

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mouloud MAMMERI Tizi-Ouzou



Faculté de Génie Electrique et d'Informatique
Département d'Automatique

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du Diplôme

D'INGENIEUR D'ETAT EN AUTOMATIQUE

Thème

**Etude et automatisatation d'une
chaîne de thermoformage par
implantation d'un API**

Proposé par :
Mr. AMMOUR Ramdane
SNC general maintenance

Présenté par :
Mr. FAYED Tacfarinas
Mr. MOKRANI Rabah

Dirigé par :
Mr. A.BENFDILA

Soutenu le : 15/07/2009

Promotion 2009

Remerciement

Nous remercions monsieur A.BENFDILA, de nous avoir encadrés et d'avoir dirigé ce travail ainsi que pour sa disponibilité.

Nous exprimons nos profondes gratitude à monsieur R.AMMOUR, de nous avoir proposé ce sujet au sein de SNC GM et nous tenons à le remercier sincèrement pour ses conseils précieux et sa patience.

Nous remercions toute l'équipe SNC GM, Monsieur HADDAH, Monsieur AKLI, Monsieur MEKFEL et Monsieur TEMER, aussi nous remercions Monsieur CHALAL et Monsieur MESSAOUDI pour leurs disponibilités et tous les moyens qu'ils ont mis à notre disposition.

Nous tenons à remercier vivement les membres de jury qui nous feront honneur de juger notre travail.

Enfin Nos remerciements s'adressent également à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'aboutissement de ce mémoire et en particulier Mlle ALIK.

Sommaire

Introduction générale	01
Chapitre I : Etude et description générale de la chaîne de thermoformage	
Introduction.....	03
I.1 Généralités sur le thermoformage	04
I.2 Description générale de la chaîne de thermoformage	07
I.3 Equipements et organes de commande de la chaîne de thermoformage	17
Conclusion.....	28
Chapitre II : Amélioration du fonctionnement de la thermoformeuse	
Introduction.....	29
II.1 Position de problèmes	29
II.2 Démarche et solutions apportées	30
Conclusion.....	37
Chapitre III : Modélisation de la chaîne de thermoformage par le GRAFCET	
Introduction.....	38
III.1 Définition et éléments de base de langage GRAFCET	38
III.2 Grafcet niveau 1	39
III.3 Grafcet niveau 2	42
III.4 Grafcet sécurité	45
Conclusion.....	46
Chapitre IV : Automatisation et supervision de la chaîne de thermoformage	
Introduction.....	47
IV.1 Place d'un API dans un système automatisé de production	47
IV.2 Architecture d'un API	48
IV.3 Cycle du fonctionnement de l'unité centrale d'un API	51
IV.4 Choix du l'API	52
IV.5 Présentation de l'automate S7-300	52
IV.6 Logiciel de programmation STEP 7	54

IV.7 Programmation du cycle de fonctionnement.....	56
IV.8 Simulation d'un exemple par PLC-SIM.....	59
IV.9 Supervision à l'aide du SIMATIC Protool	60
Conclusion.....	65
Conclusion générale	66
Bibliographie	
Annexe	
Schéma électrique	
Programme	

Introduction générale :

Le thermoformage est l'un des grands procédés de transformation de la matière plastique qui se trouve dans la quasi-totalité des secteurs industriels tels que l'emballage, électroménager, sanitaire, automobile....etc. La matière plastique à remplacer le papier, le verre et le métal dans certaines applications traditionnelles vue ses particularités liées à la facilité de transformation, légèreté et résistance à la corrosion.

Bien que les premières matières plastiques aient été fabriquées il y a plus d'un siècle, le véritable avènement des polymères d'origine pétrochimique remonte aux années 1930, et a été suivi d'une série d'innovations rapides pendant la seconde guerre mondiale et l'après-guerre. En 1960, toutes les principales résines commerciales et un grand nombre des résines industrielles avaient été mises au point, et l'infrastructure industrielle était suffisamment développée pour permettre à l'industrie des produits commerciaux en matière plastique d'entrer dans sa phase de forte croissance.

Le développement industriel et la concurrence sur le marché ont incité les entreprises à s'approprier des moyens plus performants et plus fiable permettant de développer de nouveaux systèmes de commandes (API) ayant pour but d'améliorer la productivité, la qualité et les conditions de travail. L'avènement de l'automatisation s'est généralisé à l'ensemble des activités de production, tant dans l'industrie que dans les activités de service. Quelque soit son domaine d'application et les techniques auxquelles elle fait appel.

L'objectif de notre travail est de :

- ✓ Changer les cartes électroniques préprogrammées HITACHI et la logique câblée par développement d'une nouvelle solution programmable à base d'un API.
- ✓ Améliorer le fonctionnement de la thermoformeuse.
- ✓ Créer une interface homme-machine (IHM) par Protocol en guise de substitution de l'ancien pupitre.

A cet effet, le présent mémoire s'articule autour de quatre chapitres présentés comme suit :

- ✓ Le premier chapitre sera consacré aux généralités sur thermoformage et à la description générale de la chaîne de thermoformage.
- ✓ Dans le second chapitre, nous présenterons les améliorations apportées au fonctionnement de la thermoformeuse.
- ✓ L'objectif du troisième chapitre est la modélisation de séquence de fonctionnement de la chaîne de thermoformage par le Grafset.
- ✓ Nous introduirons, dans le quatrième chapitre, l'automate programmable S7-300 sélectionné pour la commande et son logiciel de programmation STEP 7 ainsi la supervision avec SIMATIC Protocol.

Une conclusion générale clos le mémoire.



*Etude et description
générale de la
chaîne de
thermoformage*

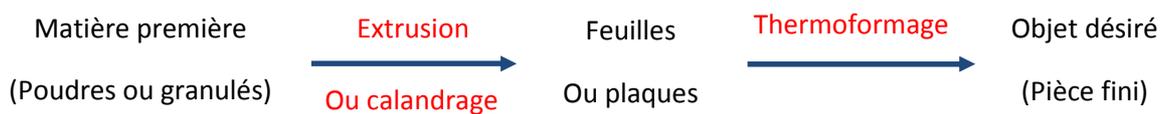
Introduction :

Nous présenterons dans un premier temps quelques notions générales sur le thermoformage et ses marchés, avant de décrire plus précisément la chaîne de thermoformage et ses équipements et organes de base pour la conduite et la commande quelque que soit les différentes énergies utilisées.

I.1 Généralités sur le thermoformage :

I.1.1 Définition :

Le thermoformage est l'un des grands procédés de mise en forme des polymères permettant de réaliser, à partir de feuilles ou plaques généralement extrudées ou calandrées, des objets concaves d'épaisseurs et de dimensions diverses. Il consiste à chauffer le semi-produit jusqu'à une température permettant sa déformation, puis à le mettre en forme dans ou sur un moule. Après refroidissement, on obtient l'objet désiré.



I.1.2 Le thermoformage dans le marché :

Le principal secteur d'application du thermoformage est l'emballage. Ses autres grands débouchés sont l'électroménager, le sanitaire et l'automobile.

Le thermoformage se trouve en concurrence avec deux autres procédés de mise en forme : l'injection et l'extrusion-soufflage. La différence majeure tient à la gamme de température de mise en forme et donc à l'état physique de la matière. L'injection-soufflage utilise directement la matière première (poudres ou granulés), qui est transformée à l'état fondu, alors que le thermoformage nécessite un semi-produit (feuilles ou plaques) à l'état caoutchoutique. L'injection permet un contrôle plus précis des épaisseurs de l'objet fini, mais demande en revanche des outillages beaucoup plus chers du fait des pressions auxquelles le moule doit résister. Le thermoformage permet quant à lui de travailler dans des conditions de température et de pression nettement inférieures aux procédés fondus, et ainsi de diminuer les coûts d'outillages et de fonctionnement.

I.1.3 Les matériaux thermoformés :

Les thermoplastes sont constitués de macromolécules (polymères) dont la longueur peut atteindre jusqu'à 10^{-3} mm.

Le tableau I-1 regroupe les caractéristiques de « thermoformabilité » des principales classes de polymères utilisées en thermoformage, leurs plages de mise en forme (plage de formage) et leurs températures caractéristiques (température de transition vitreuse, Tg, ou de fusion, Tf) :

Tableau I.1 : Plage de formabilité des principaux polymères utilisés en thermoformage (A : amorphe, SC : semi-cristallin).

Polymère	Abréviation	Type	Tg (°C)	Tf (°C)	Plage de formage (°C)
Polystyrène	PS	A	90	-	130-182
Polychlorure de vinyle	PVC	A	90	-	100-155
Polyacrylate butadiène styrène	ABS	A	90-120	-	130-180
Poly méthacrylate de méthyle	PMMA	A	100	-	150-190
Polycarbonate	PC	A	150	-	170-200
Polypropylène	PP	SC	5	165	150-165
Polyéthylène téréphtalate	PET	SC	70	255	120-180
Polyéthylène haute densité	PEhd	SC	-110	134	130-185

➤ **Thermoplaste amorphe :**

La disposition des macromolécules est totalement désordonnée. Ils sont thermoformables une fois atteinte la température de transition vitreuse (température de ramollissement).

➤ **Thermoplaste semi-cristallin :**

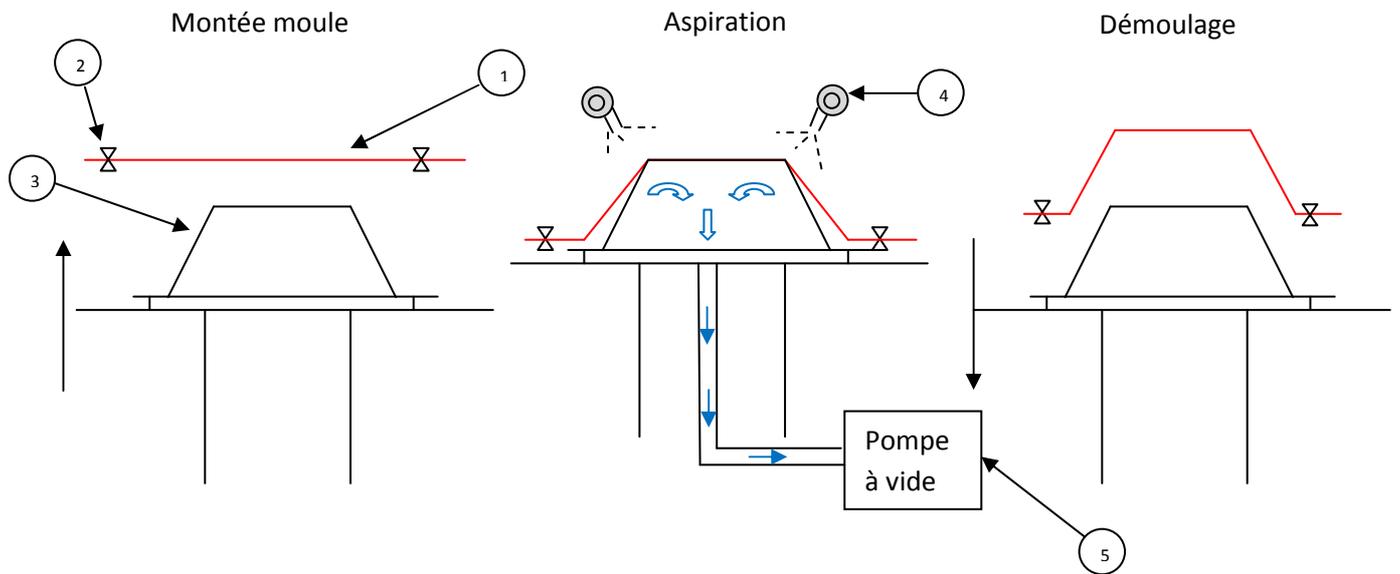
Les plastiques partiellement cristallins ont des domaines de molécules particulièrement ordonnés, comme par exemple celles du polyéthylène linéaire ou des poly acétals peut constituer des domaines partiellement réguliers (cristallin).

I.1.4 Modes de thermoformage :

La géométrie de la pièce à réaliser va imposer le type de moule et par conséquent, le type de formage. Nous distinguons généralement deux modes principaux de formage : le formage positif et le formage négatif.

I.1.4.1 Formage positif :

Pour les applications nécessitant de fortes épaisseurs de feuille, nous trouvons du formage positif c'est le cas des baignoires, des cuves et des portes de réfrigérateur. La feuille chauffée est drapée sur un moule par la pression atmosphérique externe. L'air entre moule et feuille est aspiré par une pompe à vide (figure I.1).



