle informe aussi, la partie de commande du palonnier n°2, de la disponibilité de la cuve pour être poinçonnée (Figure III-30).

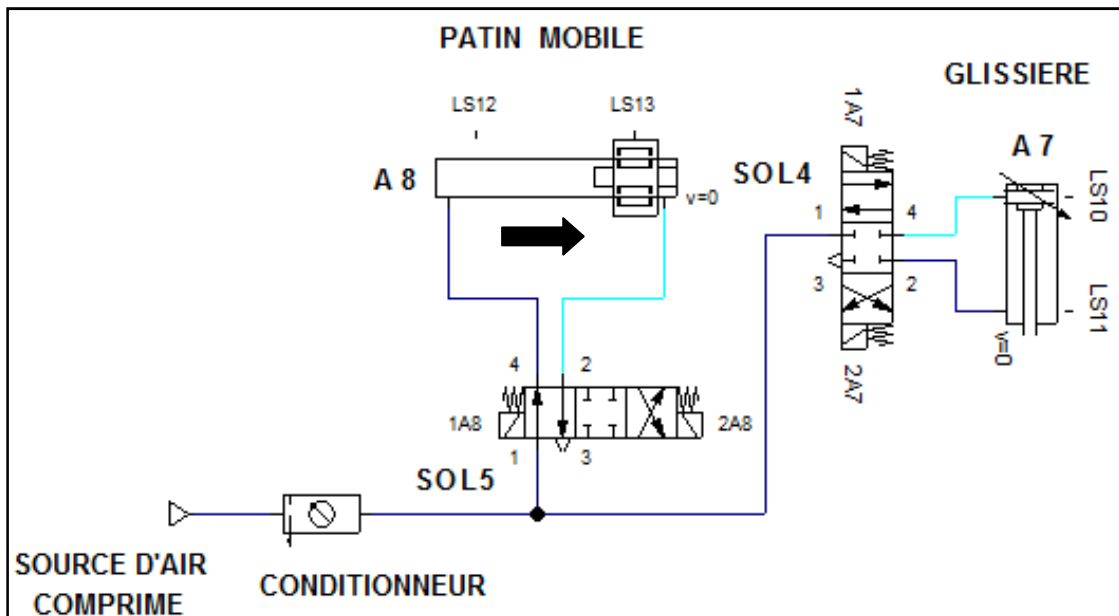


Figure III-30. Rentrée de tige du vérin A8

3. Le deuxième palonnier

A. La partie opérative

Le palonnier n°2 travaille avec la presse de détournage et la perceuse à la fois. Il est composé de deux parties identiques et indépendantes.

La partie de droite, s'occupe du transfert des cuves de la presse de détournage vers la perceuse. Elle est constituée de deux vérins A3 et A4, commandés par un Distributeur 4/3 « SOL6 » PERRPC¹² ; et quatre ventouses V3, V4, V3' et V4' commandées par un distributeur 2/2 « SOL8 » à pilotage électropneumatique.

La partie de gauche, s'occupe du transfert des cuves de la perceuse vers le tapis roulant. Elle est constituée de deux vérins A5 et A6, commandés par un distributeur 4/3 « SOL7 » PERRPC² ; et quatre ventouses V5, V6, V5' et V6' commandées par un distributeur 2/2 « SOL9 » à pilotage électropneumatique.

Les deux parties sont accrochées à un chariot pouvant se déplacer sur un axe horizontal, grâce à un moteur hydraulique M2, commandé par un distributeur 4/3 « SOL10 » PERRPC². Pour simuler le déplacement du chariot, un vérin d'entraînement est alimenté en parallèle avec ce moteur.

L'énergie nécessaire pour le fonctionnement de ce palonnier est délivrée par la source d'air comprimé et le conditionneur. Sur la figure III-31, illustre l'ensemble de ces éléments.

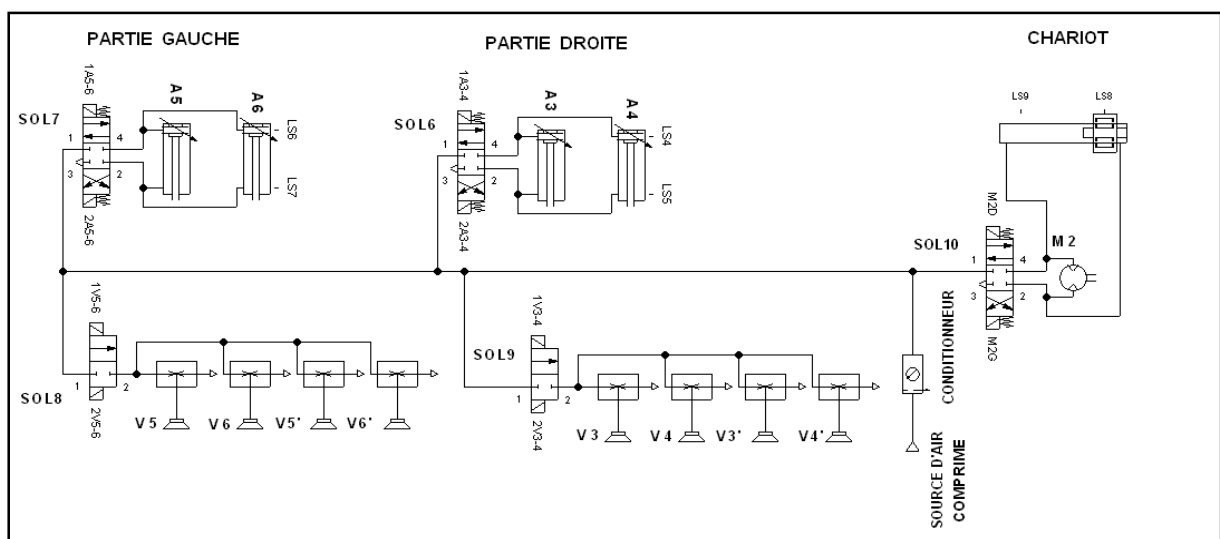


Figure III-31. La partie opérative du deuxième palonnier

¹² Distributeur à pilotage électropneumatique avec rappel de ressort à la position centrale

B. La partie de commande :

La commande de ce système nécessite dix signaux de sortie. Alors que le module digital proposé par la librairie de FluidSim-P 3.6 n'offre que huit sorties. C'est pourquoi l'usage de deux modules digitaux MD3 et MD4 s'impose. Ils seront alimentés sous 24V.

Le premier module digital gère le fonctionnement des deux parties du palonnier. Alors que, le deuxième module digital s'occupe uniquement de la gestion du mouvement du chariot.

Les capteurs de fin de course LS4, LS5, LS6, LS7, LS8, LS9, LS13 et LS16 sont connectés respectivement aux entrées I0, I1, I2, I3, I4, I5, I6 et I7. Les distributeurs SOL6, SOL7, SOL8 et SOL9 sont contrôlés par les électrovannes 1A3-4, 2A3-4, 1V3-4, 2V3-4, 1A5-6, 2A5-6, 1V5-6, 2V5-6 via les sorties Q0, Q1, Q2, Q3, Q4, Q5, Q6 et Q7 du module digital MD3 (Figure III-32).

Des informations relatives à la commande des ventouses établies par le module digital MD3, sont nécessaires pour le fonctionnement du module digital MD4. C'est pourquoi des relais, en l'occurrence, R1V3-4, R2V3-4, R1V5-6 et R2V5-6 sont connectés en parallèle aux électrovannes 1V3-4, 2V3-4, 1V5-6 et 2V5-6. Les contacteurs R1V3-4, R2V3-4, R1V5-6 et R2V5-6 correspondants à ces relais, sont respectivement connectés aux entrées I4, I5, I6 et I7 du module digital MD4. Les capteurs de fin de course LS4, LS5, LS8 et LS9 sont connectés respectivement aux entrées I0, I1, I2 et I3. Le distributeur SOL10 est contrôlé par les électrovannes M2G et M2D via les sorties Q0 et Q1 du même module digital (Figure III-33).

Comme, toutes les entrées des modules digitaux MD3 et MD4 sont utilisées. Il est pratiquement impossible d'insérer un bouton d'arrêt d'urgence. C'est pourquoi, nous l'avons confondu avec le bouton de Marche/Arrêt.

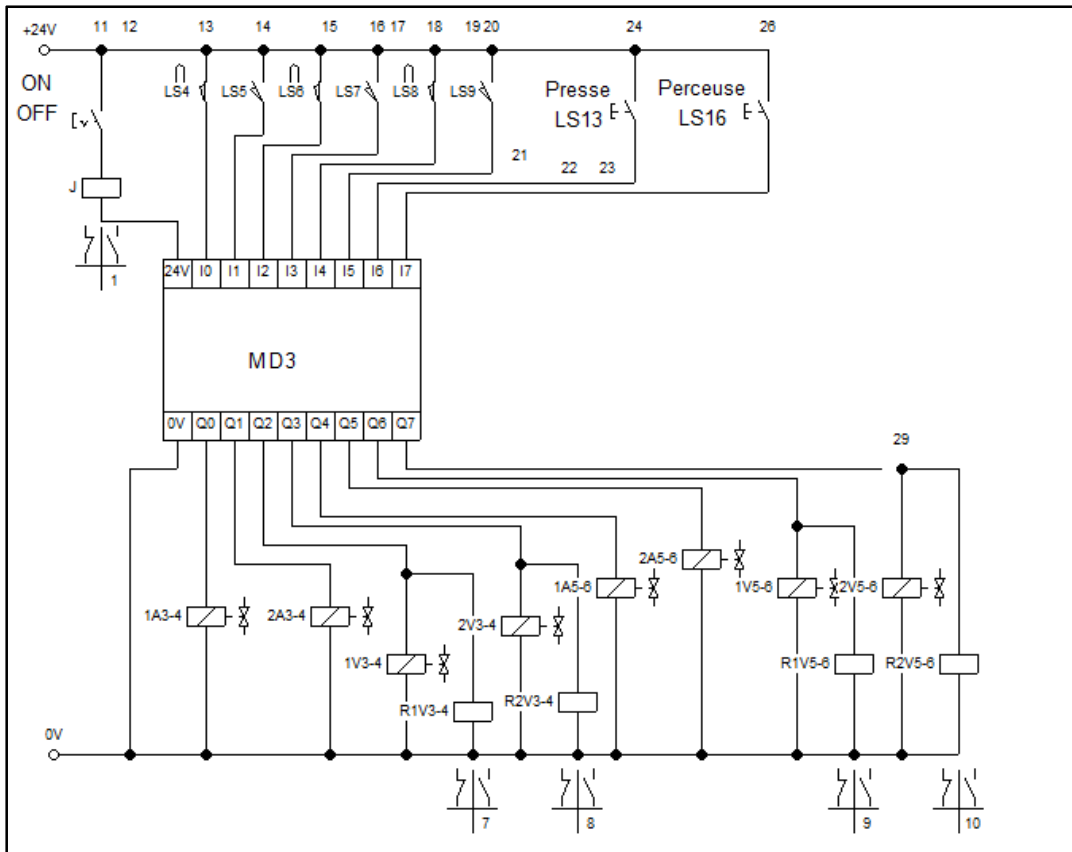


Figure III-32. Module digital MD3

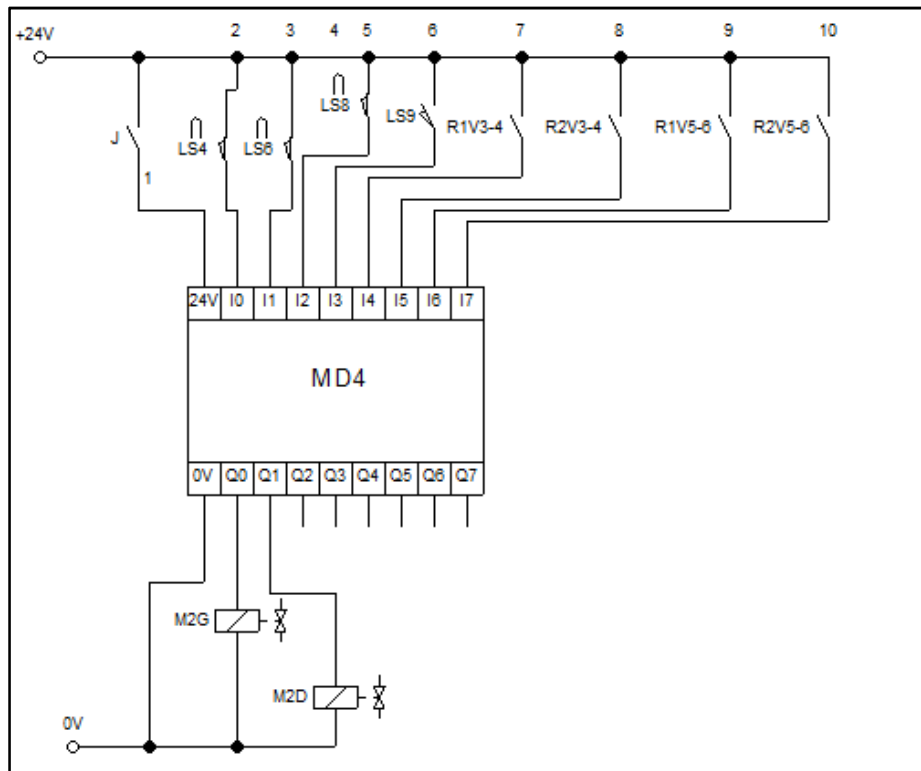


Figure III-33. Module digital MD4

C. Le diagramme d'état du fonctionnement du palonnier n° 2

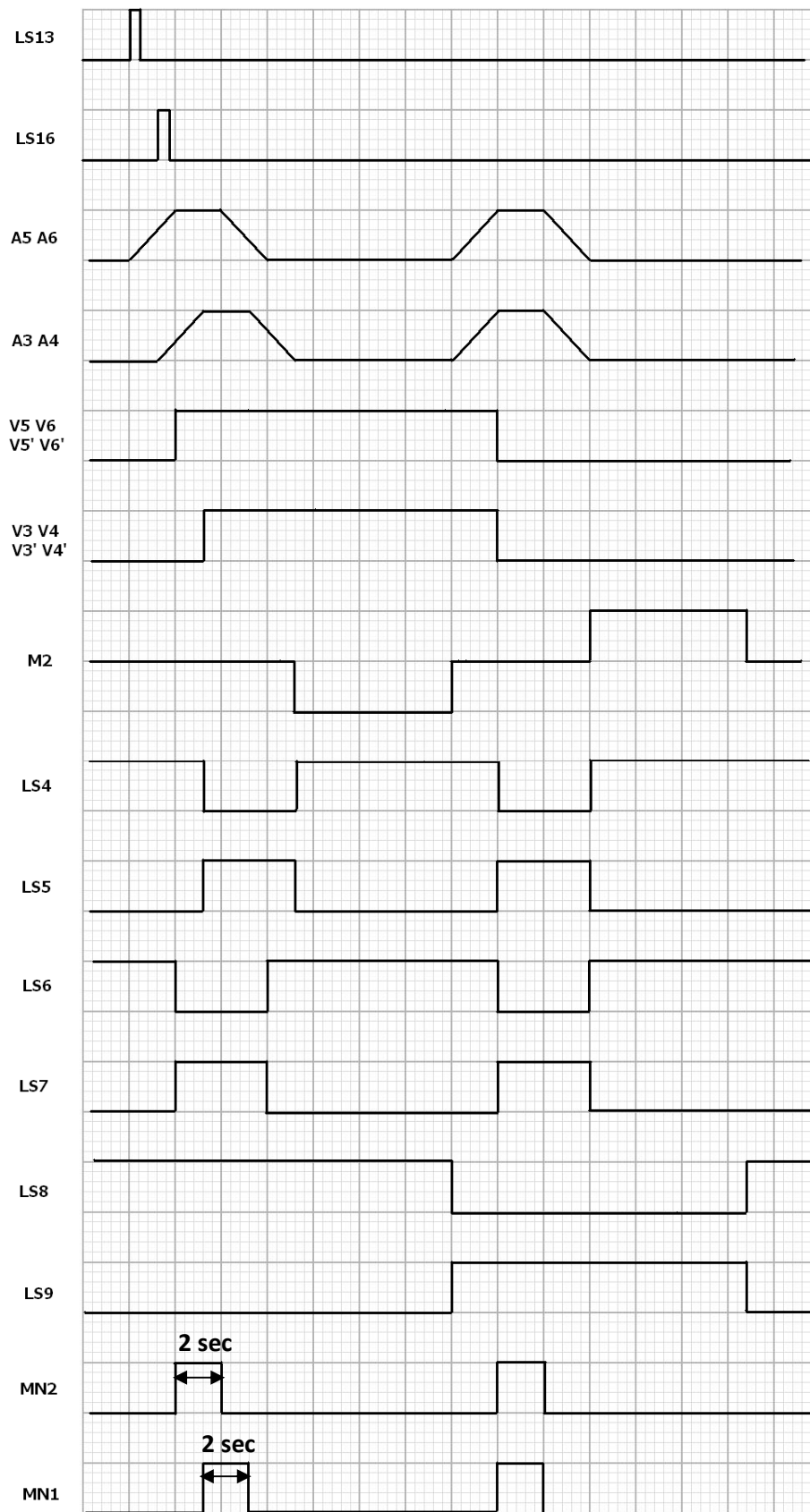


Figure III-34. Diagramme d'état du fonctionnement du palonnier n° 2

D. Les circuits logiques des modules digitaux

Des mémoires à un bit (bascules RS) sont utilisées pour chaque entrée. Elles servent essentiellement, pour la sauvegarde des états des contacteurs de fin de course. Pour ne pas avoir des états contradictoires, la disposition des bascules se fait par paire pour les entrées I0-I1, I2-I3 et I4-I5 pour le module digital MD3 et pour les entrées I2-I3, I4-I5 et I6-I7 du module digital MD4. Deux temporisations de deux secondes, sont utilisées dans ce palonnier. Leurs réalisations nécessitent deux générateurs d'impulsions de période d'une seconde et deux compteurs pour ces impulsions. Ces derniers, génèrent un signal de niveau haut, lorsque le nombre d'impulsions comptées est de deux.

E. Les équations logiques, régissant le fonctionnement de ce palonnier

- **Au niveau du module digital MD3 (Figure III-35)**

- Sortie des tiges des vérins A3 et A4 :

$$1A3-4 = Q0 = (LS4 * LS8 * LS13) + (LS4 * LS9 * CA)$$

- Rentrée des tiges des vérins A3 et A4 :

$$2A3-4 = Q1 = LS5 * MN1 * (LS9 + LS8)$$

- Aspiration au niveau des ventouses V3, V4, V3' et V4' :

$$1V3-4 = Q2 = LS5 * LS8$$

- Arrêt de l'aspiration au niveau des ventouses V3, V4, V3' et V4' :

$$2V3-4 = Q3 = LS5 * LS9$$

- Sortie des tiges des vérins A5 et A6 :

$$1A5-6 = Q4 = (LS6 * LS8 * LS16) + (LS6 * LS9 * CB)$$

- Rentrée des tiges des vérins A5 et A6 :

$$2A5-6 = Q5 = LS7 * MN2 * (LS8 + LS9)$$

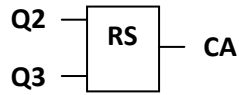
- Aspiration au niveau des ventouses V5, V6, V5' et V6' :

$$1V5-6 = Q6 = LS7 * LS8$$

- Arrêt de l'aspiration au niveau des ventouses V5, V6, V5' et V6' :

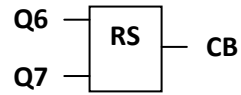
$$2V5-6 = Q7 = LS7 * LS9$$

Condition CA



$$CA_{n+1} = Q_2 + \overline{Q_3} * CA_n$$

Condition CB



$$CB_{n+1} = Q_6 + \overline{Q_7} * CB_n$$

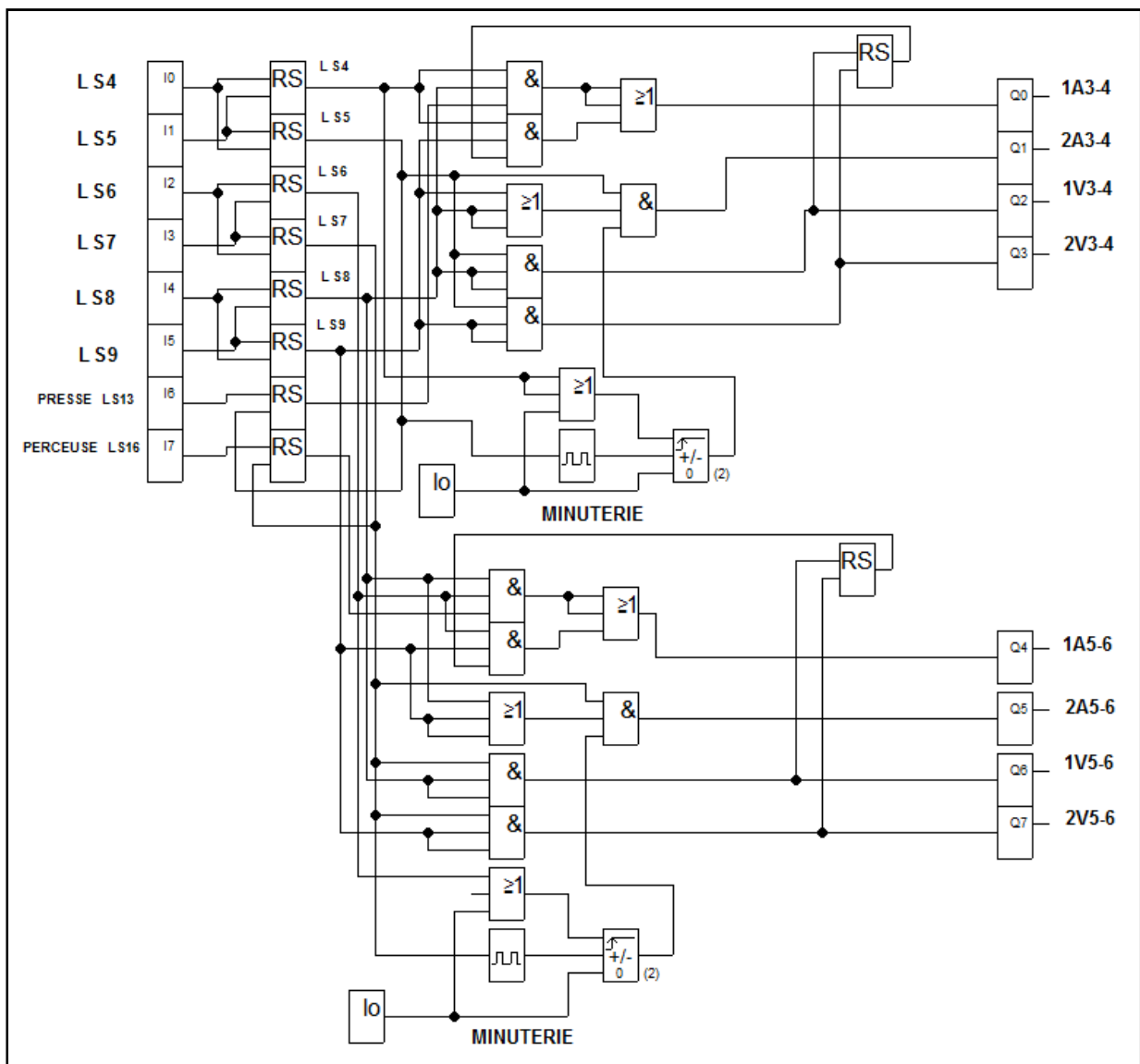


Figure III-35. Circuit logique du module digital MD3

- Les équations logiques, régissant le circuit logique du module digital MD4 (Figure III-36)
- Déplacement du chariot vers la gauche

$$M2G = Q0 = LS4 * LS6 * LS8 * R1V3 - 4 * R1V5 - 6$$

- Déplacement du chariot vers la droite :

$$M2D = Q1 = LS4 * LS6 * LS9 * R2V3 - 4 * R2V5 - 6$$

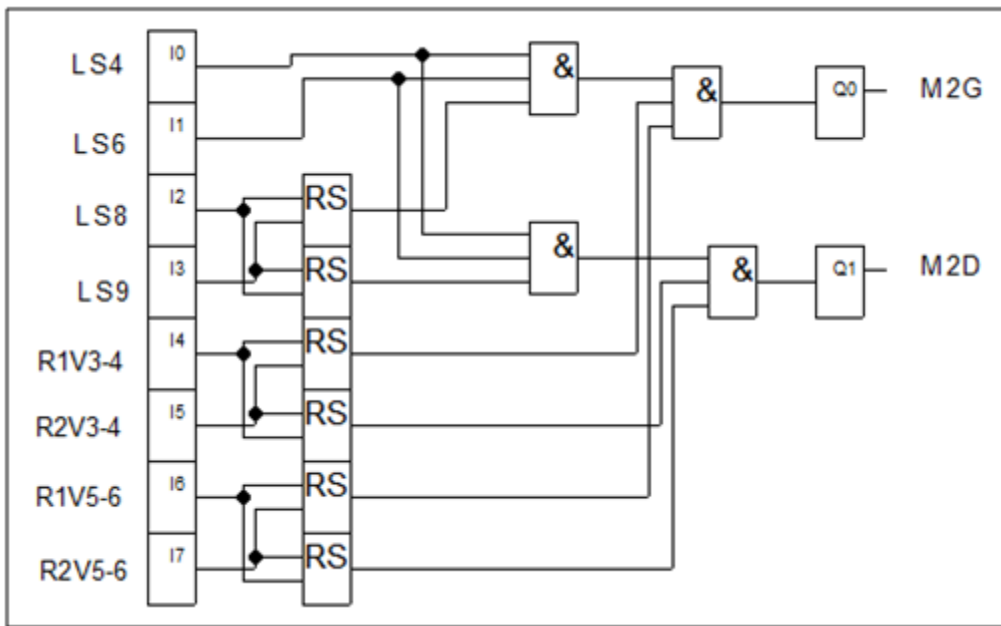


Figure III-36. Circuit logique du module digital MD4

F. La simulation du fonctionnement du deuxième palonnier

Comme, ce palonnier se charge du transfert simultané des cuves traitées par la presse de détournage et par la perceuse. Des informations venant de ces machines sont nécessaires pour son fonctionnement. En leurs absences, les états de tous les éléments de ce palonnier sont dans leurs positions de repos (figure III-37).

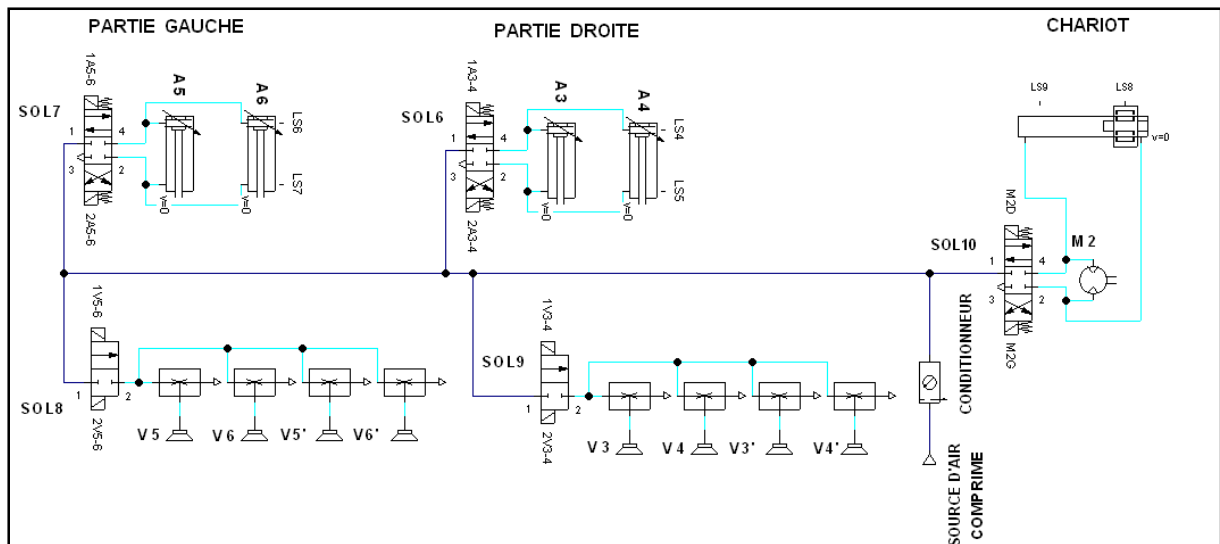


Figure III-37. Le Palonnier n°2 en attente.

Une fois le traitement de la cuve par la presse de détourage terminé, le capteur de fin de course LS13 se retrouve fermé. La partie de commande traduit cette information par la disponibilité de la cuve pour la partie droite de ce palonnier. Cette dernière ordonne la sortie des tiges des vérins A3 et A4 (figure III-38).

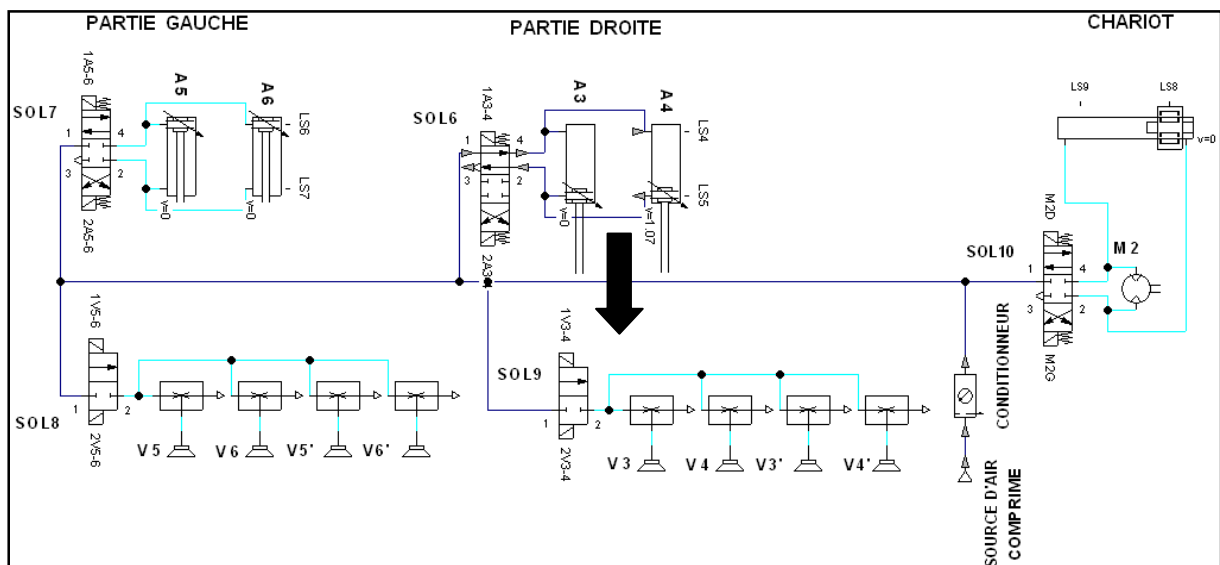


Figure III-38. Sortie des tiges des vérins A3 et A4.

Le capteur de fin de course LS5 détecte la sortie maximale des tiges des vérins A3 et A4. Du fait, la partie de commande arrête cette sortie. Elle ordonne aussi le passage d'air dans les tuyères d'aspiration associées aux ventouses V3, V4, V3', V4' et démarre une temporisation de deux secondes. La cuve se retrouve aspirée et collée aux quatre ventouses (figure III-39).