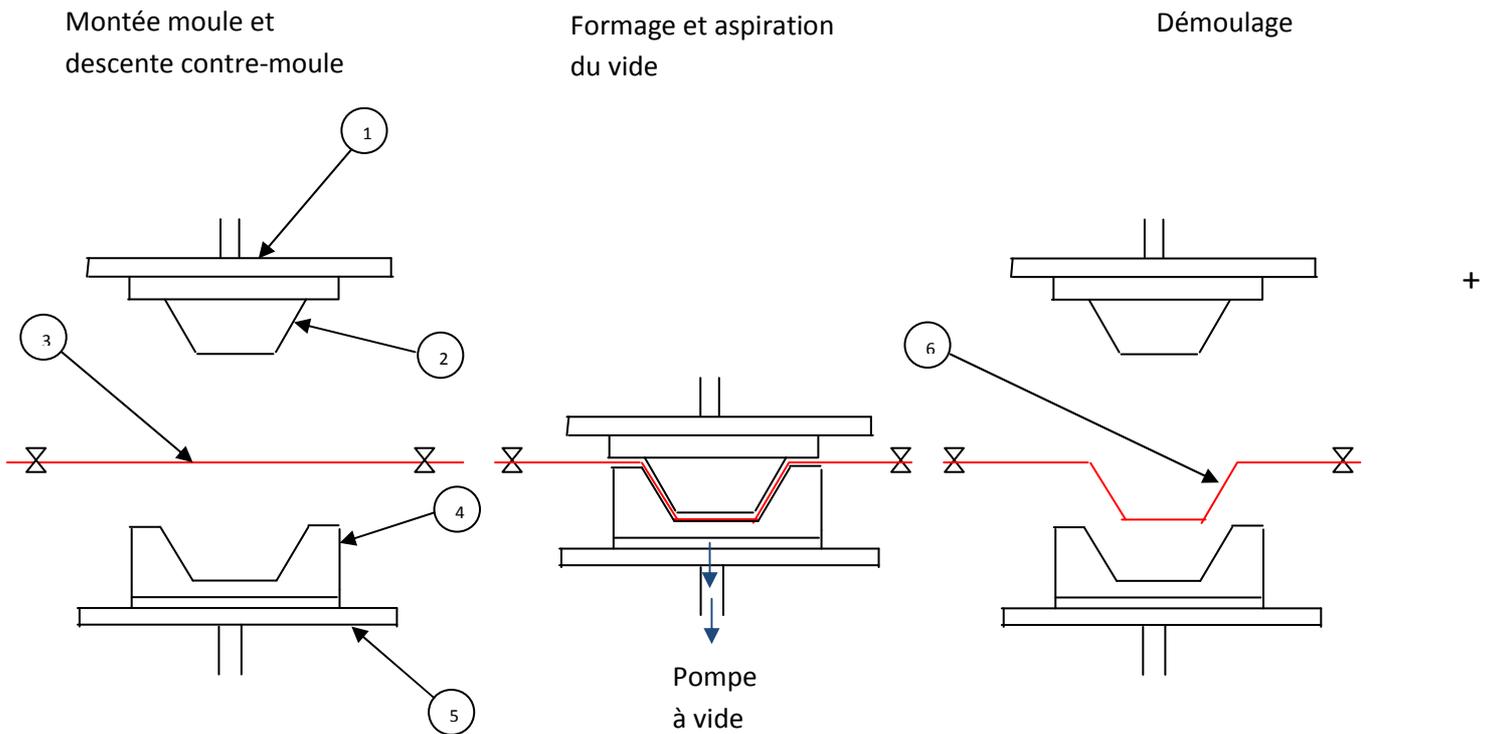
- 1- Semi-produit ; 2- Support de fixation
- 3- Moule de formage ; 4- Refroidissement ; 5- Pompe à vide

Figure I.1 : Formage positif.

La *figure I.1* illustre les différentes opérations du formage positif, la première consiste en la monté moule et soufflage pour le bullage et ensuite mise en route du vide. En dernière étape, refroidissement et démoulage.

I.1.4.2 Formage négatif :

Le formage négatif est le plus courant pour les applications barquette, pot, gobelet, et film d'emballage. Le moule est conçu comme une cavité percée de petits orifices pour l'évacuation de l'air emprisonné entre la feuille et lui-même. Nous utilisons un poinçon mécanique qui épouse la forme de moule sous l'action d'une différence de pression (figure I.2).



- 1- Table mobile supérieure ; 2- Contre-moule ; 3- Feuille ;
4- Moule ; 5- Table mobile inférieure ; 6- Pièce formée.

Figure I.2 : Formage négatif.

La figure I.2 illustre l'opération du formage négatif qui se déroule en 3 étapes principales. La première étape consiste en la montée du moule et soufflage, ensuite descente du contre-moule de manière à atteindre leurs positions de fin de course. Dans la deuxième étape, déclenchement du vide quand le moule en position haute et le contre-moule en position basse. En fin dans la dernière étape, refroidissement et le démoulage de la pièce.

I.2 Description générale de la chaîne de thermoformage :

La thermoformeuse est une machine standard à cycle continu de dimension 12×1,5 m, qui effectue le formage sous vide, sous l'air comprimé et à l'aide d'un moule. Elle est constituée de 6 postes, alignés respectivement comme suit (figure I.3):

- 1- Poste de déroulement, blocage et transport de matériau thermoplastique vers les autres postes ;
- 2- Poste de chauffe ;
- 3- Poste de formage ;
- 4- Poste de découpe par emploi des lames en acier ;
- 5- Poste de séparation des pièces coupées (empilage) ;
- 6- Poste de guillotine.

- ❖ Pour un fonctionnement optimal de l'ensemble, chaque étape ou poste doit faire l'objet du meilleur réglage.
- ❖ les opérations : chauffe, formage, découpe, empilage et cisaille sont effectuées simultanément et pendant ce temps, la chaîne dentée de translation de matériau thermoplastique doit être obligatoirement arrêtée.

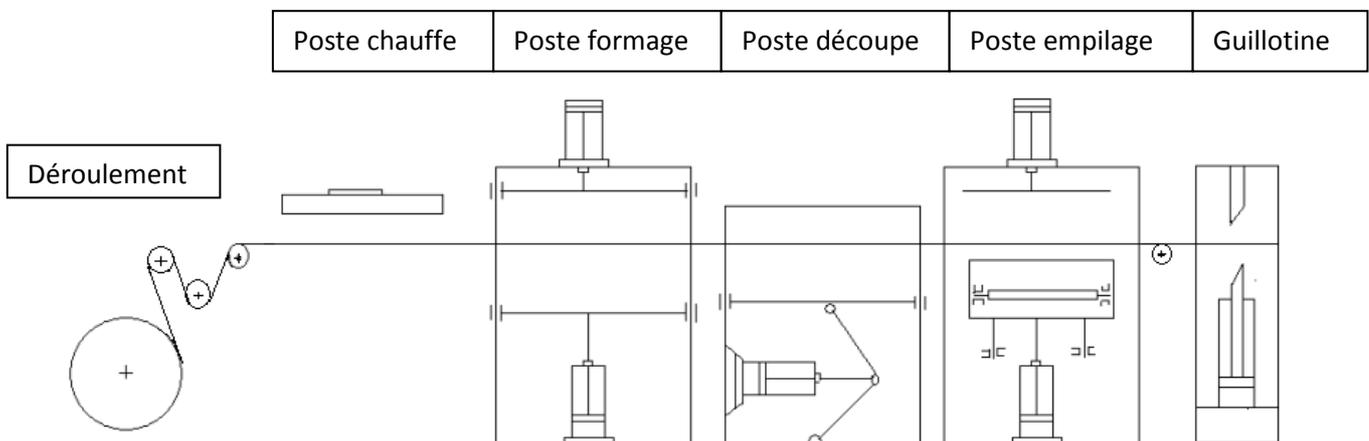


Figure I.3 : Schéma synoptique de la chaîne de thermoformage.

I.2.1 Déroulement, blocage et transport du matériau thermoplastique :

Le principe de fonctionnement du dispositif de translation de la chaîne est illustré par le schéma suivant (figure I.4):

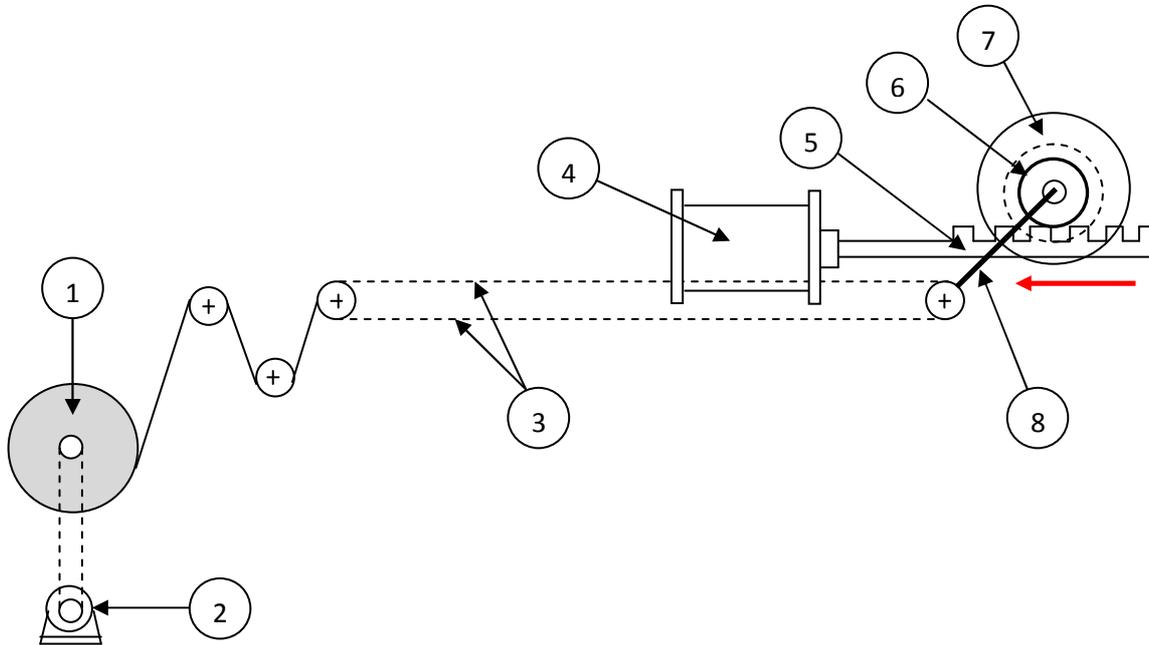


Figure I.4 : Schéma illustrant le poste de déroulement, blocage et transport de matériau thermoplastique.

Le matériau thermoplastique en bobine (1) se déroule à l'aide d'un petit moteur asynchrone triphasé (2) à démarrage direct en étoile avec une puissance de 30w et une vitesse de rotation de 1360tr/mn.

Le mouvement de la chaîne dentée (3) est commandé par un vérin hydraulique à double effet (4), à travers un système mécanique de transmission à crémaillère (5).

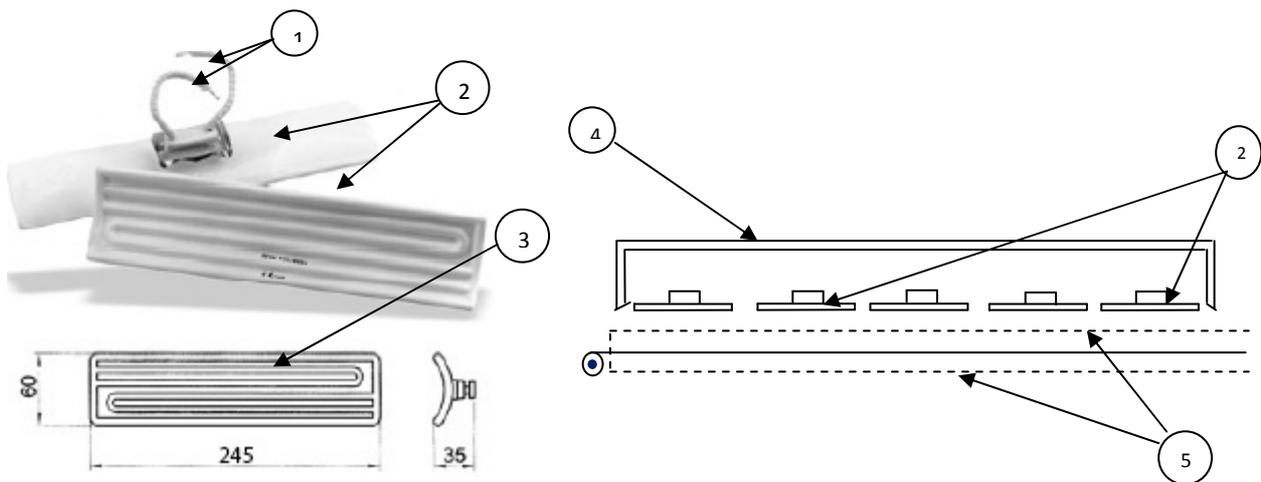
La crémaillère, fixée à la tige du vérin, avance dans le sens indiqué par la flèche, en mettant en mouvement la roue à engrenage (7). Celle-ci, à travers un système à embrayage(6), transmet son mouvement rotatoire à un arbre (8) porte deux poulies à ces extrémités et par conséquent la translation de la chaîne dentée (3).

I.2.2 Poste de chauffage :

La feuille est chauffée à une température permettant sa déformation, c'est-à-dire à une température telle qu'elle soit flexible et étirable mais encore suffisamment rigide pour résister à son propre poids. Nous disposons ainsi d'une température, dite plage de formage.

Le chauffage de matériau thermoplastique est effectué par rayonnement, c'est-à-dire lors du transfert de la chaleur par contact ou convection, l'énergie est transférée par la matière alors que pour le chauffage par rayonnement, le transfert est réalisé par les ondes électromagnétiques. Le transfert thermique intervient dans le domaine infrarouge (0,8-1000 μ m). Le degré d'absorption de l'infrarouge dépend de l'épaisseur du semi-produit, de sa couleur et de la longueur d'onde du rayonnement. Plus le thermoplaste est épais, d'autant plus élevée est son absorption.

La machine est équipée d'un réflecteur de chauffe supérieur constituant des émetteurs céramiques de dimension 245 \times 60 mm, rangés en trois zones A, B et C. La température dans chaque zone est contrôlée par un émetteur pilote (émetteur avec thermocouple incorporé) (figure I.5). La translation de réflecteur supérieur sur élément de chauffe ou son écartement est commandée par un vérin pneumatique à double effet.



- 1-Raccordements électrique ;
- 2-Emetteurs céramique à infrarouge ;
- 3-Spires chauffantes ;
- 4-Panneau réflecteur supérieur chauffage ;
- 5-Semi-produit.

Figure I.5 : Schéma synoptique de poste de chauffage.

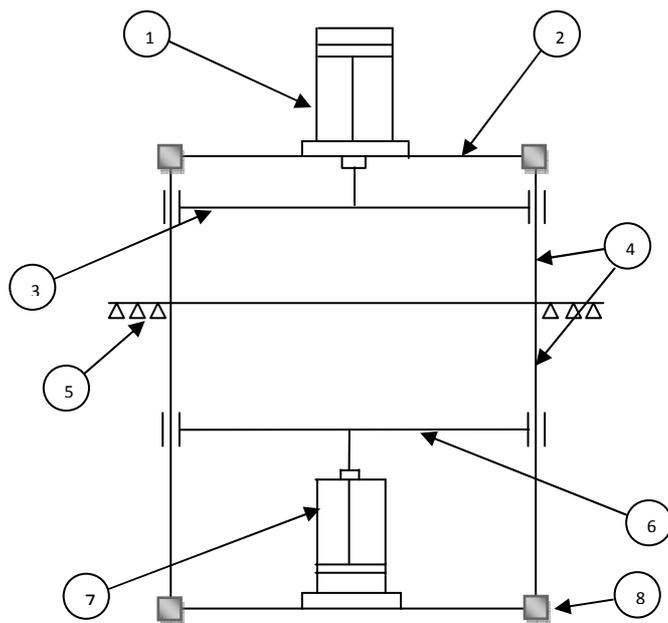
I.2.3 Poste de formage :

Le semi-produit chauffé à la température de plastification est formé sur le poste de formage. Ce dernier est constitué d'une structure particulière robuste et précisément d'une (figure I.6) :

- Table mobile inférieure portant le moule de formage ;
- Table mobile supérieure portant le contre moule.

Les deux tables ont des raccords pour le vide et/ou l'air comprimé.

Les deux tables mobiles dans le plan vertical sont commandées par deux vérins hydrauliques à double effet. La fixation du semi-produit pendant le cycle de formage est effectuée entre le moule et un contre-moule.



1-Vérin table mobile supérieure

2- table fixe supérieure

3- table mobile supérieure

4- tiges rigides

5- chaîne de translation

6- table mobile inférieure

7- vérin table mobile inférieure

8- table fixe inférieure

Figure I.6 : Schéma synoptique de poste de formage.

I.2.3.1 Schéma hydraulique poste formage :

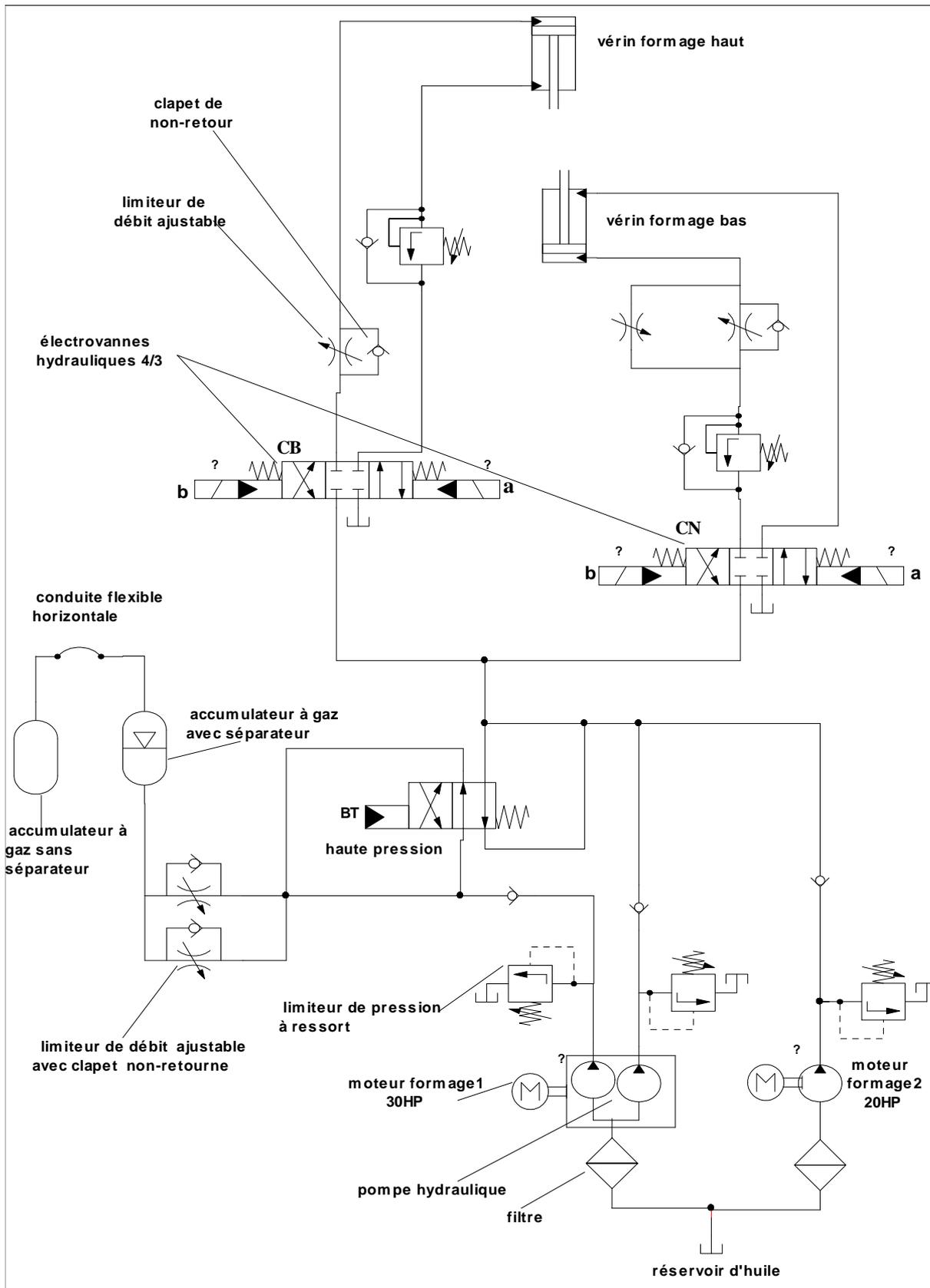


Figure I.7 : Schéma hydraulique de poste formage.

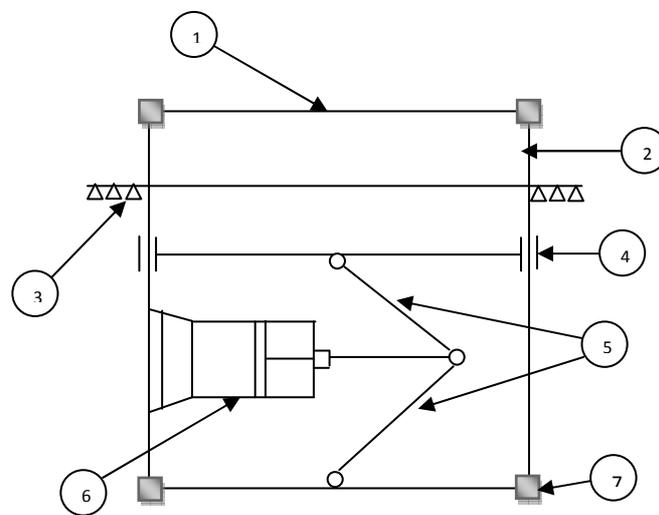
I.2.4 Poste de découpe :

L'objet thermoformé est entraîné par la chaîne dentée jusqu'au poste de découpe, il va être nécessaire de le libérer des parties non utilisées (les extrémités).

Le poste de découpe est constitué d'une :

- Table mobile inférieure portant les outils de coupe (lames en acier) ;
- Table supérieur fixe de contre -coupe (comparaison).

La montée ou la descente de la table inférieure, dans le plan vertical, est commandée par un vérin hydraulique à double effet entraînant une bielle genouillère (figure I.8).



- 1- table fixe découpe
- 2- tige rigide
- 3- chaîne de translation
- 4- table mobile découpe
- 5- bielle genouillère
- 6- vérin hydraulique découpe
- 7- table fixe inférieure

Figure I.8 : Schéma synoptique de poste de découpe.

I.2.4.1 Schéma hydraulique poste découpe :

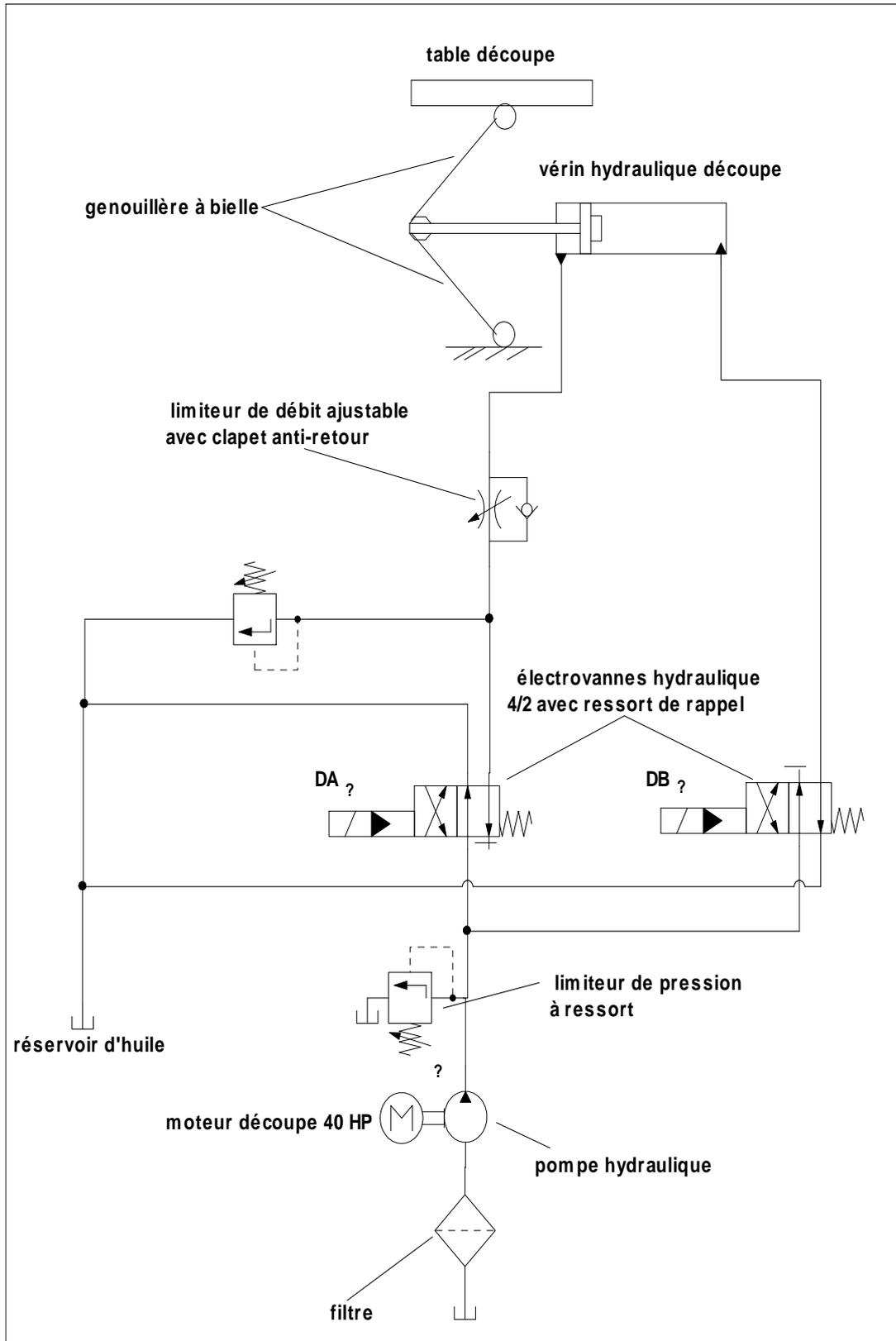


Figure I.9 : Schéma hydraulique de poste découpe.

I.2.5 Poste d'empilage et guillotine:

Lorsque la découpe est effectuée après le formage, il y aura une translation de semi-produit jusqu'au poste d'empilage. L'objet est resté maintenu par des points d'attache qui vont se rompre par action du système d'empilage.

Le poste d'empilage est constitué d'une :

- Table mobile supérieure de séparation des pièces ;
- Table mobile inférieure portant le magasin d'empilage.

Les deux tables mobiles dans le plan vertical sont commandées par deux vérins hydrauliques à double effet (figure I.10).

La guillotine est constituée d'une lame inférieure mobile dans le plan vertical commandée par un vérin hydraulique à double effet et en contre partie, une lame fixe de contre-coupe. Elle a pour rôle de couper les déchets restant en petits morceaux.

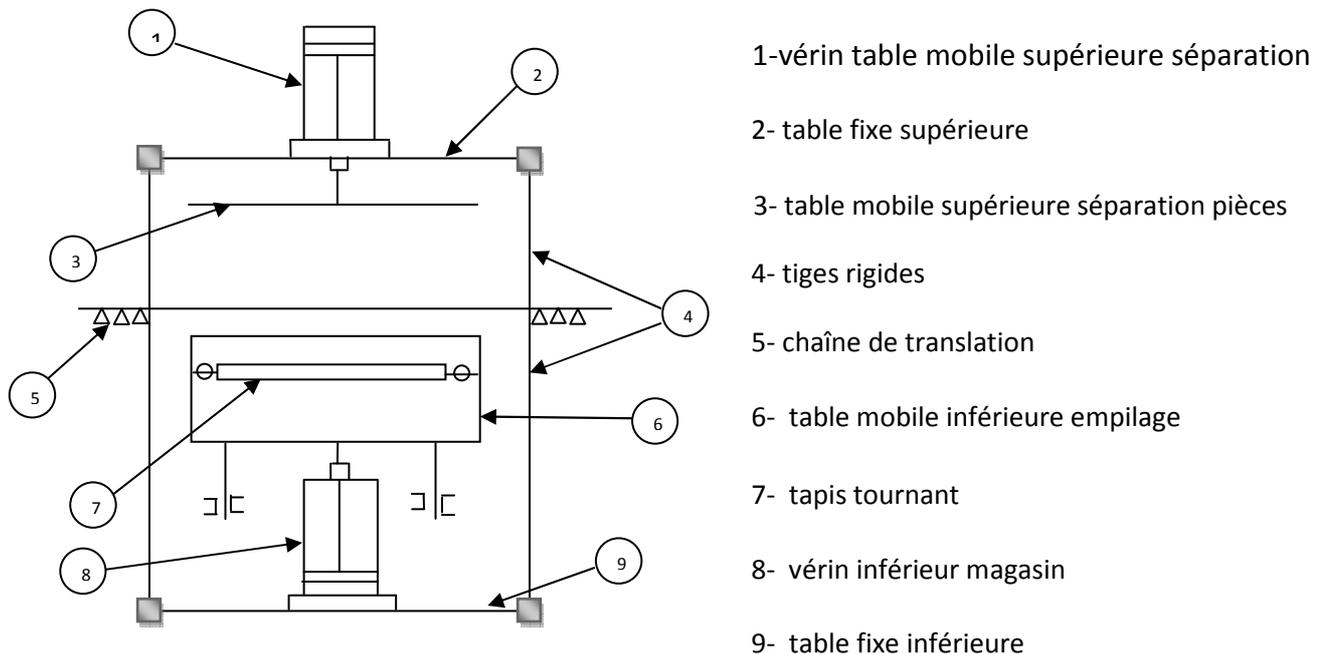


Figure I.10: Schéma synoptique de poste empilage.