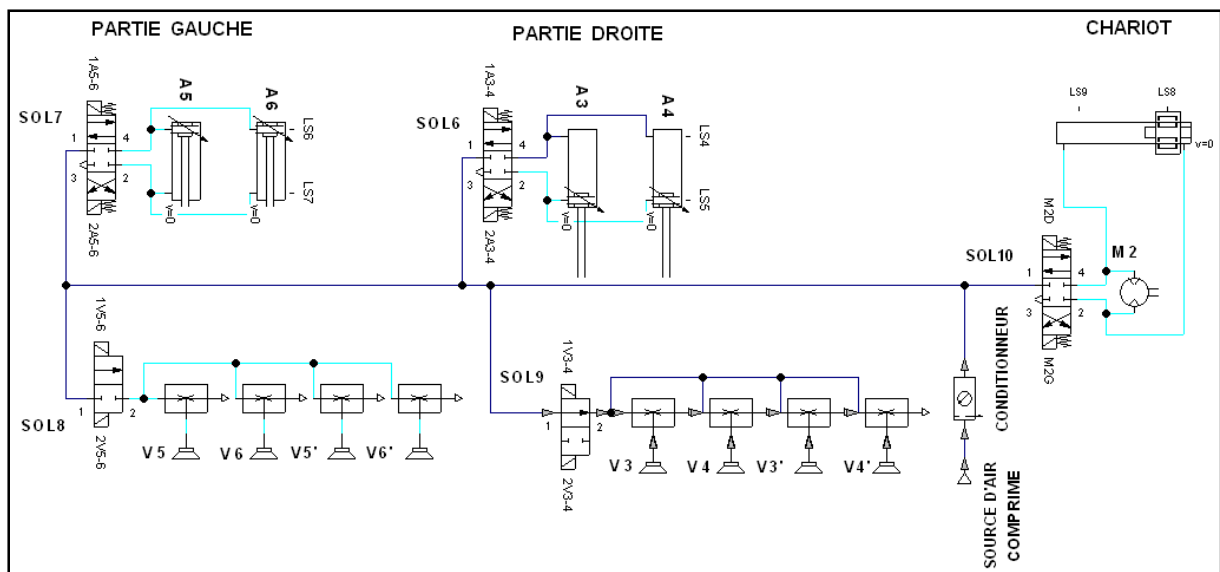


Figure III-39. Aspiration de la cuve par les ventouses V3, V4, V3' et V4'.

Une fois le temps de la temporisation écoulée, la partie de commande ordonne la rentrée des tiges des vérins A3 et A4. La cuve se retrouve alors suspendue en l'air (figure III-40).

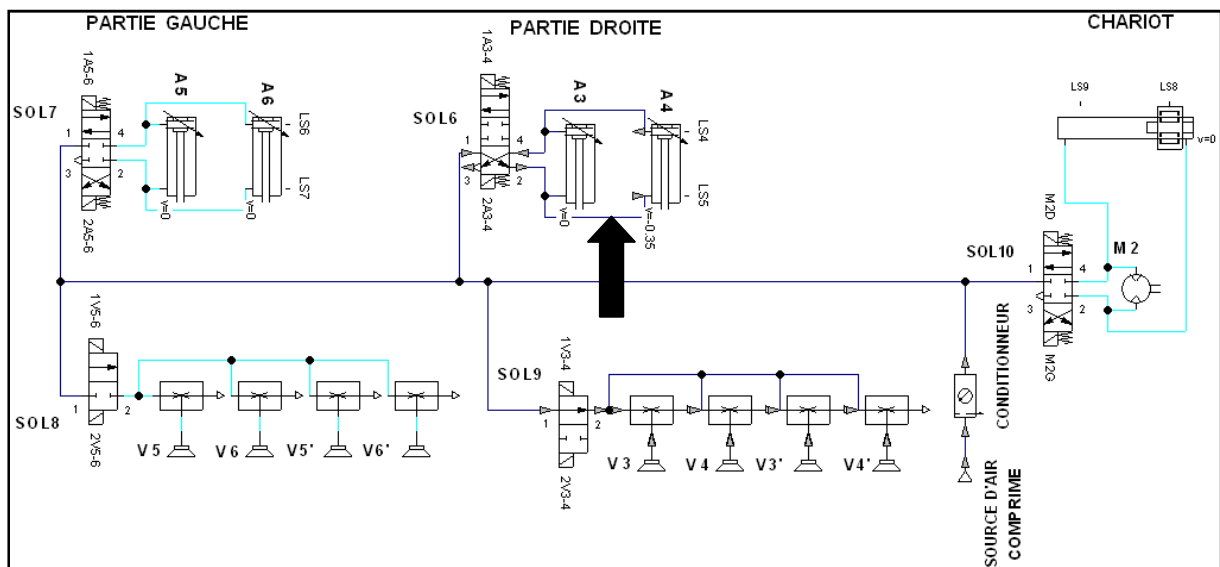


Figure III-40. Rentrée des tiges des vérins A3 et A4.

La partie de droite, reste dans cet état, jusqu'au soulèvement de l'autre cuve traitée par la perceuse.

Lorsque la perceuse achève le poinçonnage de la cuve, un capteur de fin de course LS16 se retrouve fermé. La partie commande traduit cette information, par la disponibilité de

la cuve pour la partie gauche. Cette dernière, ordonne la sortie des tiges des vérins A5 et A6 (figure III-41).

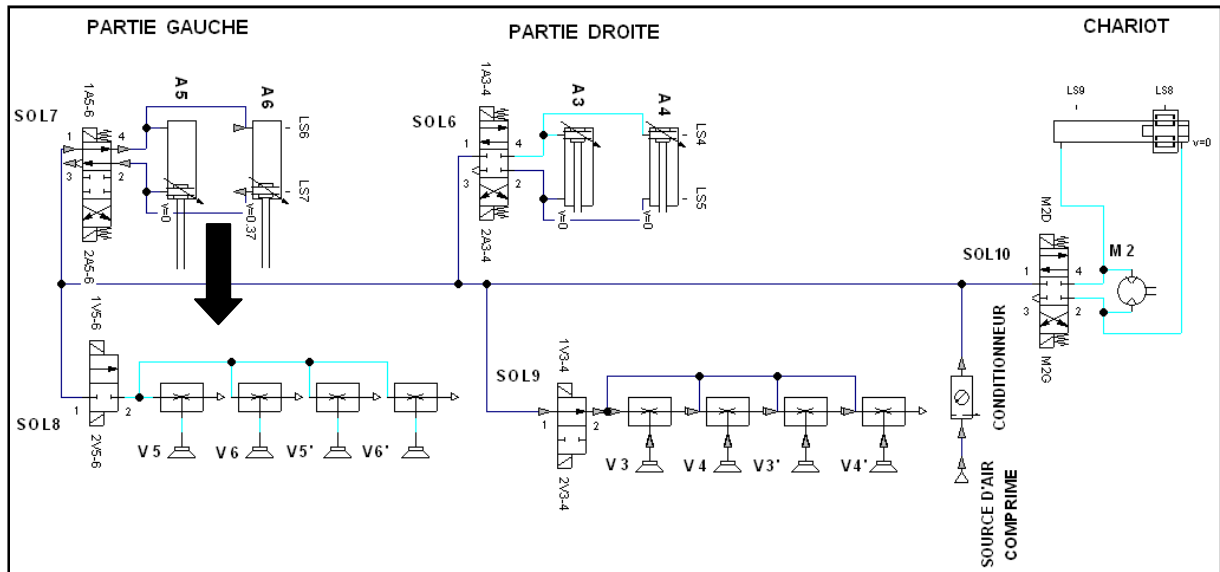


Figure III-41. Sortie des tiges des vérins A5 et A6.

Le capteur de fin de course LS7 détecte la sortie maximale des tiges des vérins A5 et A6. Du fait, la partie de commande arrête cette sortie et démarre une temporisation de deux secondes. Elle ordonne aussi le passage d'air dans les tuyères d'aspiration associées aux ventouses V5, V6, V5', V6'. La cuve se retrouve aspirée et collée aux quatre ventouses (figure III-42).

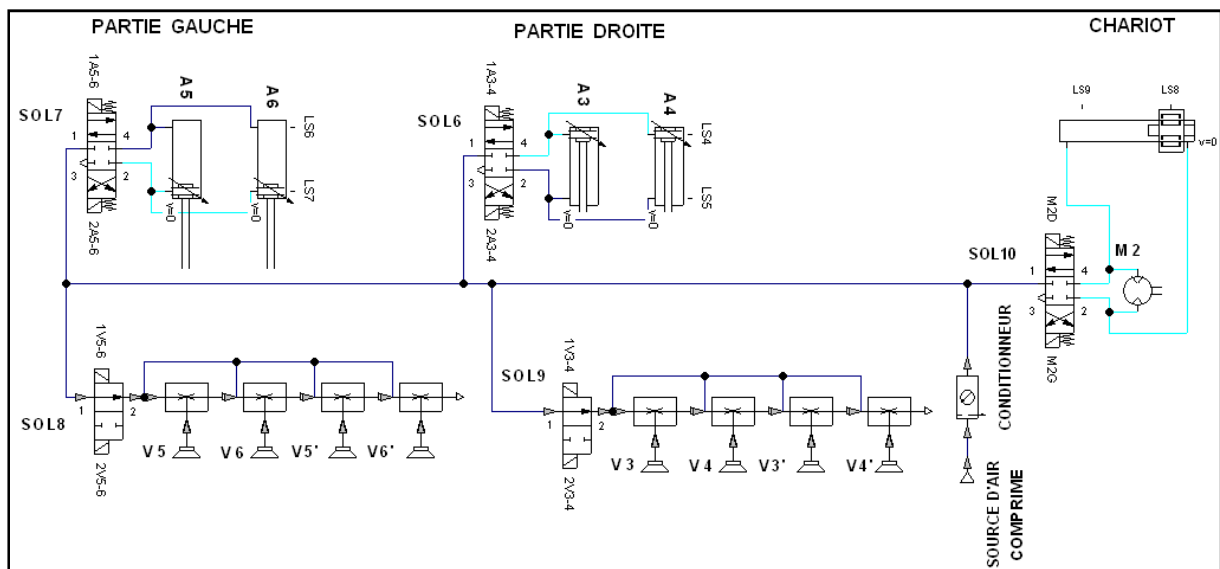


Figure III-42. Aspiration de la cuve par les ventouses V5 et V6.

Le temps de la temporisation écoulé, permet à la partie de commande d'ordonner la rentrée des tiges des vérins A5 et A6. La cuve se retrouve alors suspendue en l'air (figure III-43).

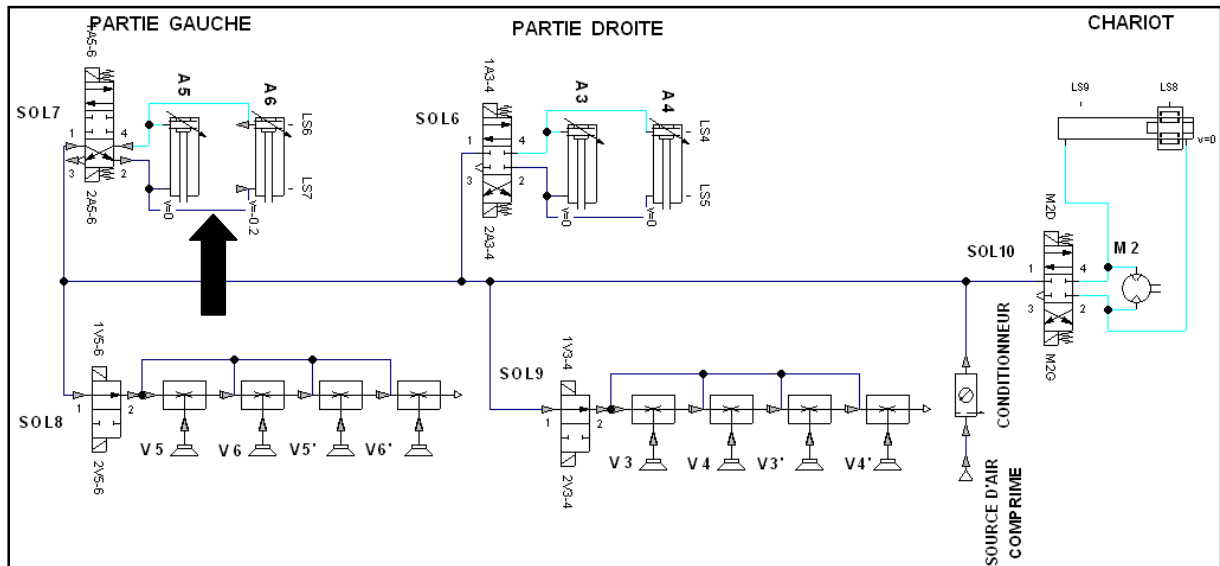


Figure III-43. Rentrée des tiges des vérins A5 et A6.

A ce stade d'avancement, les deux cuves sont suspendues en l'air. Cette information est transmise par les relais R1V3-4 et R1V5-6 vers le module digital MD4. Tenant compte de l'état des capteurs LS4 et LS6 celui-ci ordonne la rotation du moteur M2 dans le sens qui déplacera le chariot vers la gauche (figure III-44).

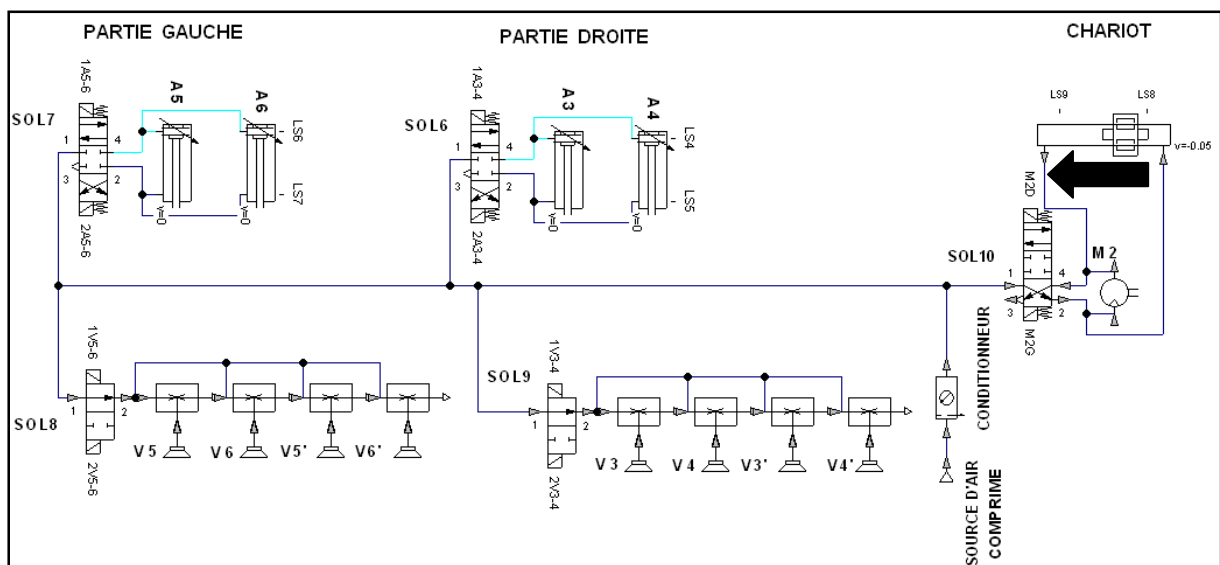


Figure III-44. Déplacement du chariot vers la gauche.

La fermeture du capteur de fin de course LS9 annonce la position adéquate du chariot. Tenant compte de cet événement, la partie de commande arrête la rotation du moteur M2 (figure III-45) et ordonne la sortie des tiges des vérins A3, A4, A5 et A6 (figure III-46).