I.2.5.1 Schéma hydraulique poste empilage et guillotine :

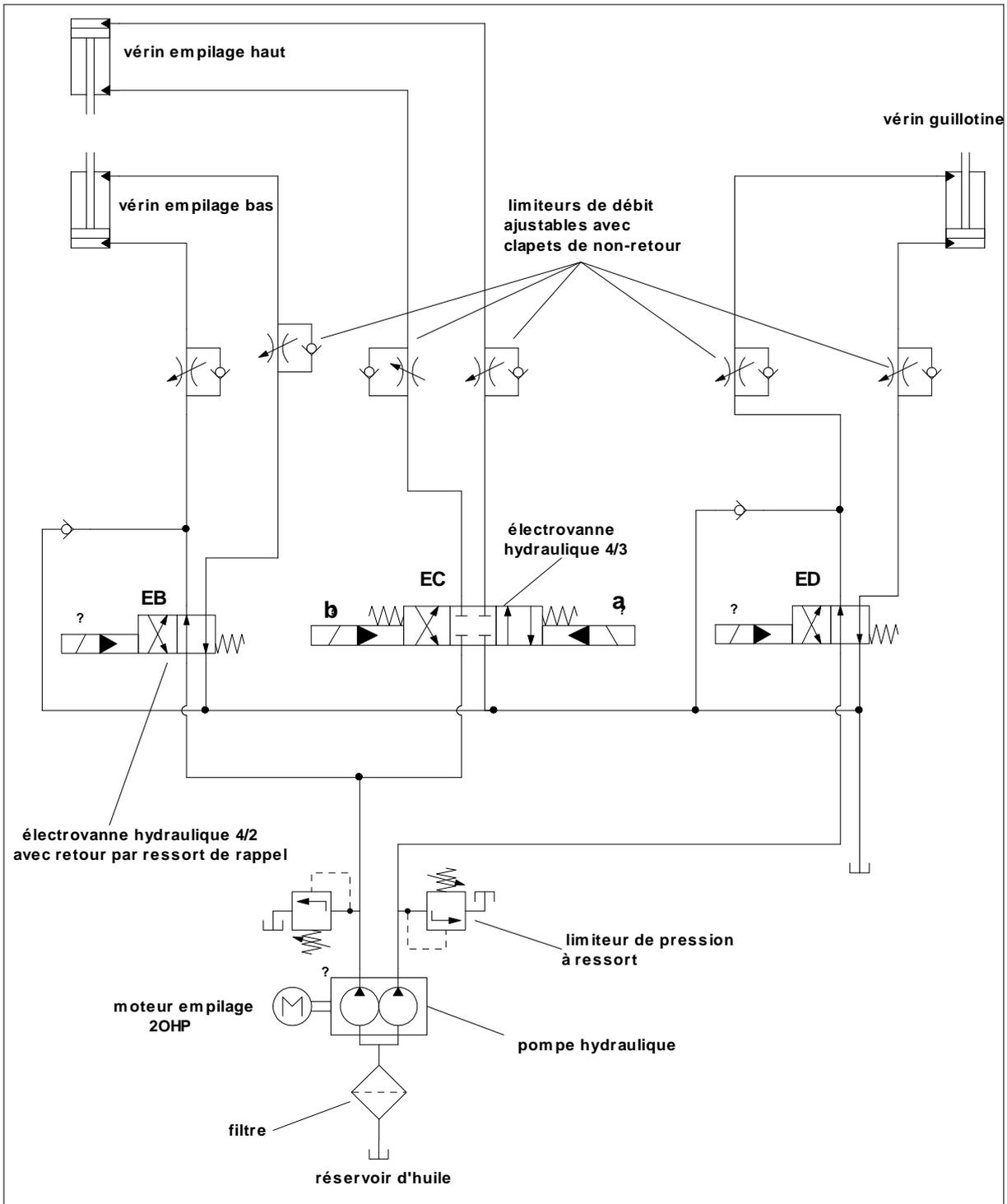


Figure I.11 : Schéma hydraulique de poste empilage et guillotine.

I.2.6 Installation hydraulique :

La compressibilité de l'air et son faible pouvoir lubrifiant déterminent les limites d'utilisation de la pneumatique dans la chaîne de thermoformage.

L'emploi de l'énergie hydraulique permet la transmission d'importantes forces avec souplesse et une grande stabilité de la pression et du débit. L'huile joue le rôle de fluide de transfert.

L'installation hydraulique de la chaîne de thermoformage se compose essentiellement :

- d'un réservoir d'huile d'une capacité de 2000 L ;
- d'un refroidisseur : permet de refroidir l'huile ;
- de quatre (4) pompes hydrauliques ;

❖ Pompe hydraulique :

La pompe hydraulique est un générateur de débit d'huile. Elle transforme une puissance mécanique en une puissance hydraulique. Celle-ci est transmise à des actionneurs qui la transforment de nouveau en énergie mécanique linéaire. L'huile joue le rôle de fluide de transfert, facile à transporter dans des canalisations vers des vérins.

Une pompe ne crée pas de pression, mais un débit. C'est la résistance du récepteur, (moteur ou vérin) qui crée par son travail une montée en pression. Les caractéristiques principales sont la cylindrée à deux sens de débit et leur capacité à résister à la pression.

La puissance hydraulique délivrée par une pompe :

$$P_h = p \cdot q$$

- p : différence de pression (exprimée en bar) entre l'aspiration et le refoulement.
 - q : débit volumique (exprimé en litre par minute).
 - P_h : puissance hydraulique (exprimée en kilowatts). [6]
-
- de quatre (4) moteurs électriques asynchrones triphasés principaux à démarrage direct en triangle déposés sur le réservoir :
 - ✓ moteur « M_1 » de puissance de 22 KW (=30HP) entraînant la pompe hydraulique de poste formage (inférieur) ;
 - ✓ moteur « M_2 » de puissance de 15 KW (=20HP) entraînant la pompe hydraulique de poste formage (supérieur) ;
 - ✓ moteur « M_3 » de puissance de 30 KW (=40HP) entraînant la pompe hydraulique de poste découpe ;
 - ✓ moteur « M_4 » de puissance de 15 KW (=20HP) entraînant la pompe hydraulique de poste empilage et guillotine.

I.2.7 Poste de contrôle :

Composé de pupitre de commande et de signalisation, il permet à l'opérateur de commander les opérations de la machine (marche, arrêt, mode manuel...). Il permet également de visualiser les différents états de la machine à l'aide de voyants et de terminal de dialogue (réglages consignes).

I.3 Equipements et organes de commande de la chaîne de thermoformage :

I.3.1 Capteurs :

Un capteur est un organe de prélèvement d'information qui élabore à partir d'une grandeur physique ; une grandeur physique de nature différente (très souvent électrique). Les signaux prélevés par des capteurs sont de trois natures différentes :

- signal logique ou binaire (fin de course mécanique, photocellule...)
- signal analogique (thermocouple)
- signal numérique (codeur).

I.3.1.1 Capteur de fin de course mécanique :

Le capteur de fin de course est un détecteur à action mécanique indiquant la présence ou non d'un objet solide. Il est constitué d'un galet (tête) et un contact fermé ou ouvert au repos. Lorsque le galet est poussé par l'objet, il y aura fermeture ou ouverture de contact. Le retour de contact à sa position initiale est effectué par action d'un ressort de rappel lorsque l'objet s'écarte.

Un détecteur de présence à action mécanique doit avoir des caractéristiques permettant de répondre aux exigences d'un fonctionnement industriel, par exemple :

- Une durée de vie suffisante ;
- Une bonne précision, une bonne fiabilité et une certaine répétabilité de la position de commutation.

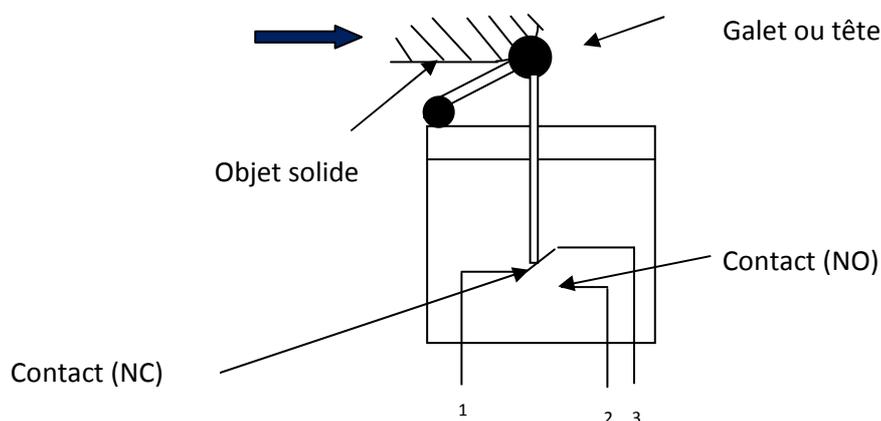


Figure I.12 : Capteur de fin de course à action mécanique.

I.3.1.2 Thermocouple :

Un thermocouple est capteur de température de type analogique. Il est basé sur l'effet Seebeck, qui est un circuit fermé constitué de deux conducteurs A et B de nature différentes dont les jonctions sont à des températures différentes. Le thermocouple est le siège d'une force électromotrice (f.é.m.) dite de Seebeck V_{AB} .

V_{AB} : dépend de la nature des conducteurs et des températures $T1$ et $T2$. Elle est exprimée en microvolts (μV).

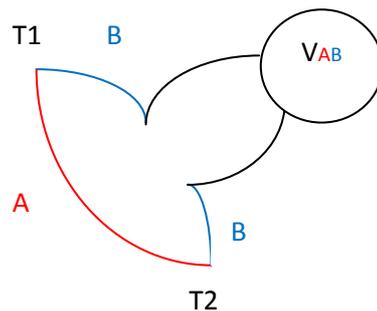


Figure I.13: Schéma d'un thermocouple.

Si une jonction est tenue à une température de référence, le voltage entre le thermocouple donne une mesure de la température de la deuxième jonction.

$T1$: température de référence ;

$T2$: température a mesuré.

❖ Types de thermocouple :

Le tableau I.2 regroupe quelques types de thermocouples utilisés, désignés par les lettres majuscules et ainsi leurs caractéristiques.

Tableau I.2 : Classe principale de quelques thermocouples utilisés.

Thermocouple	Alliages	Domaine de température en C°
K	Nickel-Chrome / Nickel-aluminium	-270 à 1370
T	Cuivre / Cuivre-Nickel	-270 à 400
J	Fer / Fer—Nickel	-210 à 1200

Remarque :

Les thermocouples utilisés dans le panneau chauffe sont de type K.

I.3.1.3 Capteur optique (photocellule) :

Un détecteur de proximité photoélectrique est constitué d'un émetteur E généralement une diode électroluminescente et d'un récepteur de lumière R qui est un phototransistor. Ces deux éléments peuvent être intégrés ou non dans un seul boîtier. Nous distinguons deux procédés de détection :

- Par coupure du faisceau lumineux par l'objet, système barrage (figure I.14) ;

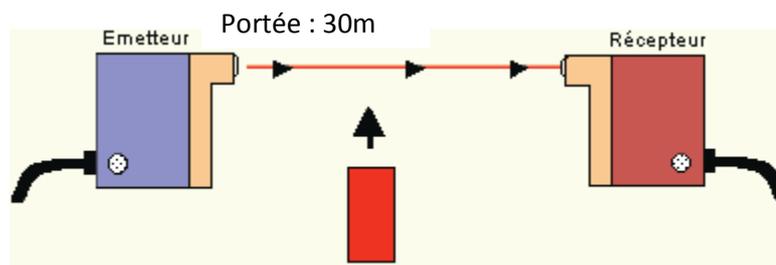


Figure I.14 : Dispositif barrage.

- Par réflexion directe du faisceau lumineux sur l'objet, (figure I.15) où sur un réflecteur fixe (figure I.16), cette dernière qui est utilisée dans la chaîne de thermoformage.

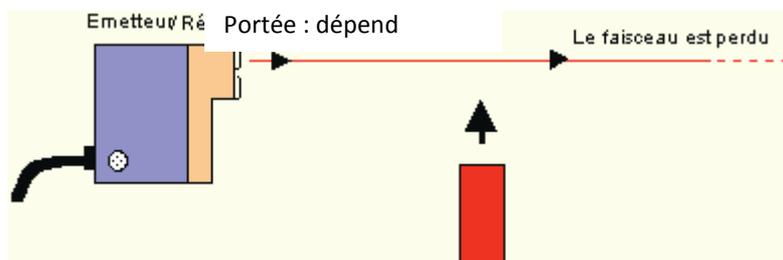


Figure I.15 : Dispositif de proximité.