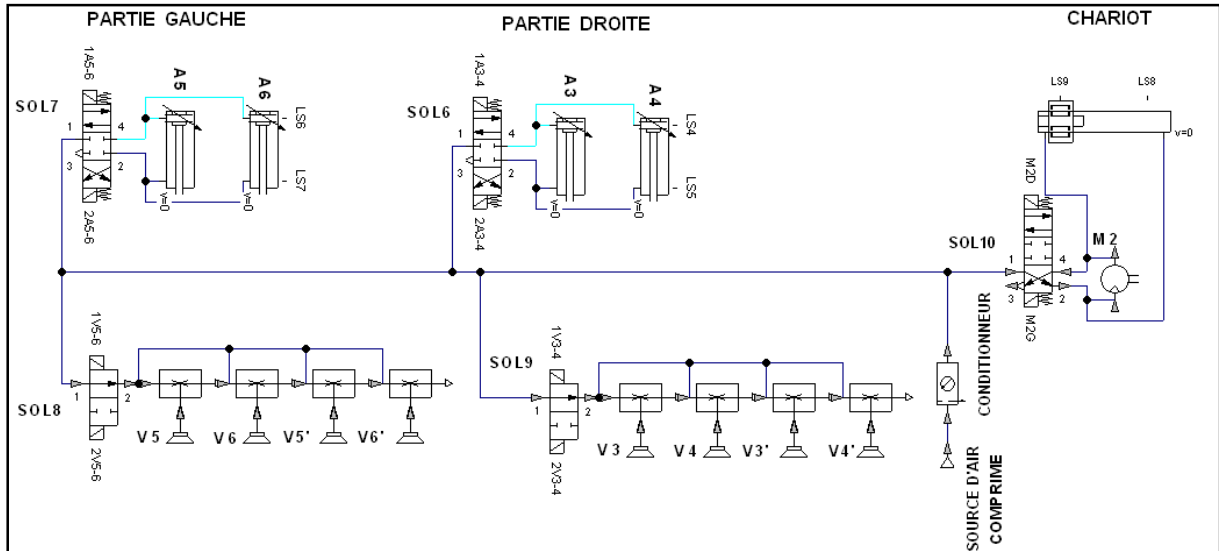


Figure III-45. Arrivé du chariot à l'extrémité gauche et arrêt du moteur M2.

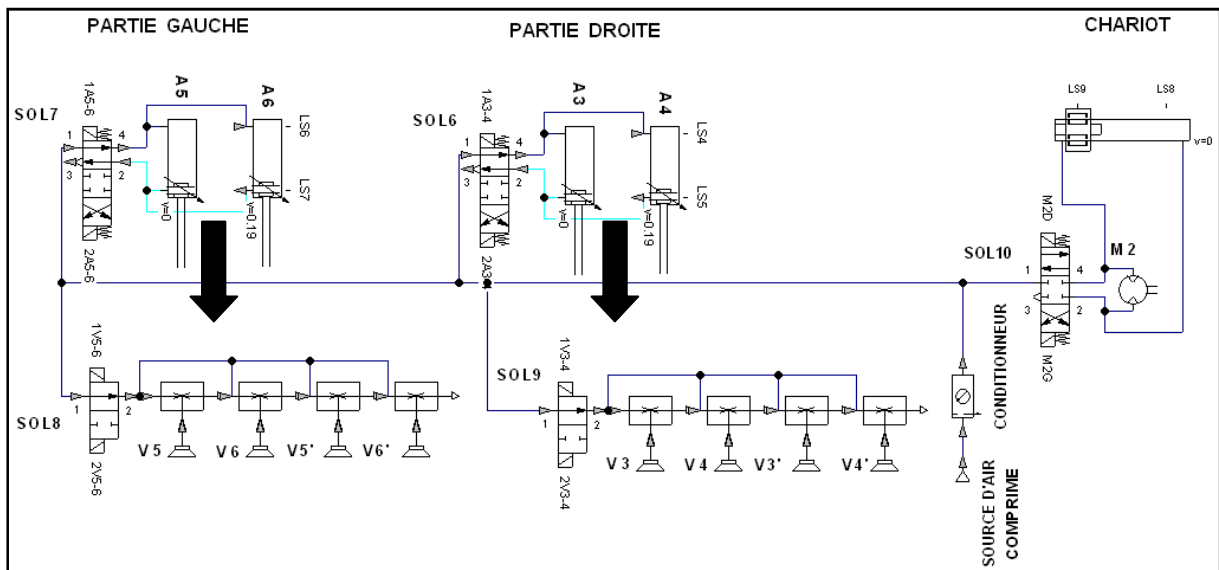


Figure III-46. Sortie des tiges des vérins A3, A4, A5 et A6.

Durant la sortie des tiges des vérins A3, A4, A5 et A6, les capteurs fins de course LS5 et LS7 se ferment. Ce qui amène au démarrage d'une temporisation de deux secondes et au blocage de l'air allant vers les tuyères d'aspiration des ventouses V3, V4, V3', V4', V5, V6, V5' et V6'. Par conséquent, la première cuve est déposée sur la table de la perceuse et la seconde sur le tapis roulant. La figure III-47 illustre cette action.

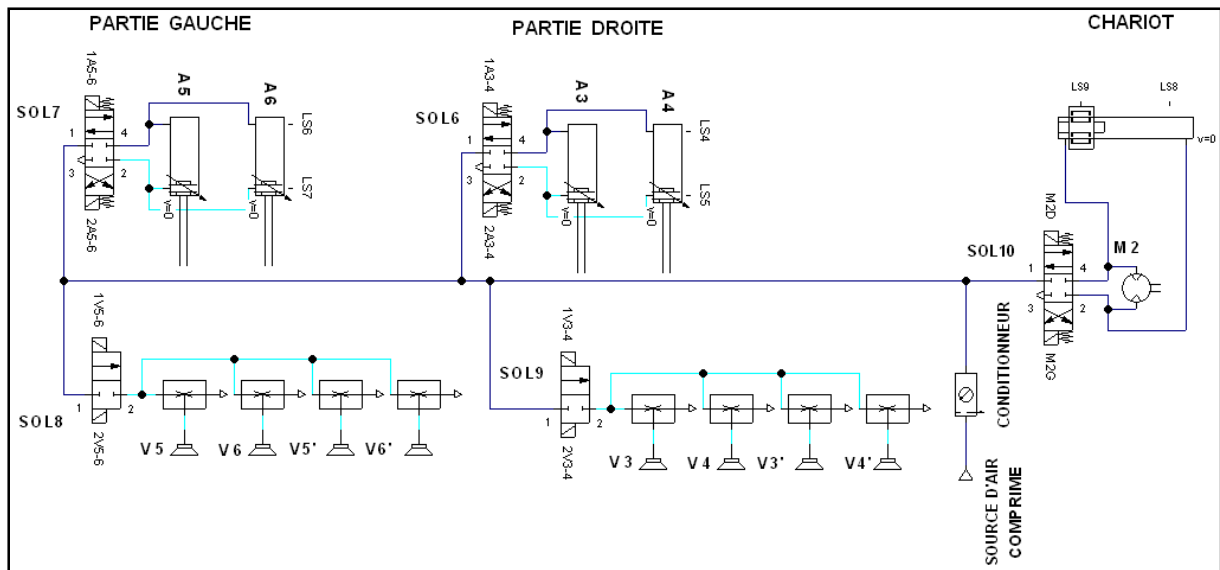


Figure III-47. Dépôts des cuves par les ventouses V3, V4, V5 et V6.

Le temps de la temporisation écoulée, permet à la partie de commande d'autoriser la rentrée des tiges des vérins A3, A4, A5 et A6 (figure III-48).

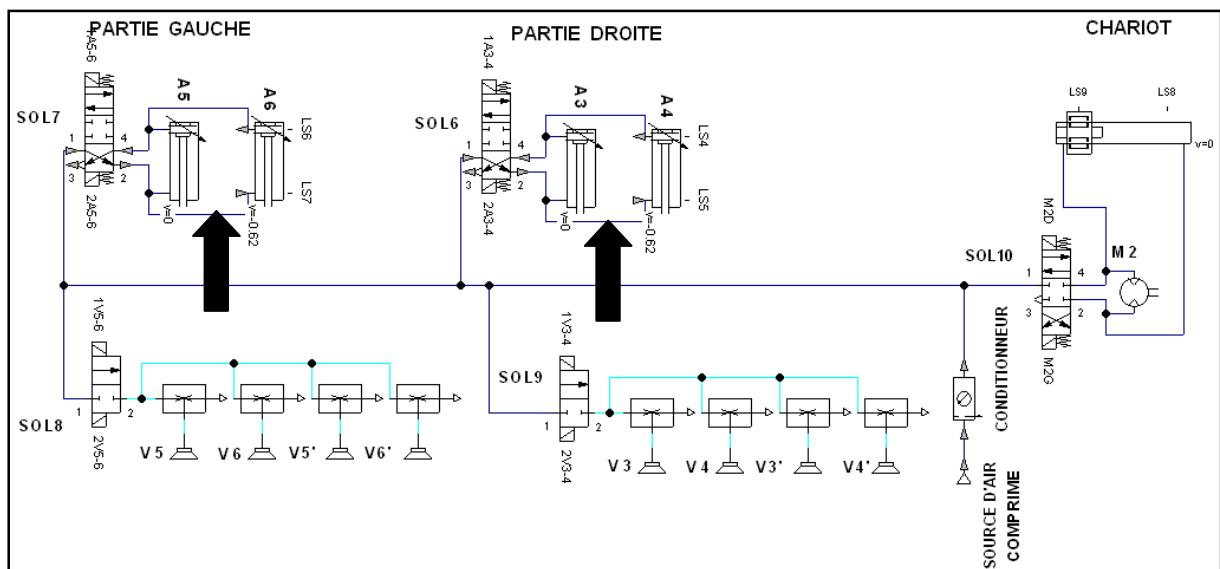


Figure III-48. Rentrée des tiges des vérins A3, A4, A5 et A6.

A ce stade d'avancement les deux cuves sont transférées. Cette information est transmise par les relais R2V3-4 et R2V5-6 vers le module digital MD4. Tenant compte de l'état des capteurs LS4 et LS6, ce dernier ordonne la rotation du moteur hydraulique M2 dans le sens qui fait déplacer le chariot à droite (figure III-49).

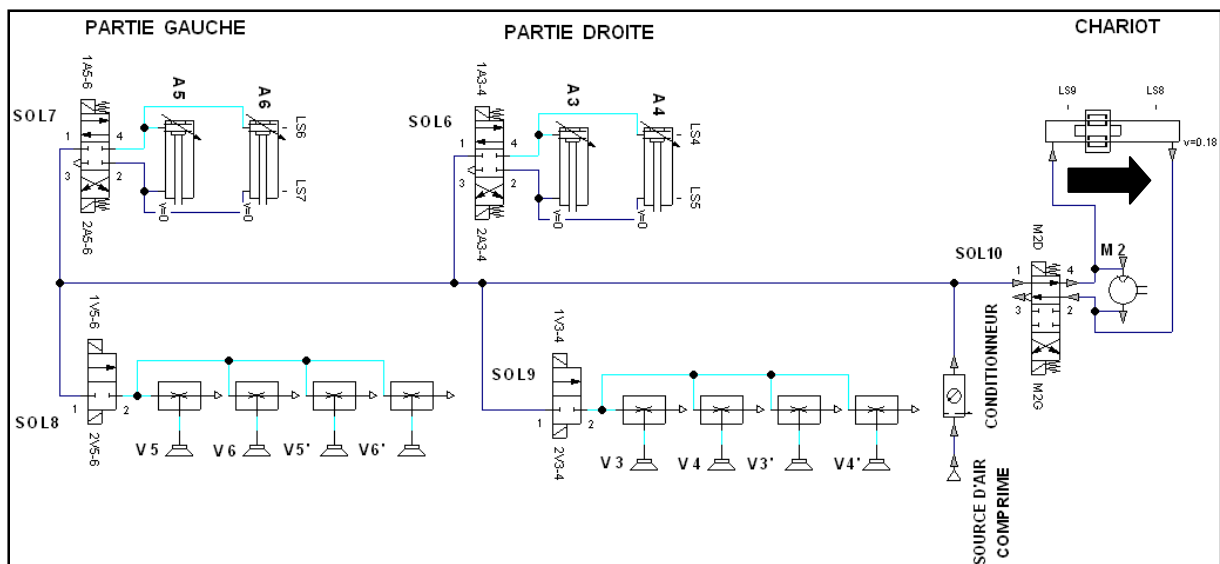


Figure III-49. Déplacement du chariot à droite.

L'arrivée du chariot à l'extrémité droite actionne le capteur de fin course LS8. Ainsi, il indique que le chariot est retourné dans sa position initiale. Ceci permet à la partie de commande d'arrêter le moteur hydraulique M2 (Figure III-50).

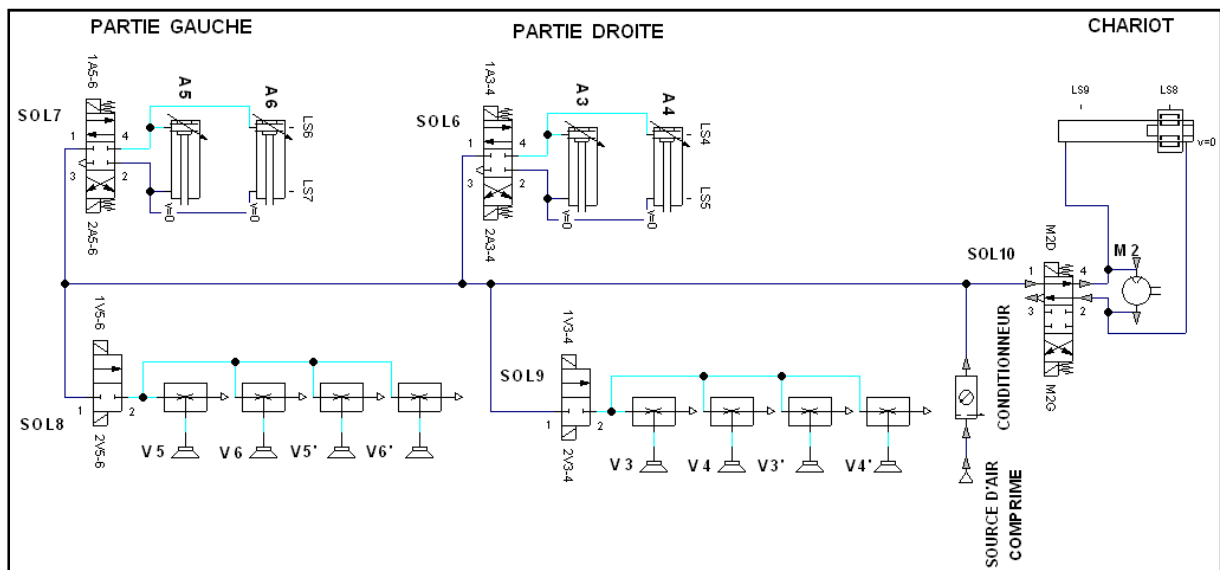


Figure III-50. Retour à la position initial du palonnier n°2.

Dans le cas où, la presse de détournage et/ou la perceuse ont terminé le détournage et/ou le poinçonnage des cuves qui leurs sont transférées, le cycle complet reprend ; sinon, il reprendra dès leurs disponibilités.

4. LA PERCEUSE

A. La partie opérative:

Le vérin A9 (poinçon) est contrôlé par le distributeur 3/2 « SOL11 » PERRPR¹³. Le vérin A10 (fixation et contre-réaction) est contrôlé par le distributeur 4/3 « SOL12 » PERRPC¹⁴. L'alimentation de ces distributeurs est assurée par la source d'air comprimé et le conditionneur.

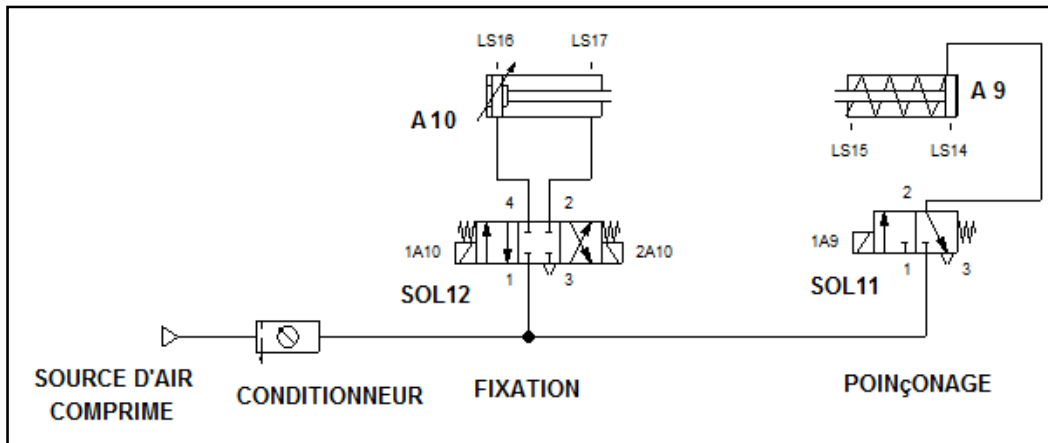


Figure III-51. Partie opérative de la perceuse

B. La partie de commande :

La commande de la perceuse se fait à l'aide d'un module digital alimenté sous 24V. Les capteurs de fin de course LS14, LS15, LS16 et LS17 sont respectivement connectés aux entrées I0, I1, I2 et I3. Le détecteur d'objet OP3 est connecté à l'entrée I4. Les distributeurs SOL11 et SOL12 sont contrôlés par les électrovannes 1A9, 1A10 et 2A10 via les sorties Q1, Q0 et Q2.

¹³ Distributeur à pilotage électropneumatique, avec rappel de ressort à la position de repos

¹⁴ Distributeur à pilotage électropneumatique, avec rappel de ressort à la position centrale

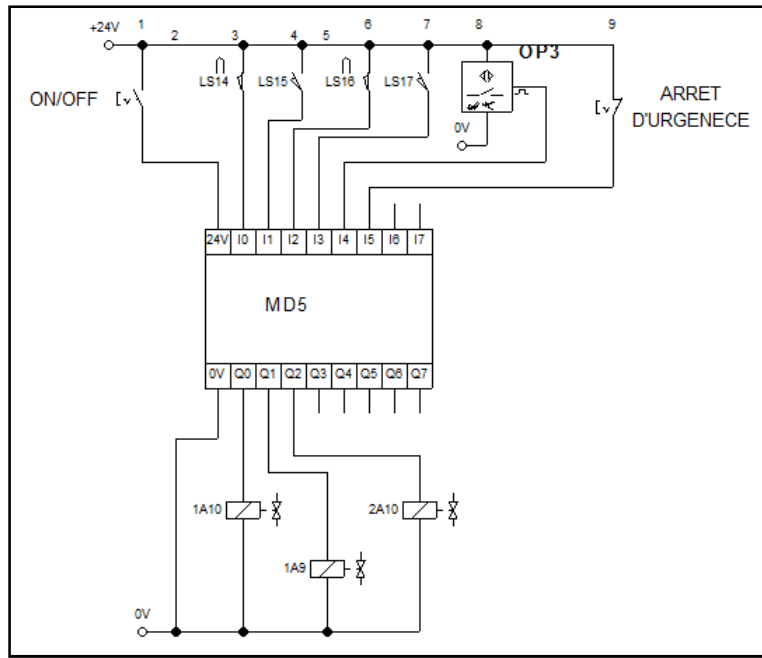


Figure III-52. Partie commande de la perceuse

C. Le diagramme d'état du fonctionnement de la perceuse

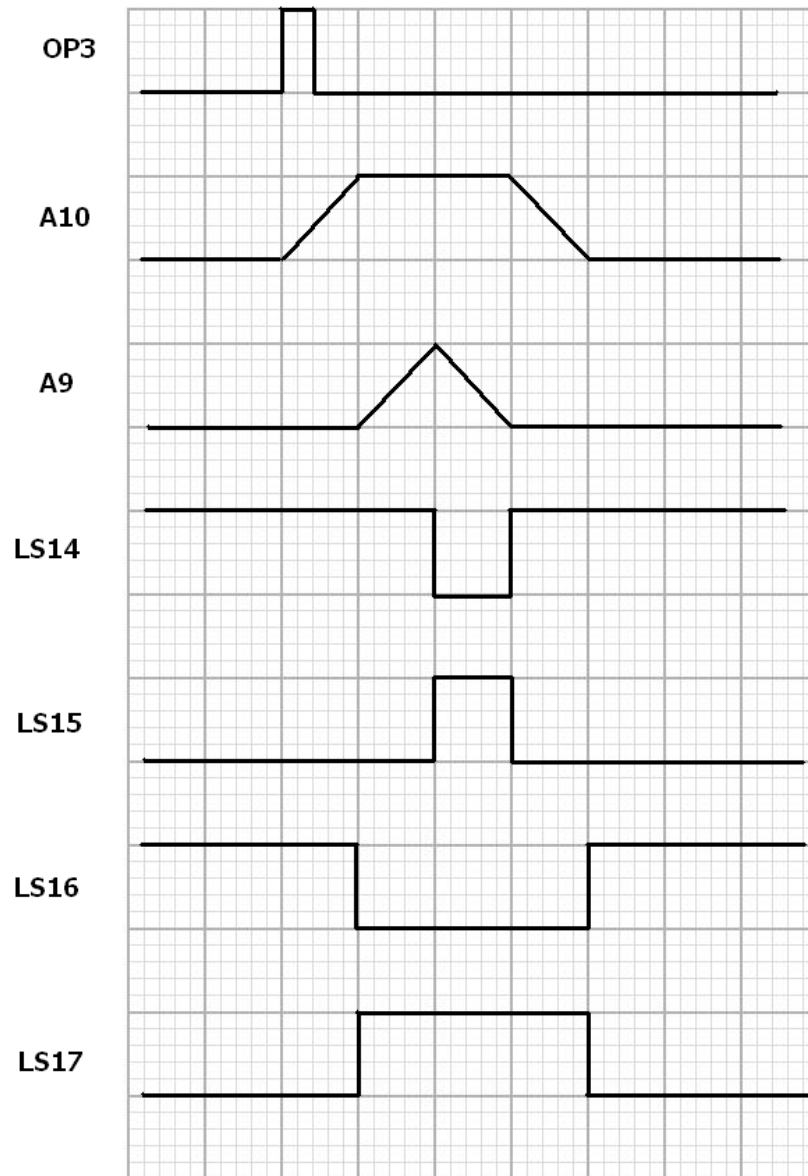


Figure III-53. Diagramme d'état d'éléments de la perceuse

D. Le module digital

Des bascules RS (mémoires) sont utilisées pour chaque entrée. Elles servent essentiellement, pour la sauvegarde des états des contacteurs de fin de course et du détecteur d'objet. Pour ne pas avoir des états contradictoires, la disposition des bascules se fait par paire pour les entrées des I0-I1 et I2-I3.

E. Les équations logiques, régissant ce circuit

- Sortie de tige du vérin A10 :

$$1A10 = Q0 = \overline{A\bar{U}} * LS14 * LS16 * OP3$$

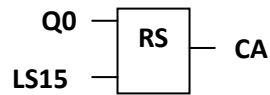
- Sortie de tige du vérin A9 :

$$1A9 = Q1 = \overline{A\bar{U}} * LS14 * LS17 * CA$$

- Rentrée de tige du vérin A7 :

$$2A10 = Q2 = \overline{A\bar{U}} * LS14 * LS17 * \overline{CA}$$

Condition CA



$$CA_{n+1} = Q_0 + \overline{LS15} * CA_n$$

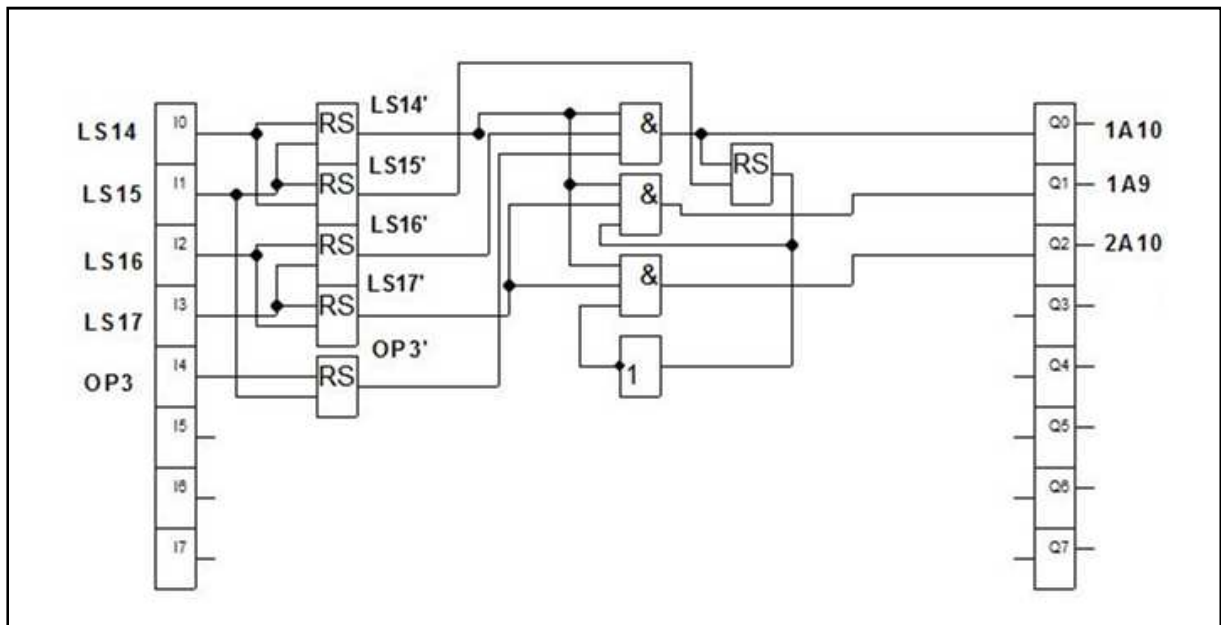


Figure III-54. Circuit logique du module digital MD5

F. La simulation du fonctionnement de la perceuse:

En l'absence de cuve sur la table de poinçonnage, le vérin de fixation et de contre-réaction A10 et le vérin de poinçonnage A9 gardent leurs tiges à l'intérieur (figure III-55).

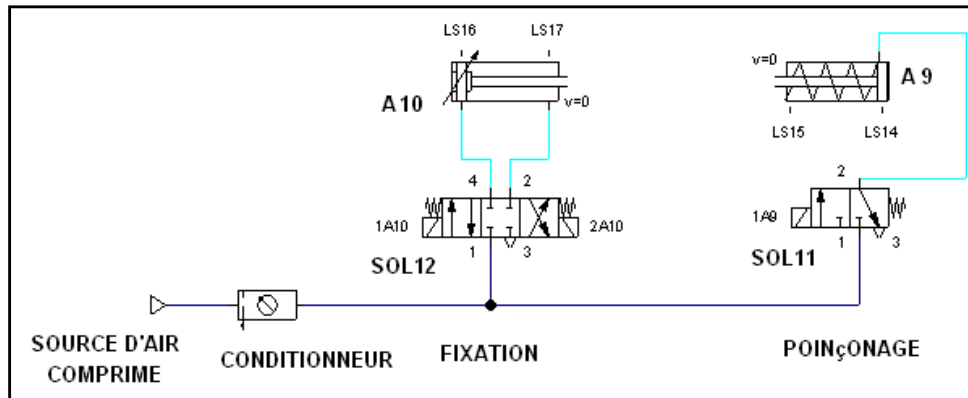


Figure III-55. Attente d'arrivée d'une cuve

Une fois qu'une cuve est déposée par la partie droite du palonnier n°2 sur la table de poinçonnage, un détecteur d'objet la détecte et l'annonce à la partie de commande. Cette dernière, ordonne la sortie de tige du vérin de fixation et contre-réaction A10 (figure III-56).

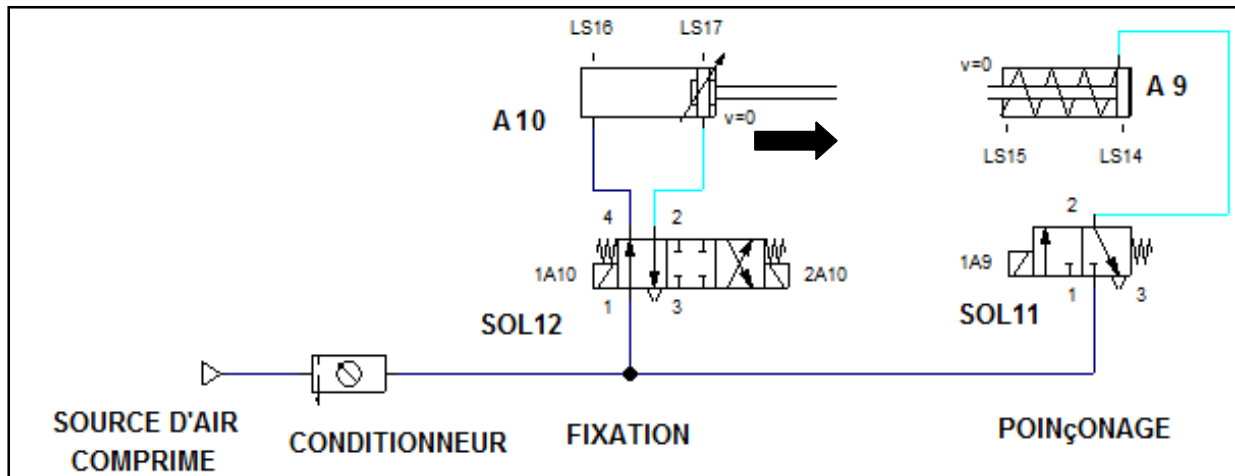


Figure III-56. Sortie de la tige du vérin A10

La fermeture du contacteur de fin de course LS17 est signalée à la partie de commande. Celle-ci ordonne l'arrêt du vérin A10 et la sortie de la tige du vérin de poinçonnage A9 (figure III-57).

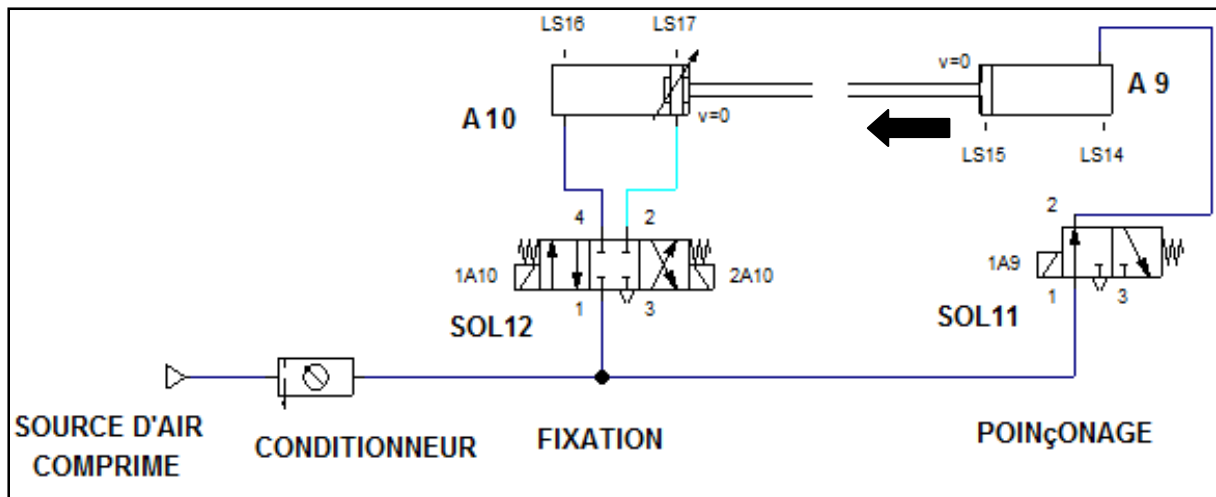


Figure III-57. Sortie de la tige du vérin A9

Le capteur de fin de course LS15 signale la sortie maximale du poinçon. Ce qui permet à la partie de commande d'arrêter la pression exercée sur le piston du vérin A9. Grâce à l'effort exercé par le ressort de rappel, sa tige retourne à l'intérieur (figure III-58).