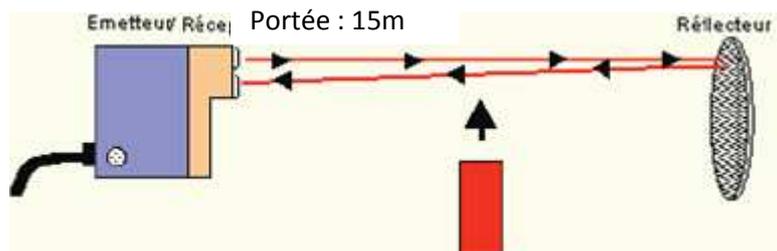
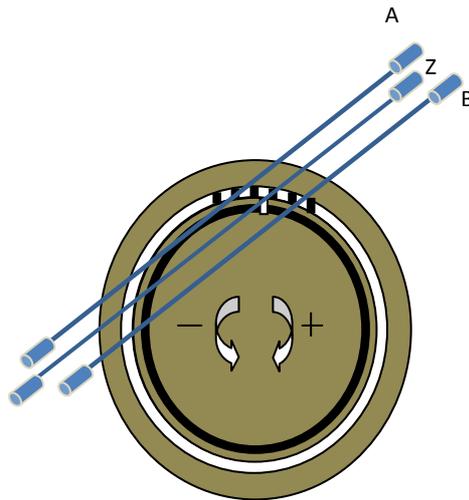


Figure I.16: Dispositif reflex.

I.3.1.4 Codeur incrémental :

Le codeur incrémental est un capteur qui convertit le mouvement de rotation en signal électrique. Ce signal prend la forme d'un train d'impulsions dont le nombre est proportionnel au déplacement angulaire mesuré. Le comptage de ces impulsions permet de connaître la position angulaire. Il peut s'implanter en différents endroits de la chaîne mais nous les rencontrons le plus souvent relié en bout de l'arbre de moteur, à une vis à bille.



❖ Principe d'un e *Figure I.17 : Disque de codeur incrémental.*

Un faisceaux de lumière fixe et coupé ou non par une succession d'une zone opaque et transparente tracée sur une piste d'un disque rotatif, un récepteur fixe sensible à la lumière émise par la diode complète le dispositif (figure).

Une remise du compteur d'impulsion est nécessaire afin de pouvoir réaliser des mesure angulaire (à partir d'une origine appelée origine machine). Après chaque reprise secteur, il faut ainsi réaliser une prise d'origine machine (détecteur Z) pour s'assurer de la position angulaire obtenue.

Les signaux provenant doivent être comptés afin de connaître la valeur de la position. On utilise un compteur-décompteur dont la valeur courant est l'image de la position actuelle. Le comptage se fait dès que l'un des signaux change d'état (passage de 0 ou passage de 1 à 0).

❖ Détection du sens de rotation :

Les codeurs incrémentale fournies généralement deux signaux déphasés d'un quart de période afin de permettre la détection du sens de rotation.

Nous constatons que dans le sens positif(+), par rapport à la position actuelle du disque, le front descendant de A (passage de 1 à 0) est obtenu avant le front descendant de B dans le sens négatif(-), par rapport à la même position de disque.

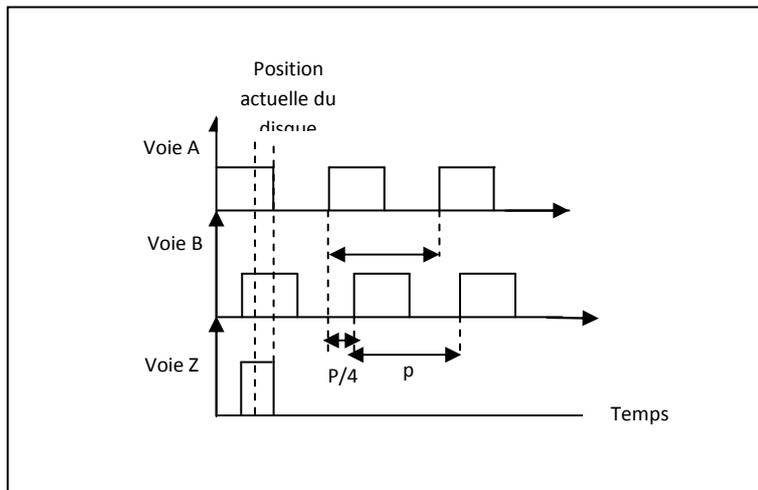


Figure 1.18 : Evolution des signaux des différentes pistes.

I.3.2 Pré-actionneurs :

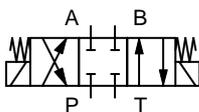
Ce sont des composants qui traduisent les signaux de commande en signaux de puissance. A toute action est associé un pré-actionneur indispensable pour son fonctionnement.

I.3.2.1 Electrovanne :

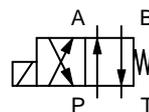
Une électrovanne ou électrovalve est un distributeur commandé électriquement, permettant d'autoriser ou d'interrompre par une action mécanique la circulation d'un fluide (huile) dans un circuit.

Les distributeurs sont caractérisés par :

- Le nombre de voies commutés et le nombre de positions de commutation possibles : 4/3, 4/2.
- Leurs types de pilotage qui peut être électrique, hydraulique, mécanique,...
- Leur mode de fonctionnement qui peut être monostable ou bistable ;
- Leur diamètre de raccordement 1/8 ,1/4 ,3/8,1/2 ;
- Leur diamètre de passage ;
- Leur facteur de débit Kv ;



Exemple d'un distributeur 4/3 avec pilotage électrique bistable.



Exemple d'un distributeur 4/2 avec pilotage électrique monostable, retour par ressort de rappel.

Figure 1.19: Schémas de quelques électrovannes.

I.3.2.2 Contacteur électrique :

Le contacteur est un appareil de commande capable d'établir ou d'interrompre le passage de l'énergie électrique vers les récepteurs de puissances (moteurs). Il se compose d'une bobine qui est l'organe de commande, de contacts principaux et de contact auxiliaire voir la figure 1.20. Lorsque la bobine est alimentée en courant, l'armature est attirée et ferme les contacts. Lorsque la tension entre A1 et A2 est annulée, les contacts sont à la position initiale par l'action d'un ressort de rappel. Nous pouvons commander un contacteur par deux boutons poussoirs à impulsions. Un bouton « marche » permet l'alimentation du contacteur dont le maintien sera assuré par un contact auxiliaire, un autre bouton poussoir « arrêt » fermé au repos permet une fois actionné d'interrompre l'alimentation de la bobine du contacteur.

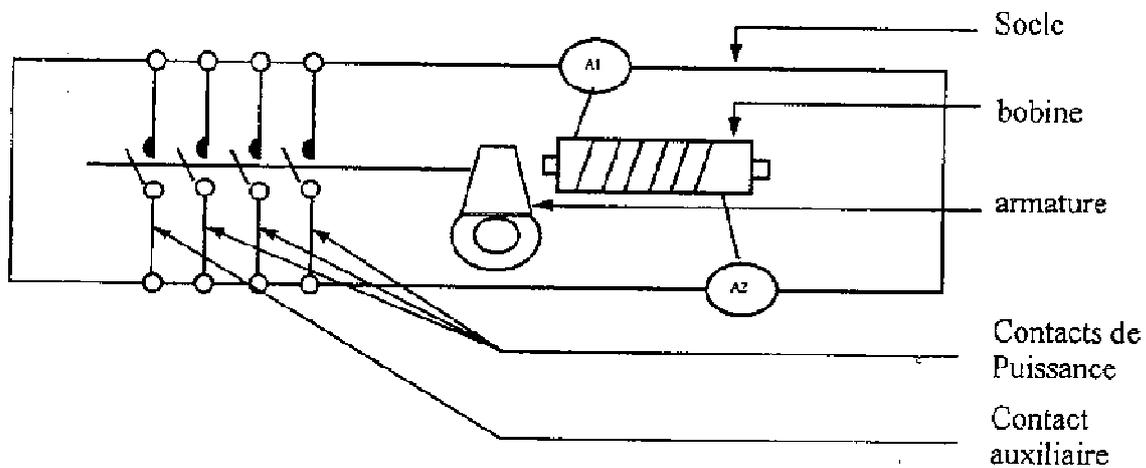


Figure 1.20 : Schéma de contacteur électrique.

I.3.2.3 Relais :

En général la constitution des relais est identiques à celle des contacteurs (contacts, bobine, temporisation,...). La différence réside au niveau des courants coupés ou établis. Dans le cas des relais, ces courants sont nettement moins importants que dans le cas des contacteurs. Un relais est constitué d'une bobine alimentée par le circuit de commande, dont le noyau mobile ou la palette provoque la commutation de contacts. Lorsque la tension entre A1 et A2 est annulée, les contacts sont à la position initiale par l'action d'un ressort de rappel.

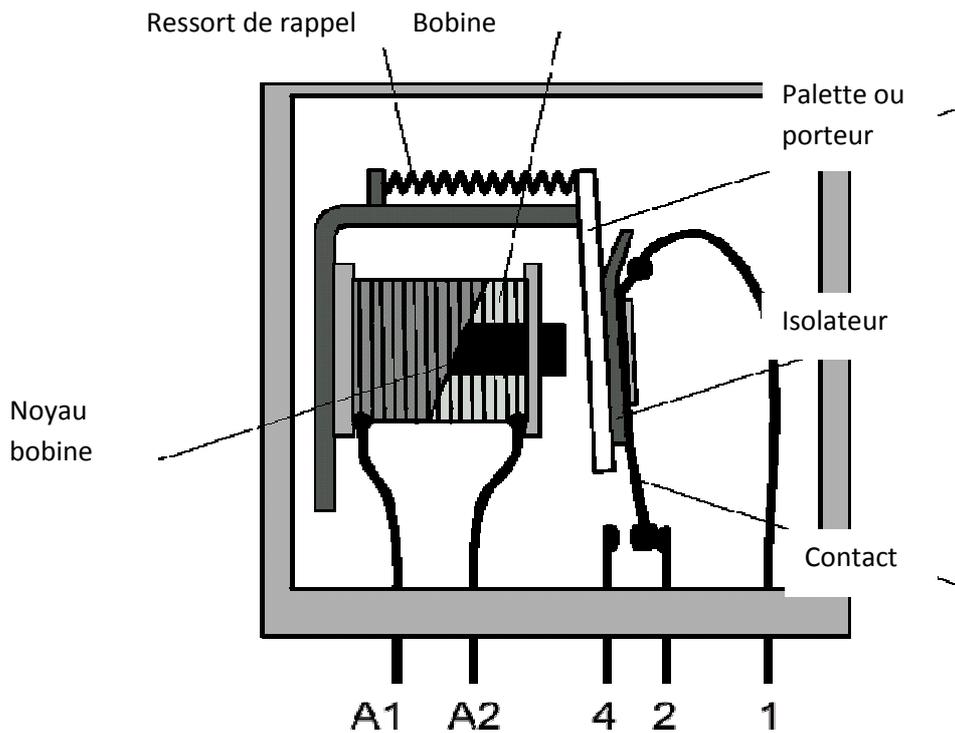


Figure I.21 : Schéma d'un relais.

I.3.3 Actionneurs :

I.3.3.1 Vérin hydraulique :

Un vérin est un tube cylindrique comportant :

- Un piston qui sépare le volume du cylindre en deux chambres isolées l'une de l'autre. Un ou plusieurs orifices permettent d'introduire ou d'évacuer un fluide dans l'une des chambres et ainsi déplacer le piston.
- Une tige rigide attachée au piston et permet de transmettre un effort et déplacement. Elle est protégée contre les agressions extérieures par un traitement à base de chrome, de nickel augmentant sa dureté.
- L'étanchéité entre les chambres du vérin ou entre corps et tige est réalisée par des joints.

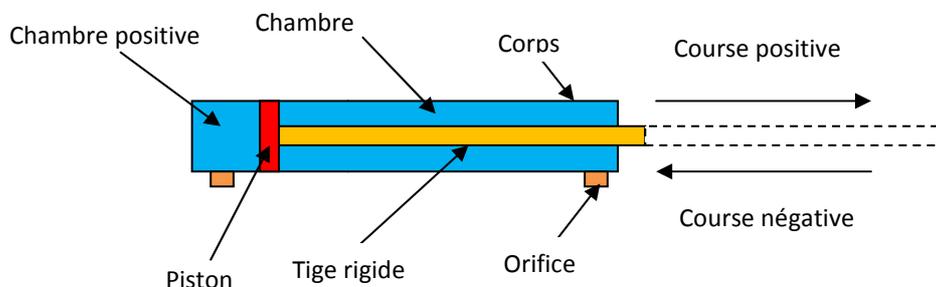


Figure I.22 : Schéma d'un vérin.

❖ Caractéristiques d'un vérin :

Un vérin se caractérise par sa course, par le diamètre de son piston et par la pression qu'il peut admettre :

- La course correspond à la longueur du déplacement à assurer,
- L'effort développé dépend de la pression du fluide et du diamètre du piston.

❖ Types de vérins :

a. Vérin à simple effet (VSE) :

Un vérin à simple effet ne travaille que dans un sens (souvent, le sens de sortie de la tige). L'arrivée de la pression ne se fait que sur un seul orifice d'alimentation ce qui entraîne le piston dans un seul sens, son retour s'effectue sous l'action d'un ressort ou d'une force extérieure (fréquent en hydraulique).

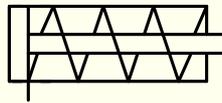


Figure I.23 : Vérin simple effet.

b. Vérin à double effet (VDE) :

Un vérin à double effet a deux directions de travail. Il comporte deux orifices d'alimentation et la pression est appliquée alternativement de chaque côté du piston ce qui entraîne son déplacement dans un sens puis dans l'autre.

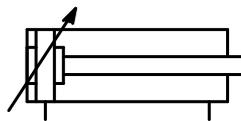


Figure I.24 : Vérin double effet.

I.3.3.2 Résistances de chauffage :

Conversion d'énergie électrique en énergie calorifique.

I.3.3.3 Moteurs électriques :

❖ Principe général :

Les moteurs électriques sont des machines tournantes, destinées à transformer l'énergie électrique prise au réseau sous forme alternative triphasée en énergie mécanique disponible sur l'arbre tournant du moteur. Ils sont constitués de deux parties, l'une fixe, le stator ou inducteur et l'autre partie mobile, le rotor ou induit. Le principe d'obtention d'un couple issu des lois de l'induction, repose sur l'interaction existant entre deux champs magnétiques (figure I.25) :

- Le champ statorique, lié à la partie fixe du moteur B_s ;
- Le champ rotorique lié à la partie mobile du moteur B_r .

Si les deux champs sont décalés d'un angle θ , il apparaît un effort ou un couple qui tend à les aligner. L'effort ou le couple est maximum lorsque les deux champs sont perpendiculaires ($\theta = \pi/2$). Pour créer un moteur il suffit, par un procédé technique, de faire tourner ou déplacer un de ces champs par rapport à l'autre pour que l'autre suive, entraînant ainsi le mouvement relatif du rotor par rapport au stator.

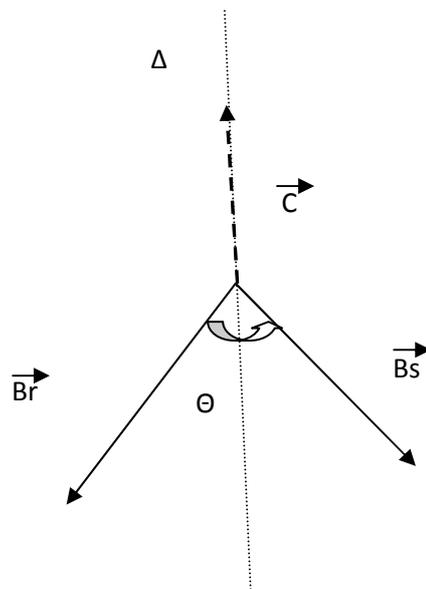


Figure I.25 : Deux champs, un couple.

❖ Moteurs à courant alternatif (asynchrones triphasés) :

C'est le moteur le plus répandu dans l'industrie. Il est robuste, fiable, disponible et peu de maintenance. Le champ statorique est produit par trois bobines d'induction décalées dans l'espace de $2\pi/3$, chacune alimentée par une phase du courant électrique triphasé à la fréquence f . Le courant alternatif triphasé qui traverse les trois bobines du stator crée un champ tournant à fréquence fixe dite de synchronisme $f_s=f/p$ ($f_s=50$ Hz). Ce champ étant variable, en raison de la nature périodique et la triphasée des courants, il induit des courants dans le rotor constitué de conducteurs métalliques disposés parallèlement à l'axe de rotation du moteur et relié électriquement entre eux aux extrémités (rotor en court-circuit ou cage d'écureuil). Ces courants induits créent à leur tour un champ magnétique rotorique. Le champ induit va donc tourner aussi pour s'opposer à la cause qui le produit (loi de Lenz). Dans ce moteur, le rotor tourne à une vitesse légèrement inférieure à la vitesse de synchronisme, il apparaît un écart appelé glissement qui est fonction du couple résistant en régime permanent.

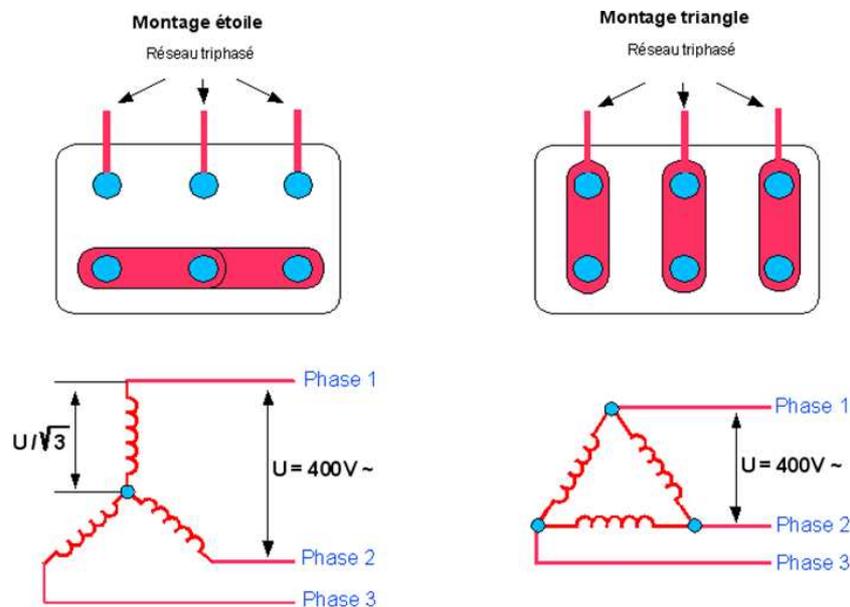


Figure 1.26 : Différents modes de démarrage

Conclusion :

Dans ce premier chapitre, nous avons introduit quelques généralités sur le procédé de thermoformage et ses applications par la suite nous avons décrit tous les postes constituant la chaîne de production et présenter les organes mise en œuvre pour son fonctionnement (pré- actionneurs, actionneurs et capteurs...) et les différentes énergies (électrique, hydraulique, pneumatique) utilisées.

Lors de l'étude, nous avons constaté beaucoup de problèmes liées à son fonctionnement que nous allons solutionner dans le prochain chapitre.



*Amélioration du
fonctionnement de
la thermoformeuse*

Introduction :

La chaîne de thermoformage est dotée d'une ancienne technologie de fabrication italienne. Initialement destinée à produire par présence permanente de plusieurs opérateurs bien formés pour assurer son fonctionnement.

Les limites technologiques des années soixante-dix telles que : la logique câblée, relais électromagnétiques, problèmes liées à la communication ...tous cela à induit des inconvénients sur le plan production, sécurité et maintenance.

II.1 Position de problèmes :

Après avoir fait l'étude et la description des composants, nous avons conclu le rapport suivant qui se porte sur l'état des lieux de la chaîne:

- Manque de composants tels que :
 - ✓ Capteurs photoélectriques ;
 - ✓ Capteurs de fin de course mécanique ;
 - ✓ Des prés actionneurs (électrovanne, relais, contacteurs...)
 - ✓ Problèmes mécaniques ;
- La translation de la chaîne dentée, qui transporte le film, est commandée par un vérin hydraulique à double effet entraînant une crémaillère, ce qui pose problèmes tel que :
 - ✓ La précision (les à-coups sur le film, retard, avance, étirement, déchirure...)
 - ✓ Couple faible ;
 - ✓ Les pannes répétées qui paralysent la production ;
 - ✓ L'usure de ces systèmes mécaniques à engrenage.
- La commande de la machine par la logique câblée et les cartes électroniques (HITACHI) présente beaucoup d'inconvénients pour assurer son fonctionnement.
- ❖ **Inconvénients de la logique câblée :**
 - ✓ Volume des faisceaux de câbles ;
 - ✓ Pérennité d'installation ;
 - ✓ Difficulté de localiser des pannes ;
 - ✓ Difficulté de maintenance ;
 - ✓ Coût très élevé des composants.
- ❖ **Inconvénients de cartes électroniques :**
 - ✓ Difficulté d'intervention en cas de panne en raison de programme implanter et inchangé dans la mémoire interne des cartes ;

- ✓ Indisponibilité de ces cartes électroniques sur le marché vu leurs ancienneté et usages limités ;
 - ✓ Leurs performances sont limités en vue de réaliser des tâches complexes telles que : régulation, asservissement, comptage, temporisation... ;
 - ✓ Pas de documentation de référence afin de comprendre le fonctionnement exacte de ces cartes.
- La régulation de températures au niveau de poste chauffe est faite par un automate modicon (TSX micro) placé dans une autre armoire. Les réglages de consignes de températures des différentes zones sont effectués à l'aide d'un afficheur de type Magelis.

II.2 Démarche et solutions apportées:

II.2.1 Solution API :

Une solution consiste à changer complètement l'ensemble des cartes électroniques pré programmées (HITACHI) qui fonctionnent à base des relais électromagnétiques, par développement d'une autre solution à base d'un automate programmable industriel suivant ces étapes :

- ✓ Nous avons branché les différents capteurs, thermiques moteurs et boutons poussoirs (marche, arrêt) aux modules d'entrées de l'automate ;
- ✓ Nous avons relié aussi toutes les bobines des électrovannes (hydraulique, pneumatique) et contacteurs électriques aux modules de sortie de l'API.

II.2.1.1 Principe d'un API :

L'automate programmable industriel (en abrégé **API**) est un appareil électronique programmable conçu autour d'un microprocesseur, qui réalise des fonctions d'automatisme pour assurer la commande des pré-actionneurs et d'actionneurs à partir d'informations sous forme de signaux logiques (tout ou rien), analogiques ou numériques.

II.2.1.2 Avantages d'un API :

C'est un système de traitement de l'information, ayant plusieurs caractéristiques :

- ✓ Il est conçu pour fonctionner dans les ambiances industrielles qui peuvent être sévères (poussières, température, humidité, vibrations...);
- ✓ Il peut gérer un grand nombre de signaux d'entrées /sorties en temps réel et de tous types : analogiques, logiques (tout ou rien) et numériques ;
- ✓ Sa programmation se réalise à l'aide de langages normalisés (CEI 61131-3) adaptés aux fonctions d'automatisme ;

- ✓ La communication entre les divers constituants des automatismes afin de recevoir ou consulter les données liées à une application le plus rapidement possible et aussi contrôler ou modifier les paramètres d'une application à distance ;
- ✓ Les tâches complexes telles que : comptage, temporisation, asservissement, régulation gestion...sont remplacées par des instructions interne de l'automate.



Figure II.1 : Automate programmable S7-300 Siemens.

II.2.2 Etapes suivies pour implantation de l'API :

II.2.2.1 Placement de capteurs :

Afin de commander la chaîne de thermoformage et d'assurer le déroulement de la séquence, nous avons ajouté différents capteurs (fin de course mécanique, photocellules).

Une vue synoptique indiquant l'emplacement de tous les capteurs est donnée dans la figure I.2:

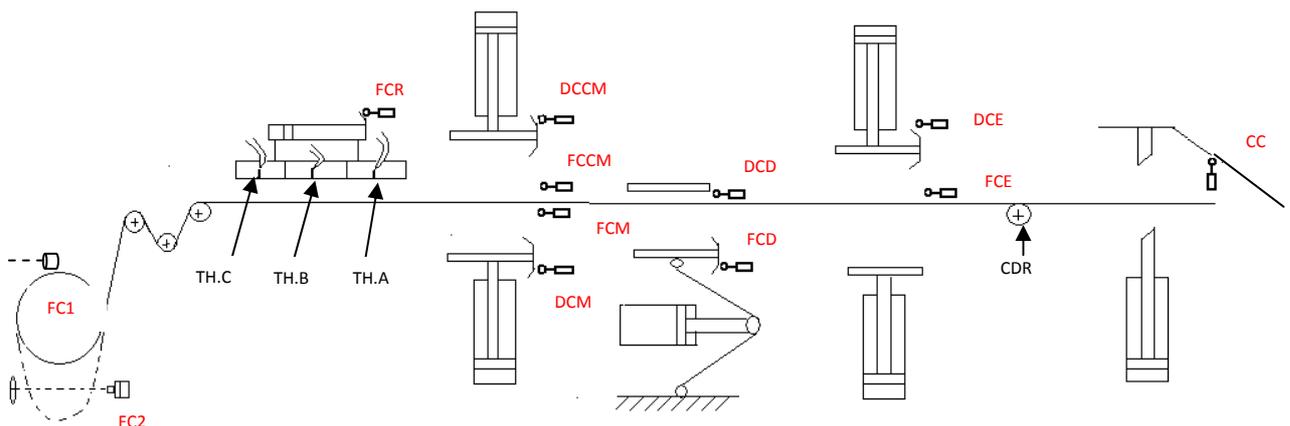


Figure II.2 : Emplacement des capteurs.

FC1 : photocellule détection film; FC2 : photocellule tension film

TH.A: thermocouple zone A; TH.B: thermocouple zone B; TH.C: thermocouple zone C;

FCR: fin de course réflecteur ; DCM: début de course moule ; FCM : fin de couse moule ;

DCCM : début de course contre-moule ; FCCM : fin de course contre-moule ;

DCE : début de course table supérieure empilage ; FCE : fin de course table sup. empilage ;

CDR : codeur incrémental ; CC : carter cisaille ;

II.2.2.2 Identification de schéma pneumatique :

Nous avons pu reconstituer le schéma pneumatique et comprendre son fonctionnement grâce à l'identification qu'on avait effectué.

L'opération de soufflage se fait à travers un distributeur 2/2 piloter par l'électrovanne EV3, le choix du soufflage du moule ou bien du contre-moule se fait à travers une vanne manuelle. En plus, une pompe à vide utilisée pour l'aspiration de vide moule et contre-moule commandée par une électrovanne EV2.