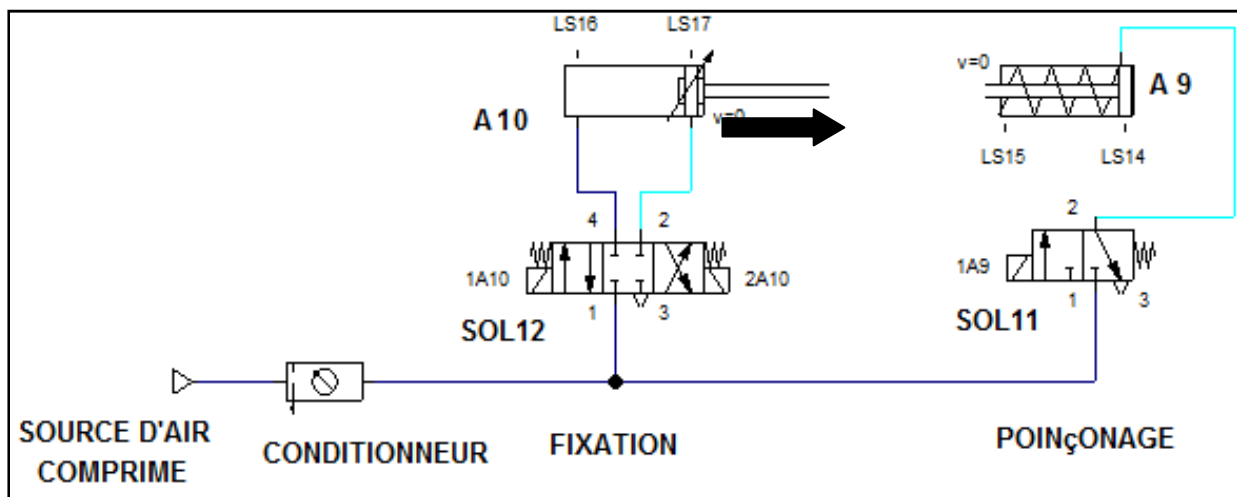


Figure III-58. Rentrée de la tige du vérin A9

La rentrée de tige du vérin A9 actionne le capteur de fin de course LS14. Ce qui permet à la partie de commande, d'ordonner la rentrée de tige du vérin A10 et la libération de la cuve (figure III-59).

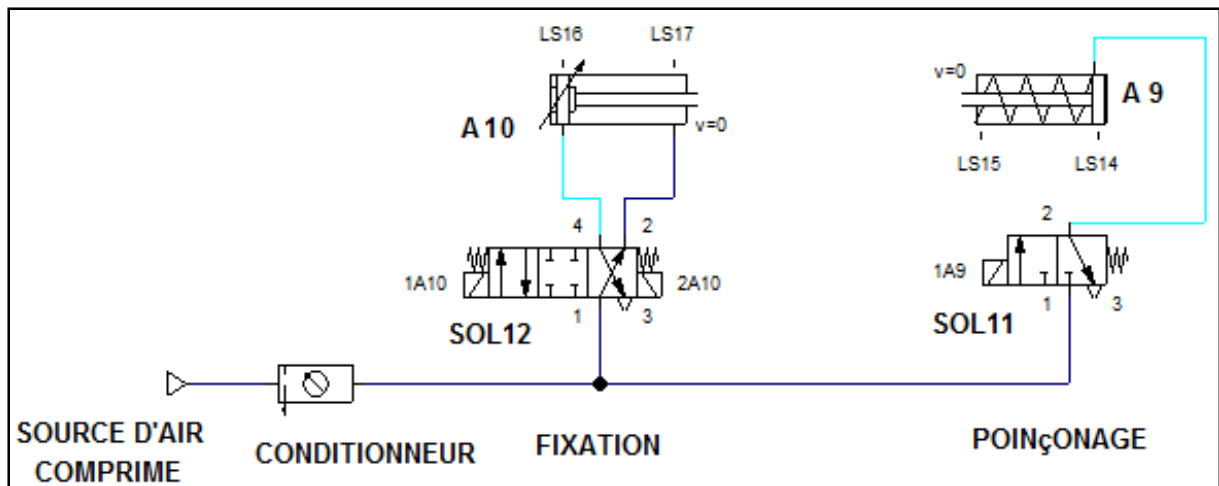


Figure III-59. Rentrée de la tige du vérin A10

L'actionnement du capteur de fin de course LS16 signal à la partie de commande la fin du poinçonnage et la disponibilité de la cuve pour la partie gauche du palonnier n°2.

5. Le tapis roulant

A. La partie opérative

Le moteur hydraulique M3 à sens de rotation unique est commandé par le distributeur 2/2 « SOL14 » PERRPR¹⁵. L'énergie nécessaire pour le fonctionnement de ce tapis est délivrée par la source d'air comprimé et le conditionneur.

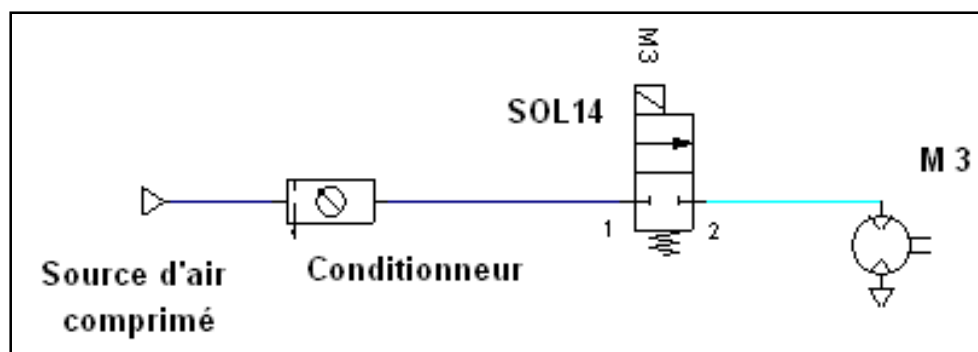


Figure III-60. Partie opérative du tapis roulant

B. La partie de commande

Comme le tapis roulant fonctionne en permanence, ça commande est assuré par un commutateur Marche/Arrêt relié en série avec l'électrovanne qui contrôle le distributeur SOL14 (figure III-61).

¹⁵ Distributeur à pilotage électropneumatique avec rappel de ressort à la position de repos

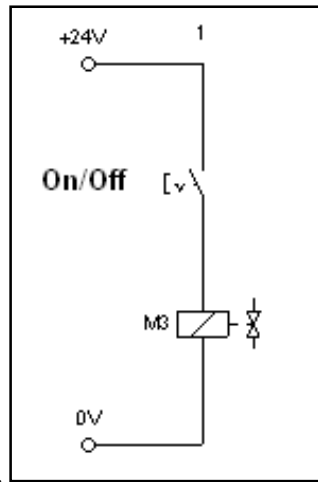


Figure III-61. Commande du tapis roulant.

C. Le diagramme d'état du fonctionnement du tapis roulant :

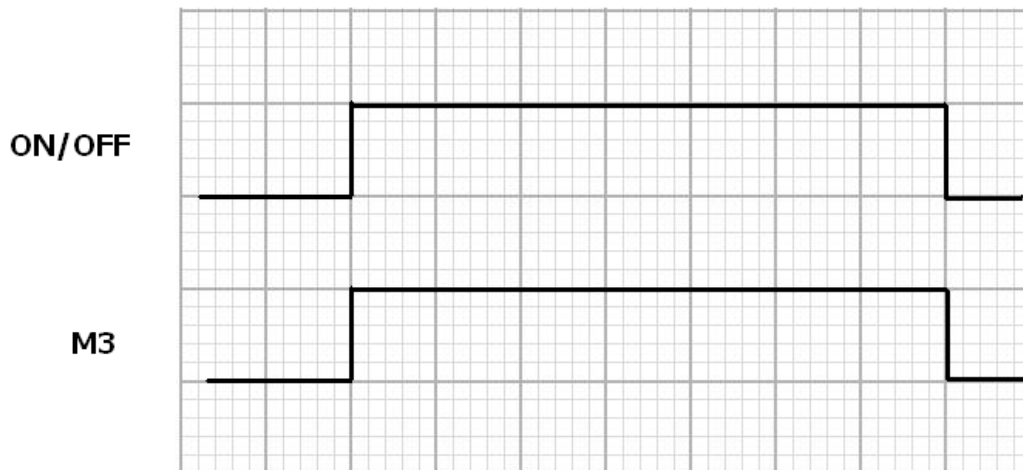


Figure III-62. Diagramme d'état de fonctionnement du tapis roulant

D. La simulation du fonctionnement du tapis roulant

Lorsque le commutateur Marche/Arrêt est ouvert, le distributeur SOL14 reste dans sa position de repos. Il empêche ainsi, le passage d'air vers le moteur. Ce dernier ne tourne pas (figure III-63).

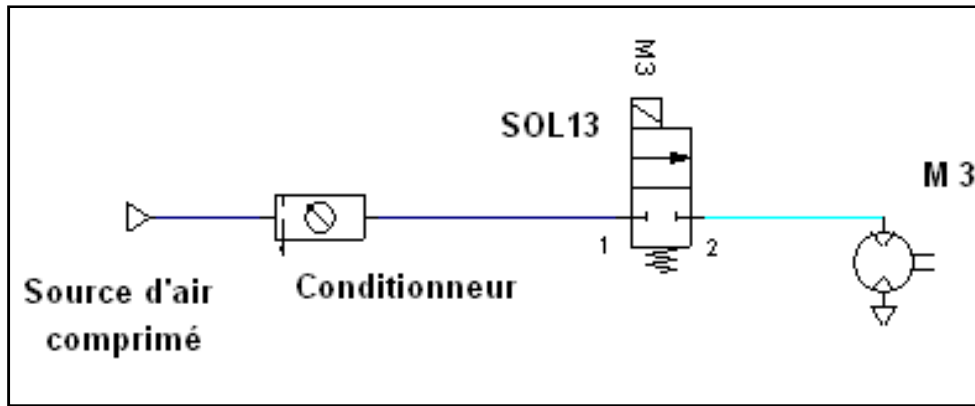


Figure III-63. Le tapis roulant en arrêt

Lorsque le commutateur Marche/Arrêt est fermé, le distributeur SOL14 devient passant. Alors, il permet le passage d'air vers le moteur M3. Ce dernier se met à tourner (figure III-64).

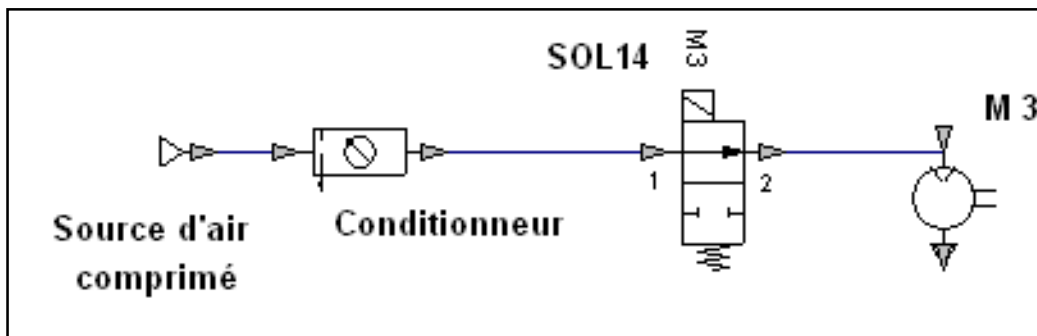


Figure III-64. Le tapis roulant en marche

III. Conclusion

La simulation du fonctionnement de la chaîne à l'aide de FluidSim-P 3.6, nous a permis de reconstituer le fonctionnement global de cette dernière. Ce que nous retenons de ce travail est le déroulement des différentes séquences dans le but de réaliser au chapitre suivant, une modélisation de cette chaîne à l'aide du Grafset.

I. Introduction

A l'heure de la mondialisation et de libre circulation des marchandises, toute entreprise se retrouve confrontée à de nouveaux défis financiers, commerciaux et techniques. Afin de rester compétitive, chaque entreprise, en particulier l'ENIEM doit satisfaire ces critères. Sur le plan technique, l'ENIEM doit augmenter son rendement et sa rentabilité en réduisant les coûts et les temps de production et de maintenance, sans négliger le paramètre qualité.

Dans cette optique, une automatisation de l'usine est nécessaire et le choix d'une solution programmée s'impose.

Au cours de ce chapitre, nous allons essayer de modéliser la chaîne de détourage et de poinçonnage des cuves intérieures des réfrigérateurs à l'aide du Grafcet, pour une éventuelle solution programmée.

II. Introduction au Grafcet

Il existe depuis fort longtemps des outils de représentation graphiques pour la partie opérative, tel le dessin industriel, dont la représentation normalisée est soumise à des règles précises évitant toute interprétation erronée.

Il manquait un outil équivalent pour définir les parties commande : c'est le rôle qui est imparti au Grafcet (GRAphe Fonctionnel de Commande Etapes-Transitions).

En effet, les différents travaux effectués ces dernières années dans le domaine des automatismes industriels ont conduit à une représentation graphique des spécifications fonctionnelles d'un cahier des charges, dont la formulation est indépendante de toute technologie de réalisation, que celle-ci soit câblée ou programmée.

Cette nouvelle représentation (Grafcet), est fondée sur les notions d'étapes, de transitions et de réceptivités qui simplifient la synthèse d'un automate en tenant compte du fait que, parmi le grand nombre d'informations présentes à un instant donné, peu sont significatives. Le Grafcet permet de visualiser de façon particulièrement claire toutes les évolutions du système.

Cette méthode de description descendante, particulièrement concise, rend la communication homme-machine très efficace, permettant entre autres, à l'opérateur de déceler et de remédier, le cas échéant, à une anomalie de fonctionnement.

III. Niveau du GRAFCET¹⁶

1. Grafcet du premier niveau

Il décrit le comportement de la partie commande vis-à-vis de la partie opérative, c'est le rôle des spécifications fonctionnelles permettant au concepteur de comprendre ce que l'automatisme doit faire face aux différentes situations pouvant se présenter. A ce niveau, on définit uniquement les fonctions, les informations et les commandes impliquées dans l'automatisation de la partie opérative du système automatisé.

2. Grafcet du deuxième niveau

Il ajoute aux exigences fonctionnelles, les précisions indispensables aux conditions de fonctionnement du matériel, grâce aux spécifications technologiques et opérationnelles en tenant compte de :

- L'aspect fonctionnel du cahier des charges
- La technologie de la partie de commande et de la partie opérative
- La nature des capteurs utilisés ainsi que le mode de traitement de l'information

IV. Mise en équations du Grafcet¹⁷

Dans un Grafcet, chaque étape porte son propre numéro. Lorsqu'on désigne une étape, on fait précéder ce numéro de la lettre X majuscule. La figure III.14 montre un exemple de Grafcet.