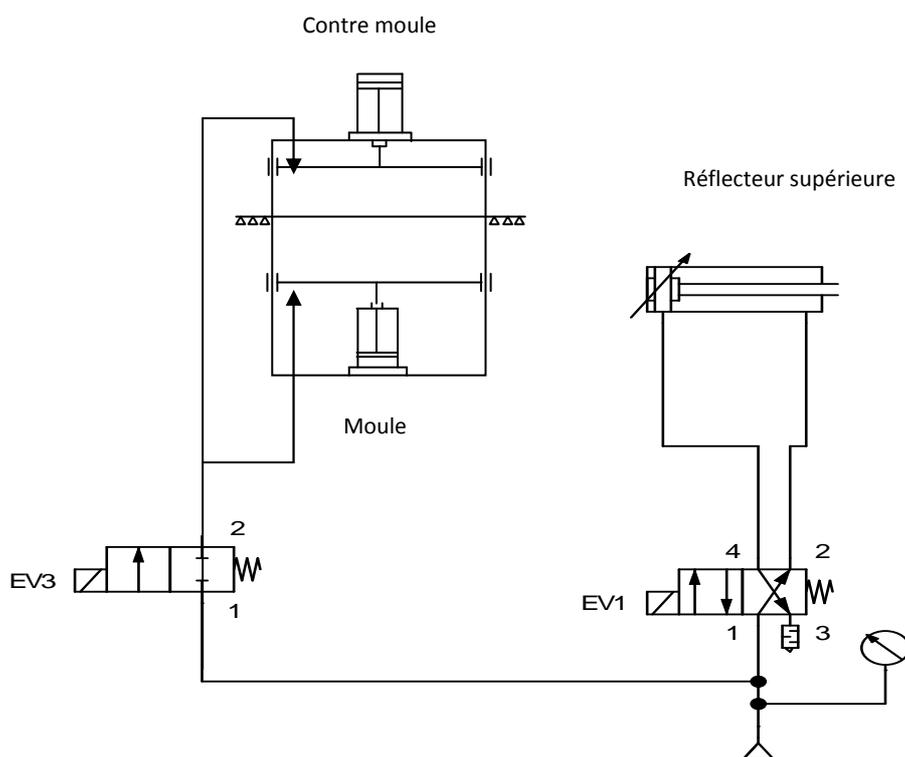


Figure II.3 : schéma pneumatique de soufflage et translation réflecteur chauffe

II.2.2.3 Commande translation chaîne dentée :

Une autre solution consiste à changer le système mécanique de translation de la chaîne dentée. Le principe de fonctionnement du nouveau dispositif est illustré par le schéma suivant (figure II.4) :

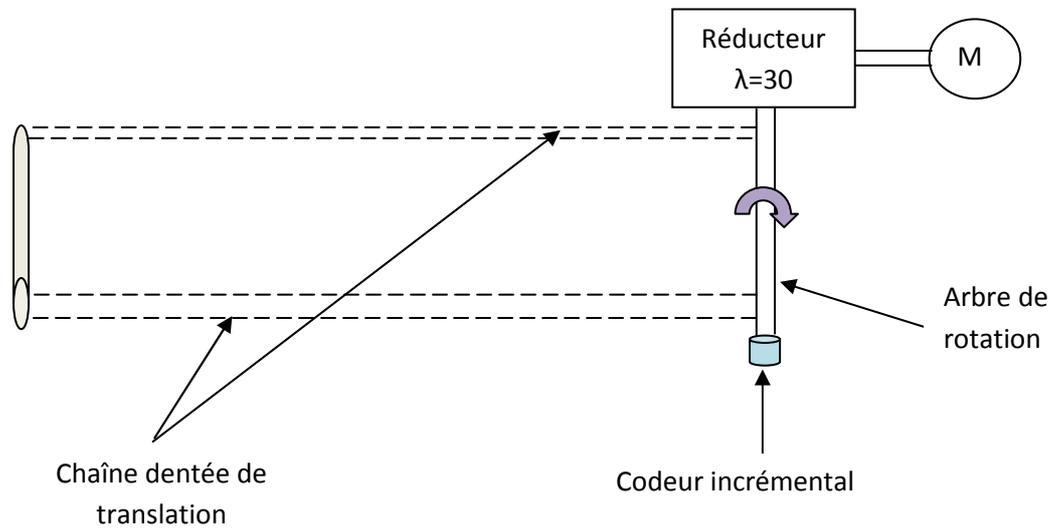


Figure II.4 : Schéma illustrant les modifications apportées au poste déroulement, blocage et transport de matériau thermoplastique.

a. Principe de la commande :

Un moteur-réducteur déposé au fond de la chaîne de thermoformage commandé par un variateur de vitesse type Allen Bradley exerce un couple sur une chaîne dentée placée sur les cotés de la machine, qui a pour rôle le transport du film (bande) vers les autres postes. Un codeur incrémental est monté sur l'arbre moteur qui permet de connaître sa position angulaire (exemple : réglage de la course par un compteur comptabilisant le nombre d'impulsion sur 1m, 1,2m).

Un dispositif de sécurité garantissant l'intégrité du film le protège des déchirures et des étirements. Une photocellule est placée au dessous de la bobine à pour rôle d'arrêter le moteur bobine si le film est détendu.

b. Variateur de vitesse :

Grâce aux progrès réalisés en électronique de puissance, il est possible de contrôler non seulement la vitesse mais également le couple des moteurs à courants alternatifs. Le variateur de vitesse est constitué de deux étages : étage de puissance et étage de commande.

Habituellement, la régulation de vitesse d'un moteur asynchrone s'obtient en faisant varier la fréquence de son alimentation. Pour limiter les pertes, la fréquence de la tension aux bornes est modifiée de façon à maintenir un rapport U/f constant.

La tension d'alimentation alternative du réseau est convertie en tension et en courant continus à l'aide d'un redresseur. La tension et le courant continus sont filtrés, afin de lisser les crêtes, avant d'être acheminés vers un onduleur ou ils sont convertis en tension et en courant de fréquences alternatives variables. La tension de sortie est commandée de sorte que le rapport entre la tension et la fréquence reste constant afin d'éviter la sursaturation du moteur.

Une vue synoptique indiquant les principaux composants d'un variateur de vitesse (figure II.5):

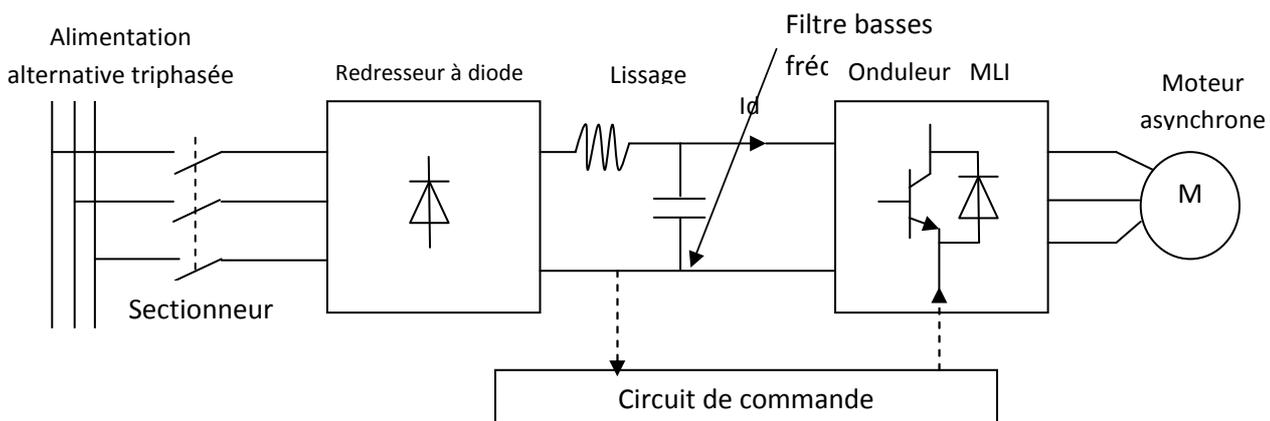


Figure II.5 : Principaux composants de variateur de vitesse.

c. La carte de commande :

Elle permet le pilotage (transmission et réception des signaux) du redresseur, le circuit intermédiaire et l'onduleur. Les parties commandées dépendent de la conception de chaque variateur de vitesse.

d. La communication entre API et le variateur de Vitesse :

Dans la communication entre l'automate programmable et le variateur de vitesse nous avons défini trois signaux de sortie de l'automate afin de piloter le démarrage et l'arrêt variateur ainsi introduire la consigne de vitesse.

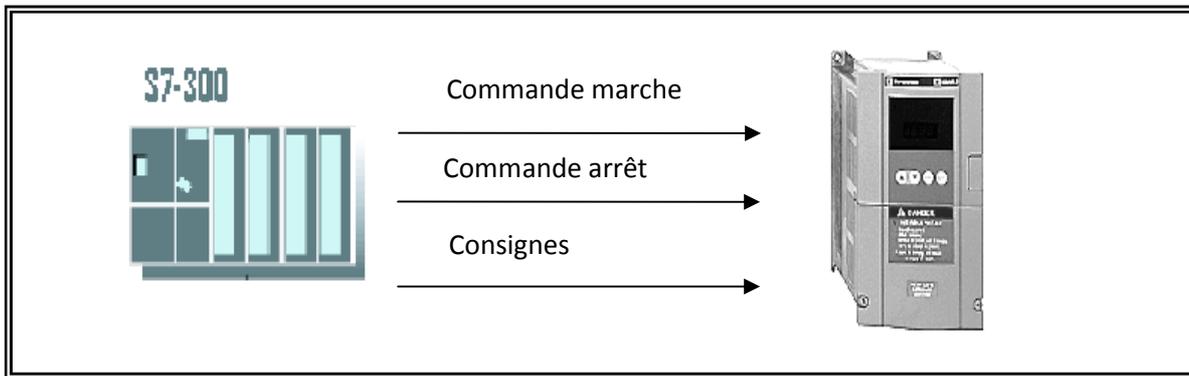


Figure II.6 : Branchement variateur de vitesse à l'API.

e. La communication entre API et le variateur de Vitesse :

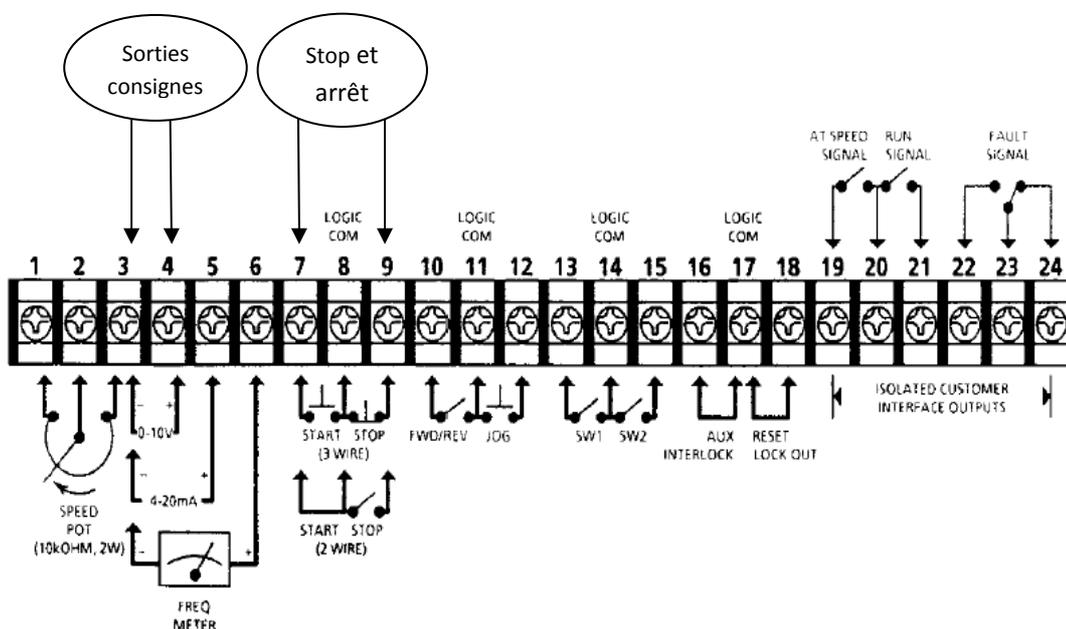


Figure II.7 : sorties de l'automate vers le variateur de vitesse.

e. Communication entre API et le codeur incrémentale :

Pour contrôler le positionnement de translation de chaîne dentée et obtenir une meilleure précision, nous avons relié le codeur à l'automate comme le montre la figure II.8 suivante.

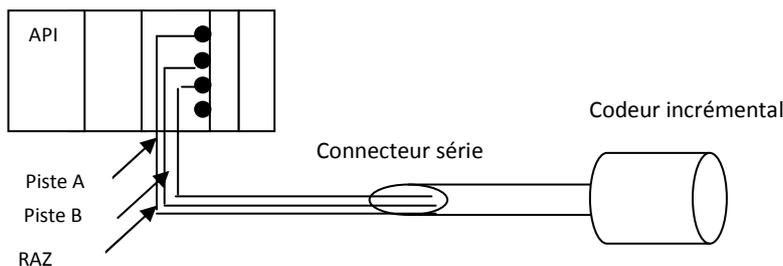


Figure II.8 : Branchement de codeur à l'API.

II.2.3 Centralisation de la commande :

Afin de rendre la commande plus aisée, nous avons décidé de centraliser la commande du poste chauffage à un seul API pour de nombreuses raisons qui sont :

- ✓ Elaboration d'un seul programme qui gère la commande ;
- ✓ Facilite d'intervention en cas de dysfonctionnement ;
- ✓ Récupération d'un automate pour un éventuel usage dans d'autres installations.

II.2.4 Amélioration de sécurité :

Lors du fonctionnement, il peut y avoir des situations délicates qui rendent en danger l'utilisateur ou la matière d'œuvre, par exemple un défaut sur le produit entraîne une mauvaise qualité. A cet effet, nous avons amélioré la machine sur le plan sécurité par intégration des barrières de sécurité, carter cisaille et arrêt d'urgence.

II.2.5 Création d'un pupitre opérateur :

Pour permettre à l'opérateur d'agir selon les exigences de la matière, nous avons mis à sa disposition un pupitre opérateur constitué d'un PC programmé par le logiciel Protool en guise de substitution de l'ancien pupitre.

II.2.6 Schéma de branchement des entrées/sorties.

Afin d'adapter la nouvelle technique de commande, nous avons élaboré un nouveau schéma de branchement des entrées et sorties remplaçant l'ancien schéma électrique, ainsi nous avons illustré l'adressage effectué dans les différents modules de l'automate [voir ANNEXE].