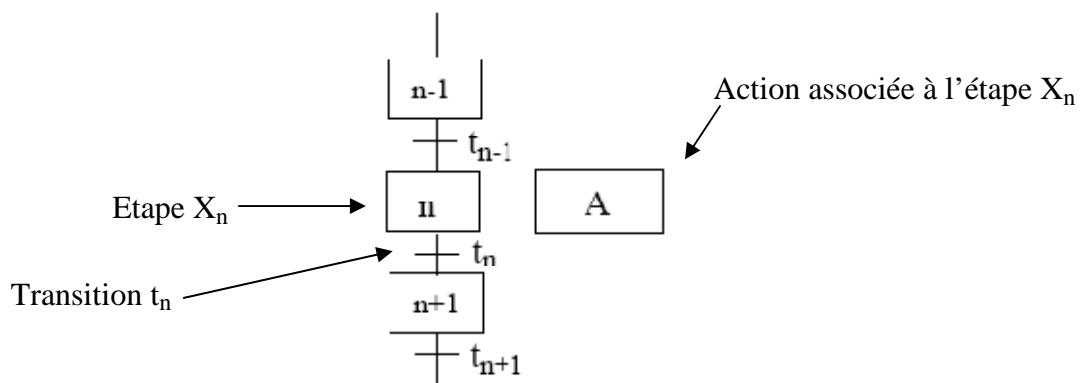


Figure III.14 Exemple de Grafcet.

¹⁶ Bossy, P. Brard, P. Faugere et C. Merlaud. « Le GRAFCET ».Edition EDUCALIVRE. PARIS 1979.

¹⁷ D. Dupont et D. Dubois. « S8032-Réalisation technologique du GRAFCET » Techniques de l'ingénieur

L'état d'une étape X_n peut être noté comme suit :

$X_n = 1$ si l'étape n est active

$X_n = 0$ si l'étape n est inactive

Ainsi, une réceptivité est notée t_n , telle que :

$t_n = 1$ si la réceptivité est vraie.

$t_n = 0$ si la réceptivité est fausse.

- Condition d'activation d'une étape (CAX_n) :

$$CAX_n = X_{n-1} * t_{n-1}$$

- Condition désactivation d'une étape (CDX_n) :

$$CDX_n = X_{n+1}$$

- L'action associée à une étape (A) :

$$A : X_n$$

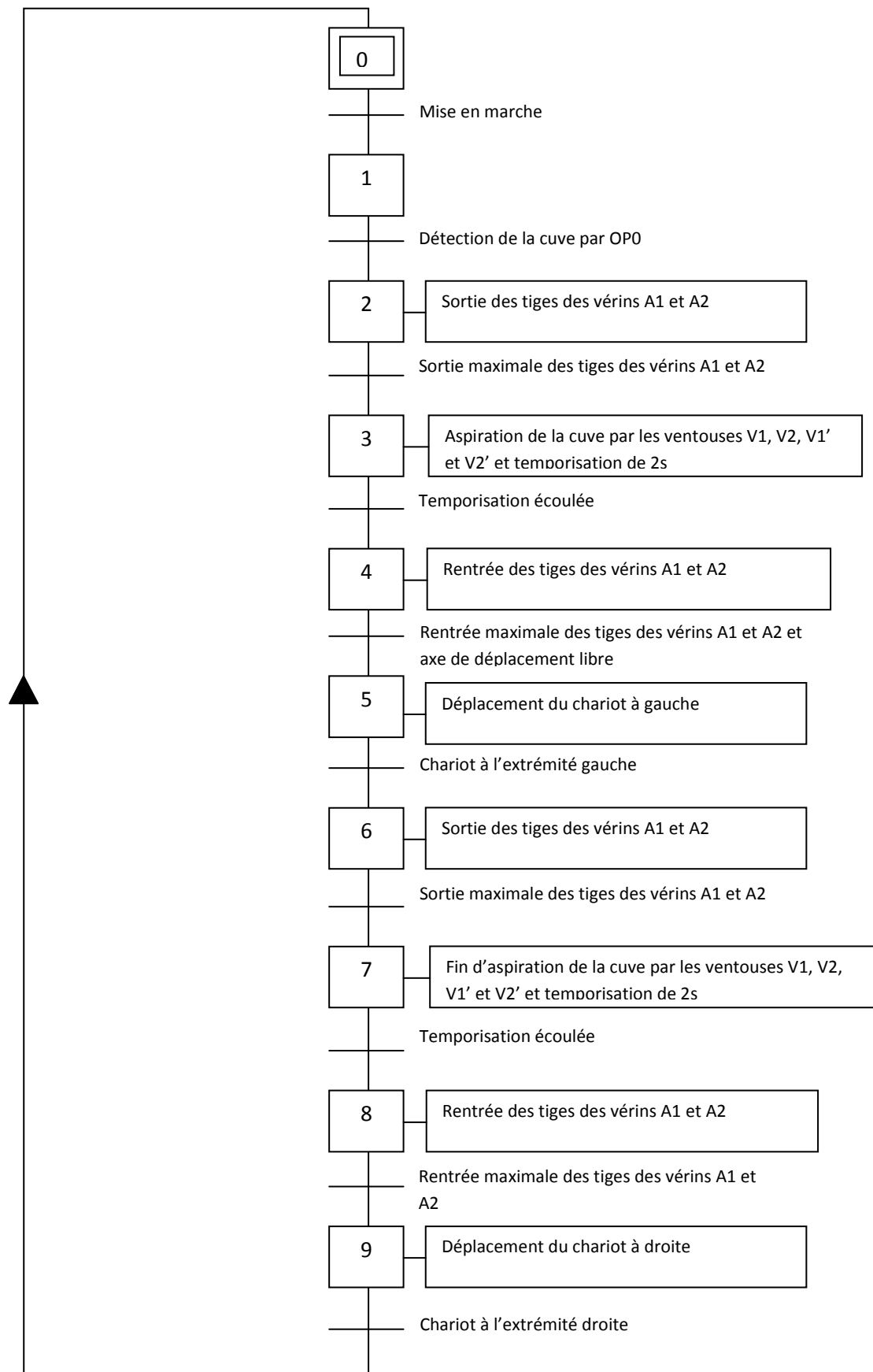
- L'équation logique d'une étape:

$$X_n = CAX_n + X_n * \overline{CDX_n}$$

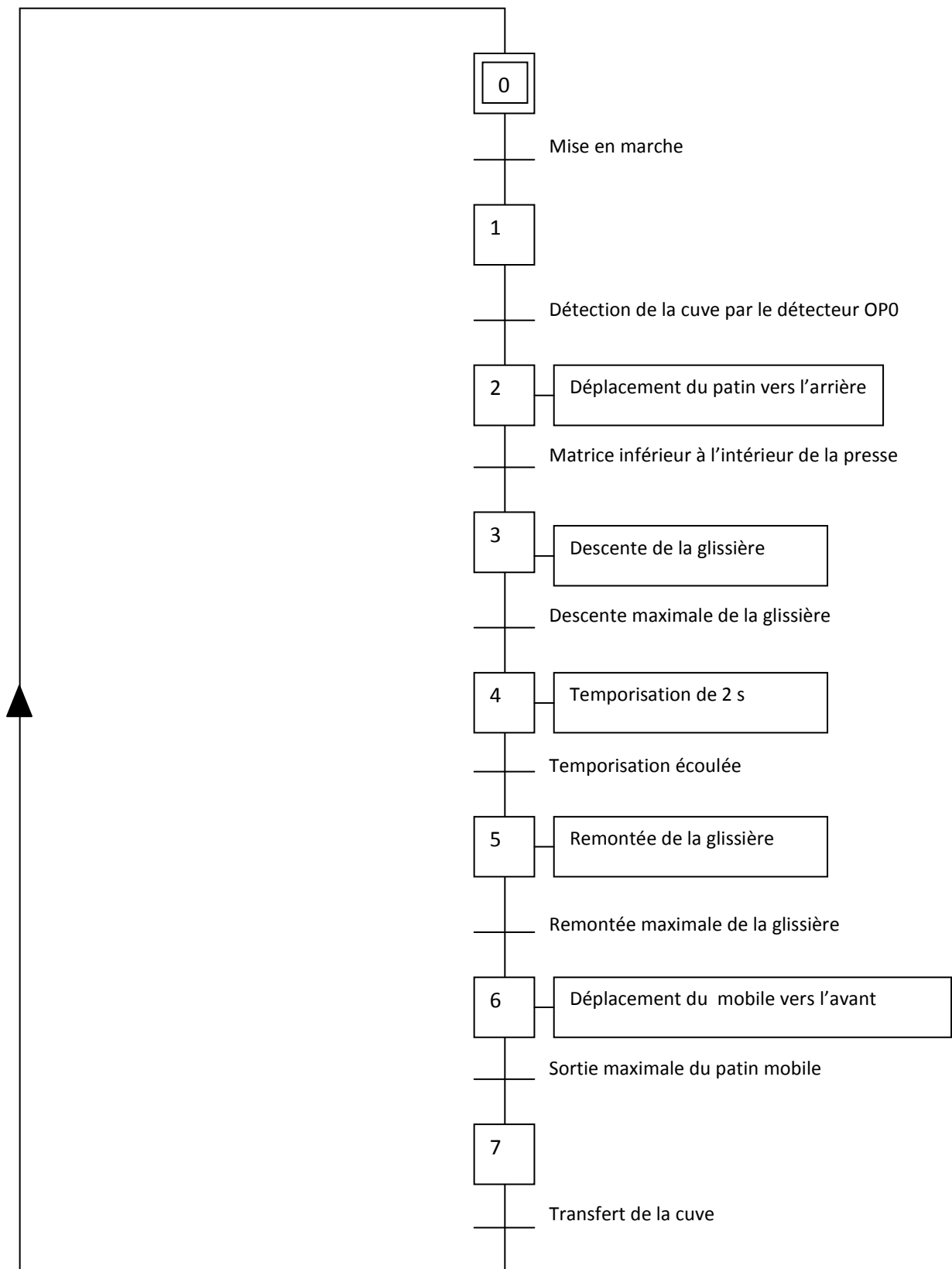
V. Modélisation de la chaîne à l'aide du Grafcet

Du fait de la quasi-indépendance des postes de la chaîne de détournage et de poinçonnage des cuves intérieures des réfrigérateurs de l'ENIEM cité au chapitre III à la section II, la modélisation de chaque poste de cette chaîne à l'aide du Grafcet se fera seule.

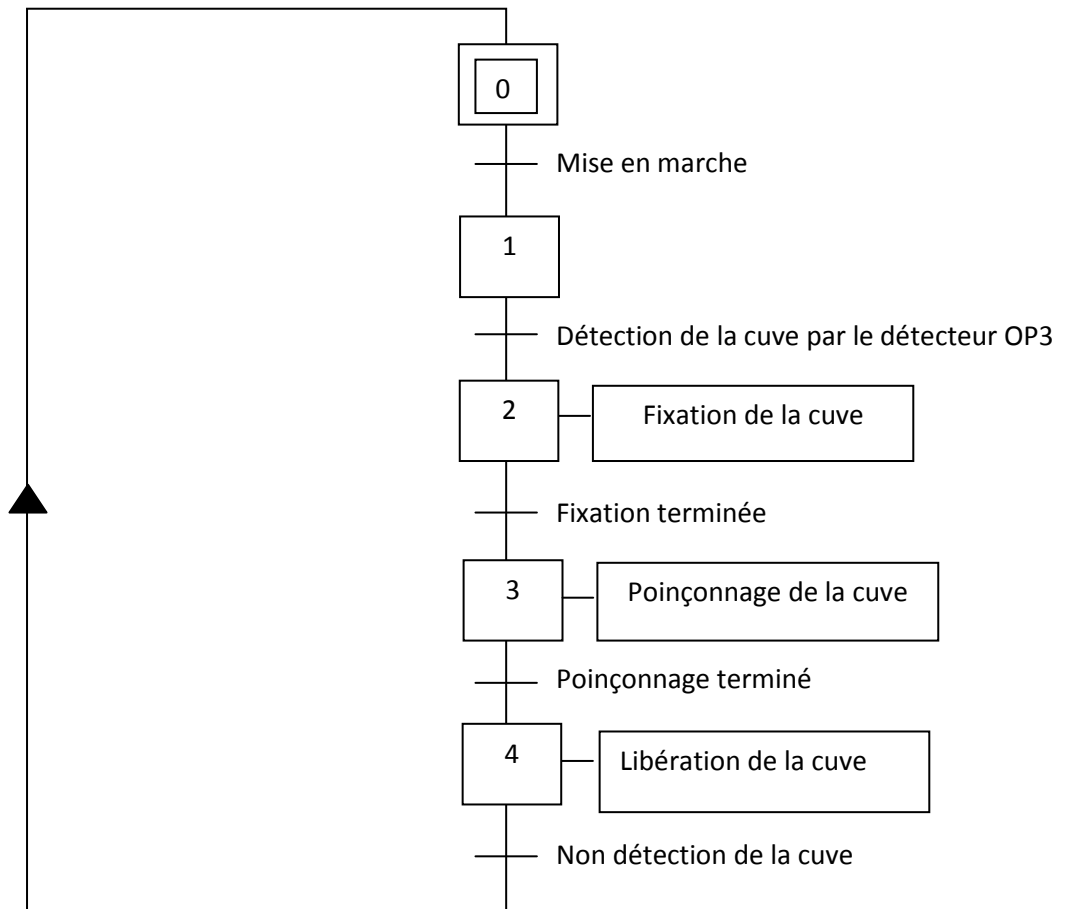
1. Grafset de niveau 1 du premier palonnier



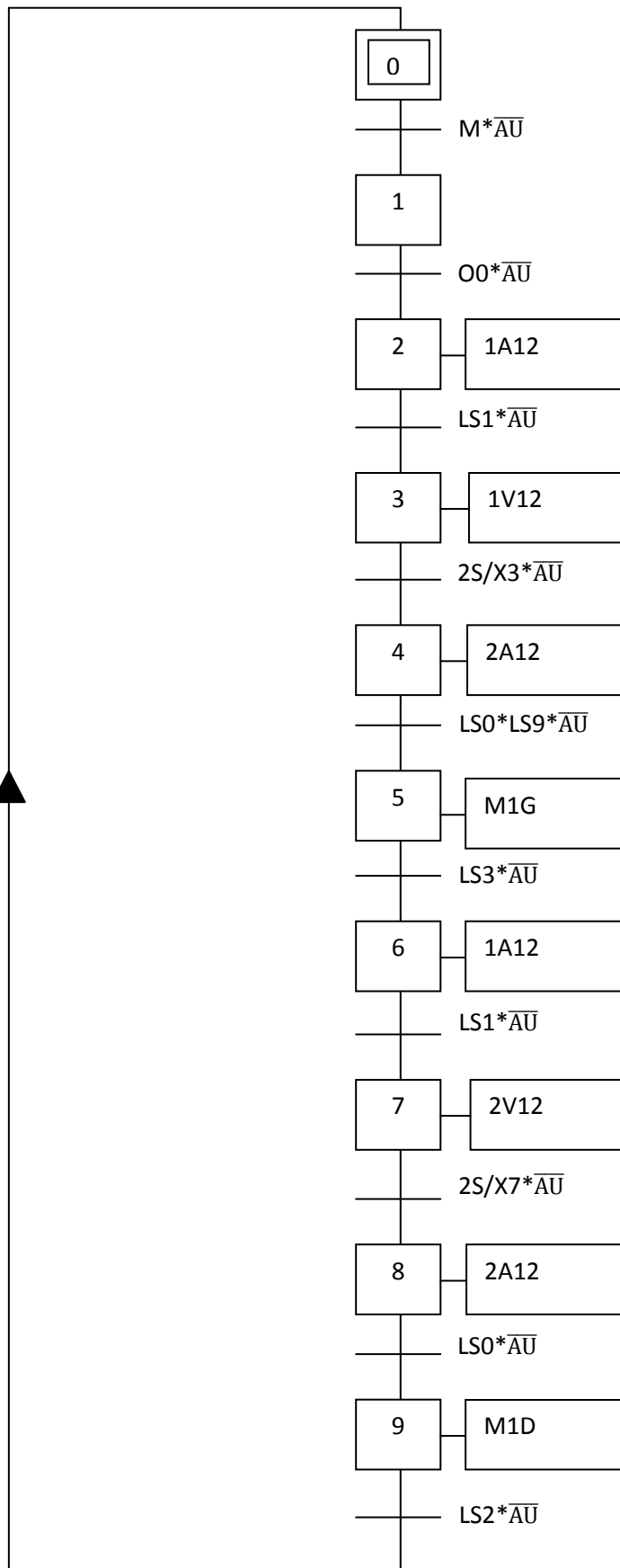
2. Grafcet de niveau 1 de la presse de détourage



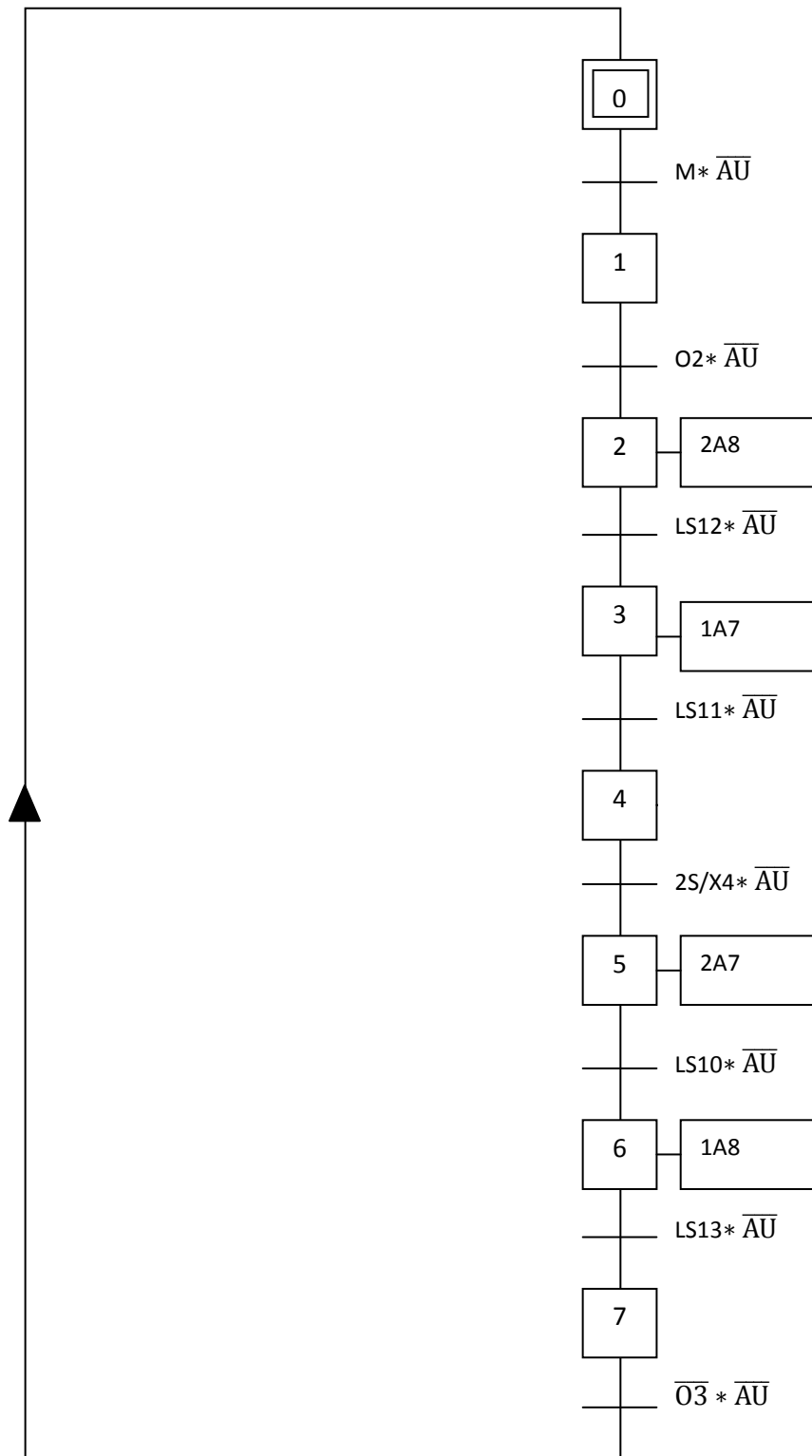
3. Grafcet de niveau 1 de la perceuse



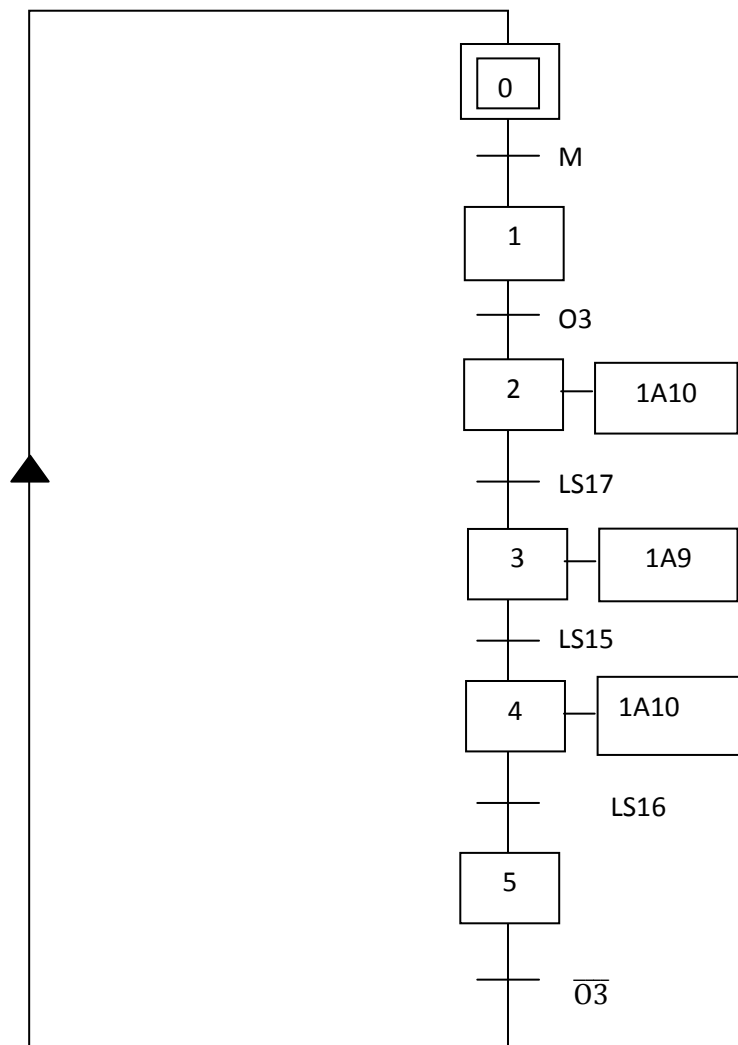
4. Grafcet de niveau 2 du premier palonnier



5. Graficet de niveau 2 de la presse de détourage



6. Grafcet de niveau 2 de la perceuse



V. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons modélisé la chaîne de détournage et de poinçonnage des cuves intérieures des réfrigérateurs de l'ENIEM à l'aide du Grafcet. Au terme de ce chapitre nous concluons que le Grafcet est un puissant outil de modélisation, qui permet facilement le passage d'un cahier des charges fonctionnel à un langage d'implantation.

Conclusion générale

Notre projet de fin d'étude a été effectué en grande partie avec le logiciel de simulation FluidSIM-P 3.6, dans le but de reconstituer le fonctionnement de la chaîne de détournage et de poinçonnage des cuves intérieures des réfrigérateurs de l'ENIEM et sa modélisation à l'aide du Grafcet.

A l'issue de notre travail, nous pouvons conclure que les solutions technologiques mises en place, au niveau de l'unité froid de l'ENIEM sont limitées vis-à-vis des exigences de compétitivité imposées par la mondialisation.

Après l'étude fonctionnelle de la chaîne de détournage et de poinçonnage de cuves intérieures des réfrigérateurs de l'ENIEM, nous constatons que la transition vers une solution programmée est nécessaire.


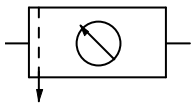
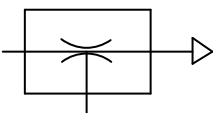
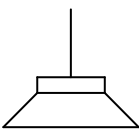
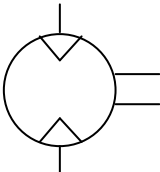


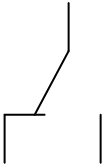
Pour donner suite à notre travail nous proposons la réalisation d'une solution à base d'un automate programmable industriel récent. A titre d'exemple, nous suggérons l'utilisation de l'API S7-300 de Siemens par rapport à :

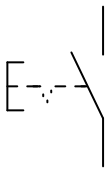

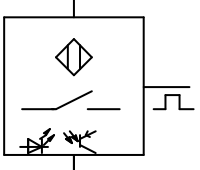
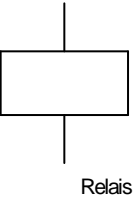

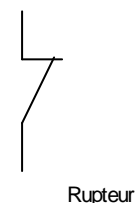
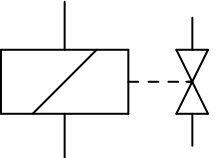
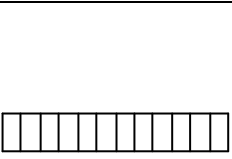
- La capacité de traitement de son processeur (vitesse de transmission des données)
- Sa fiabilité et sa robustesse
- Son grand nombre d'entrées / sorties
- La diversité des nature des entrées / sorties (numériques, analogiques)
- La possibilité de sa programmation à l'aide du Grafcet
- Sa possibilité de communiquer avec d'autres systèmes
- Ses modules spéciaux ; certains modules constituent une aide pour le processeur en calcul dans le but de sécuriser le traitement.
- La capacité de diagnostic et celle de modification en ligne facilitent la mise en point et la maintenance

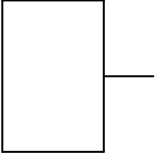
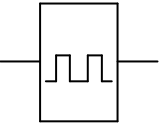
Ce projet nous est bénéfique à plus d'un titre compte tenu des nombreux avantages qu'il présente. Le rapprochement avec le monde industriel, l'approche pratique et la mise en application des notions théoriques acquises lors de notre cursus d'ingénieur.

ANNEXE

Les composants de FluidSim-P 3.6

Composant	Symbole	Description
Source d'air comprimé		La source d'air comprimé fournit l'air comprimé nécessaire. Un régulateur de pression intégré permet de régler la pression de service voulue.
Conditionneur, représentation simplifiée		Le conditionneur se compose d'un filtre à air comprimé avec un séparateur d'eau et d'un régulateur de pression.
Tuyère d'aspiration		Avec la tuyère d'aspiration, un vide est produit avec l'air comprimé circulant de 1 vers 3, suivant le principe de l'éjecteur. La ventouse peut être raccordée au raccord 1v. Lorsque l'arrivée d'air comprimé est coupée en 1, l'aspiration s'arrête.
Ventouse		La ventouse associée à la tuyère d'aspiration peut aspirer des objets.
Moteur pneumatique		Le moteur pneumatique transforme une énergie pneumatique en une énergie mécanique.
Rupteur		Rupteur général qui se spécialise en fonction du composant qui l'actionne. Si le rupteur est par ex. relié à un relais à déclenchement temporisé par l'intermédiaire d'une marque, le rupteur devient dans le circuit un rupteur à déclenchement temporisé.
Contacteur		Contacteur général qui se spécialise en fonction du composant qui l'actionne. Si le contacteur est par ex. relié à un relais à actionnement temporisé par l'intermédiaire d'une marque, le contacteur devient dans le circuit un contacteur à actionnement temporisé.
Inverseur		Inverseur général qui se spécialise en fonction du composant qui l'actionne. Si l'inverseur est par ex. relié à un relais à actionnement temporisé par l'intermédiaire d'une marque, l'inverseur devient dans le circuit un inverseur à

		actionnement temporisé.
Commutateur (contacteur)		Commutateur qui se ferme et se verrouille lors de l'actionnement.
Commutateur (rupteur)		Commutateur qui s'ouvre et se verrouille lors de l'actionnement.
Détecteur de proximité, optique		Le détecteur se ferme lors d'une interruption de sa barrière photoélectrique
Relais	 <p>Relais</p>  <p>Contacteur</p>  <p>Rupteur</p>	<p>Grâce à un relais plusieurs commutateurs peuvent être commutés en même temps. Pour cela il est naturellement nécessaire d'accoupler le relais avec les commutateurs lui appartenant. C'est pourquoi dans FluidSIM les relais possèdent aussi des marques, avec lesquelles l'appartenance au commutateur peut être définie de manière usuelle. Si un double clic est exécuté sur un relais, la boîte de dialogue pour le nom des marques apparaît.</p> <p>L'illustration suivante montre un plan schématique électrique, dans lequel le relais commute en même temps deux ouvertures et deux fermetures</p>
Aimant de la soupape		L'aimant actionne la soupape, dans FluidSIM, l'aimant de la soupape est couplé à la soupape à commande électromagnétique correspondante à l'aide d'une marque.
Echelle		L'échelle est un composant auxiliaire pour la mise en place de commutateurs sur des vérins. Les marques qui figurent sur l'échelle établissent le rapport avec le détecteur de proximité ou l'interrupteur-limiteur proprement dit dans le circuit électrique

<p>Niveau LO fixe</p>	 <p>LO</p>	<p>La sortie Q est constamment à l'état "Lo".</p>
<p>Multivibrateur symétrique</p>		<p>Emet en sortie un signal d'horloge à périodicité paramétrable.</p> <p>En définissant la durée de l'impulsion vous définissez la durée d'activation ou de désactivation. L'entrée En (pour Enable = activer) permet d'activer le multivibrateur, c.-à-d. que ce dernier met la sortie à l'état "Hi" pendant un temps égal à la durée de l'impulsion puis il met la sortie à l'état "Lo" pendant un temps égal à la durée de l'impulsion et ainsi de suite jusqu'à ce que l'entrée repasse à l'état "Lo".</p>

Références bibliographiques

[01] : Documentations ENIEM.

[02] : www.jaksa.si

[03], [04], [08], [09] et [10] : www.guidedesautomatismes.com

[05] : MECA2755, Cours de pneumatique, Université Catholique de Louvain

[06] : Aide de FluidSim-P 3.6

[07] : <http://philippe.berger2.free.fr>

[10] : Bossy.P, Brard, P. Faugere et C.Merlaud. « LE GRAFCET » Edition EDUCALIVRE -Paris 1979.

[11] : D. Dupont et D. Dubois. « S8032-Réalisation technologique du GRAFCET » Techniques de l'ingénieur

Autres

J. C. Bossy , D.Merat. « Automatisation appliquée » Collection A. CAPLIEZ, Edition CASTEILLA-Paris 1985.

Georges Asch et Collaborateurs, Les capteurs en instrumentation industrielle, 5eme édition, édition DUNOD 1999.

R.David – H.Alla, Du Grafcet aux réseaux de Pétri, 2ème édition, édition HERMES 1997.

S. Beladel et N. Khicho : « Automatisation de pressage et des cuves intérieures des réfrigérateurs à l'ENIEM par l'automate programmable S7-300 ». Projet de fin d'études d'ingénieur. Département Automatique. FGEL. UMMTO 2008.

F. Hamiche et L. Mobarek : «Automatisation d'une machine de fabrication des contres portes de réfrigérateurs à l'ENIEM ». Projet de fin d'études d'ingénieur. Département Automatique. FGEL. UMMTO. Année 2004.