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons apporté quelques modifications et solutions à l'ancien système en introduisant une nouvelle technique de commande caractérisé par sa simplicité et sa facilité à mettre en œuvre, et qui présente beaucoup d'avantages de sorte à améliorer son fonctionnement et sa productivité toute en respectant les normes de sécurité.

Dans le prochain chapitre, nous passerons à la modélisation par le GRAFCET de la chaîne de thermoformage.



*Modélisation de la
chaîne de
thermoformage par
le GRAFCET*

Introduction

L'automatisation des systèmes de productions est devenue une priorité dans l'industrie vu son efficacité, rendements et sa flexibilité, ainsi l'automaticien prend soin d'automatiser les systèmes de productions en faisant recours à des outils de descriptions et de modélisations complets toutes en respectant les contraintes du cahier des charges, et parmi ces outils on distingue le GARFCET.

III.1 Définition et élément de base du langage GRAFCET :

Le GRAFCET (**G**raphe **F**onctionnel de **C**ommande **E**tape **T**ransition) est un langage de spécification qui permet la description fonctionnelle du comportement de la partie séquentielle des commandes des systèmes automatiques. Cette dernière est caractérisée par ses entrées et ses sorties logiques et son comportement. Le comportement indique la manière dont les variables de sortie dépendent des évolutions des variables d'entrée. Le GRAFCET à pour objet de spécifier ce comportement.

Le modèle GRAFCET est défini par un ensemble constitué :

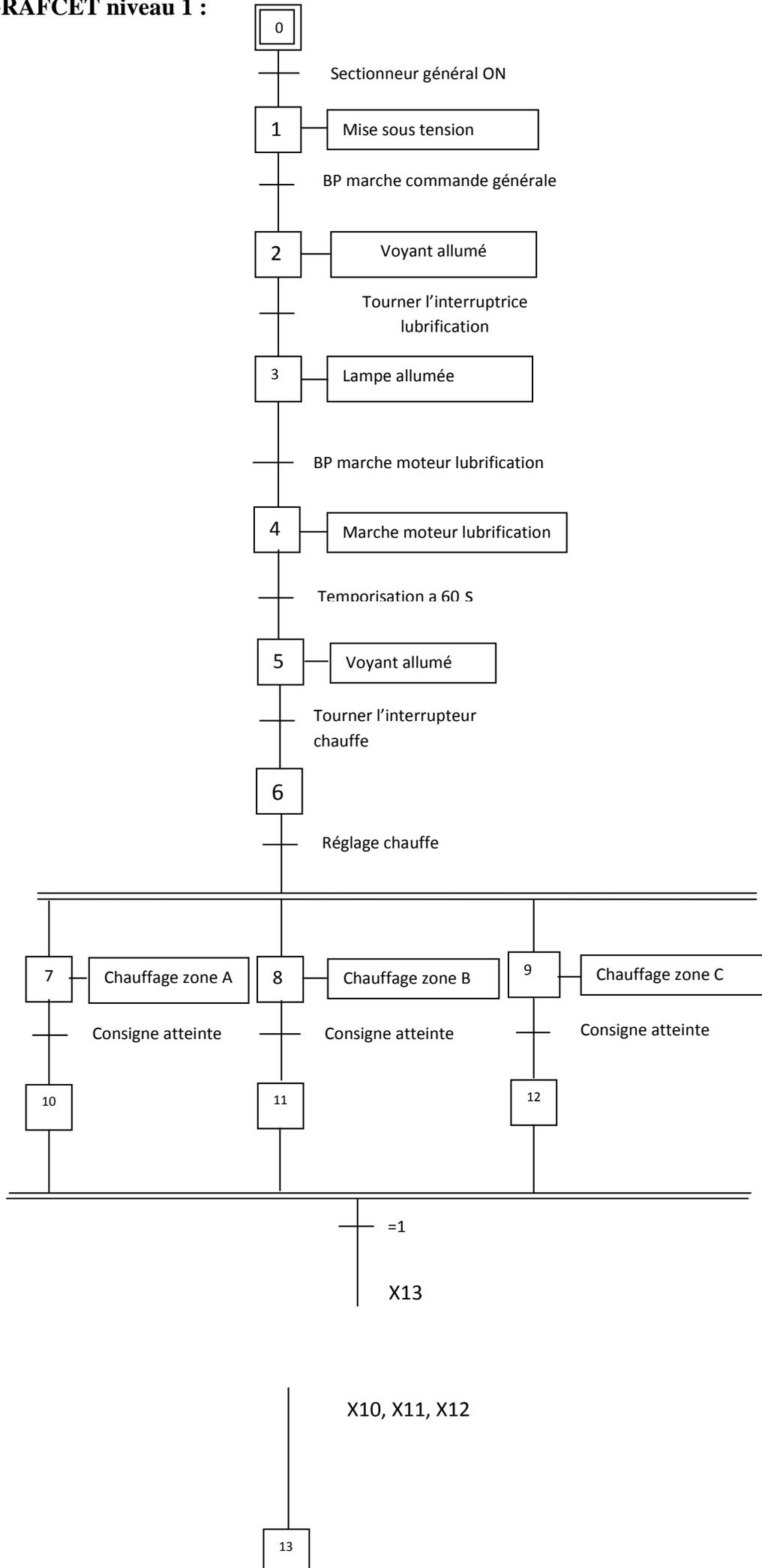
- d'éléments graphiques de base : les étapes, les transitions et les liaisons orientées, formant l'ossature graphique du Graf cet et sa structure ;
- d'une interprétation, traduisant les comportements de la partie commande vis-à-vis de ses entrées /sorties et caractérisée par les actions associées aux étapes et les réceptivités associées aux transitions.

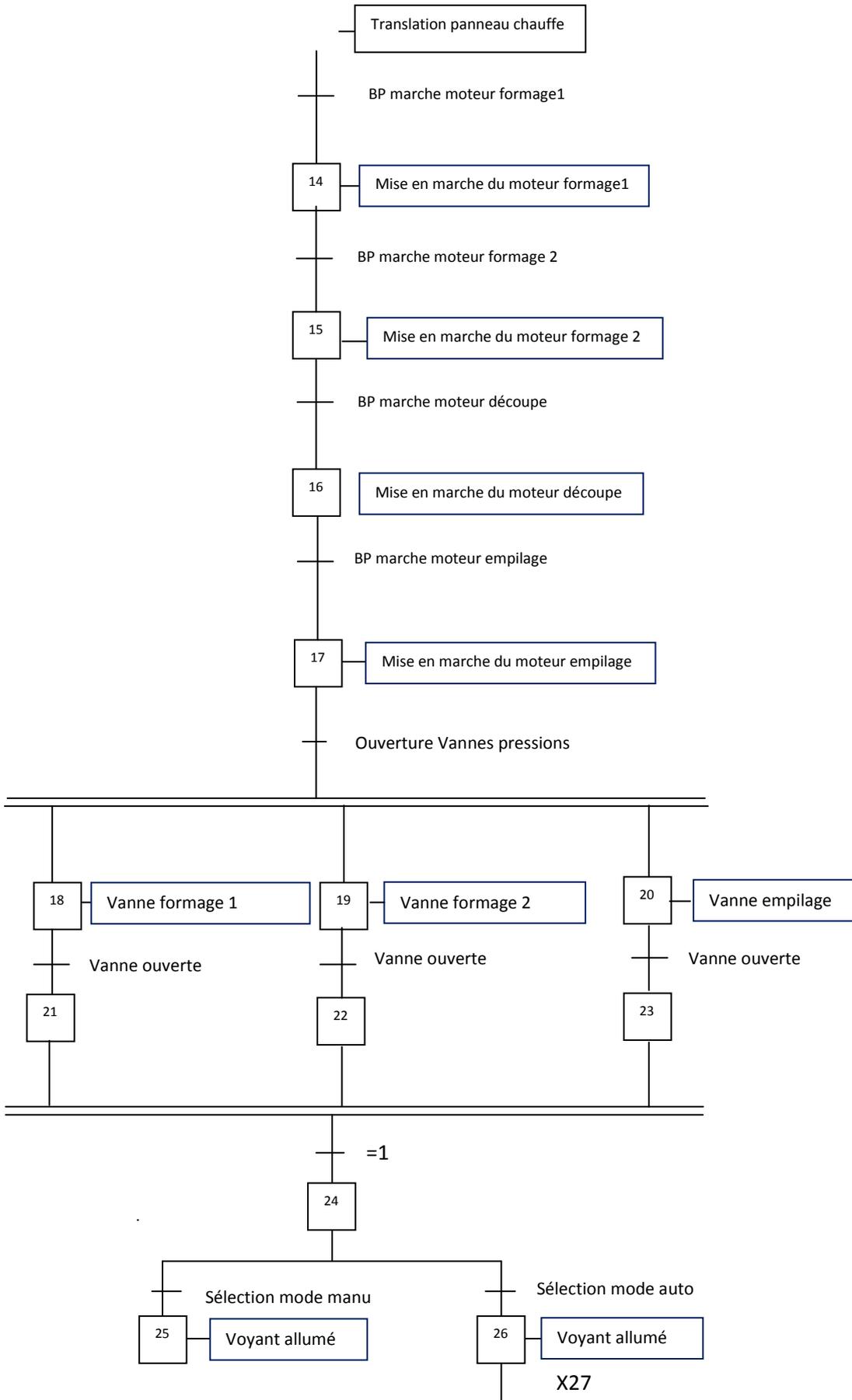
III.2 Avantages du GRAFCET :

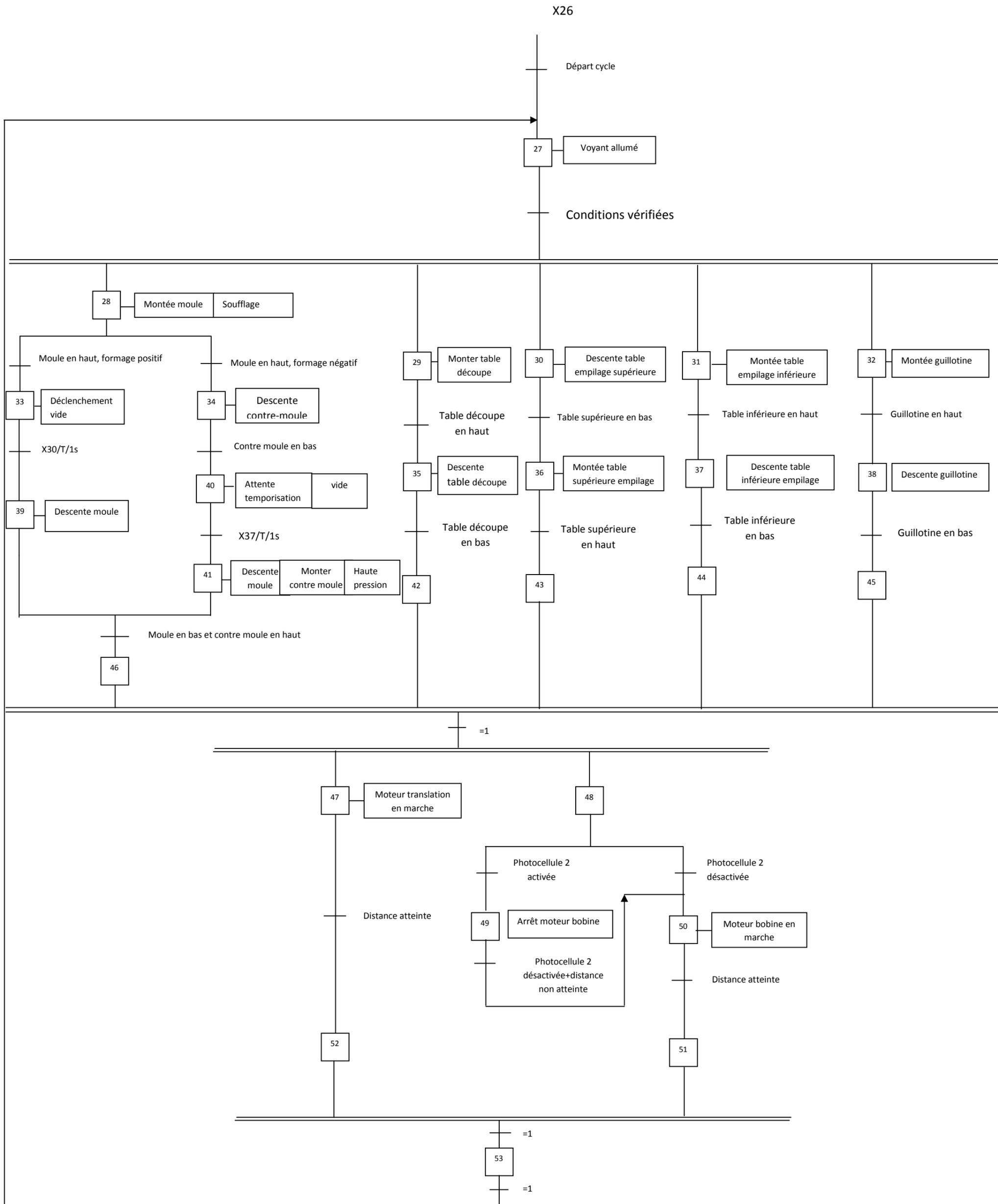
Pour l'automatisation, il existe plusieurs outils de modélisation qui facilitent la compréhension de l'évolution de la séquence de fonctionnement ainsi sa programmation par automate. A cet effet nous utiliserons le GRAFCET afin de réaliser la commande vue qu'il présente beaucoup d'avantages tels que :

- Utilisation des éléments graphiques simples ;
- Langage clair strict sans ambiguïté et complet ;
- Langage universel avec existence de documentations au choix ;
- Langage programmable sur automate ;
- Outil puissant qui prend en compte toutes les contraintes du cahier de charge.

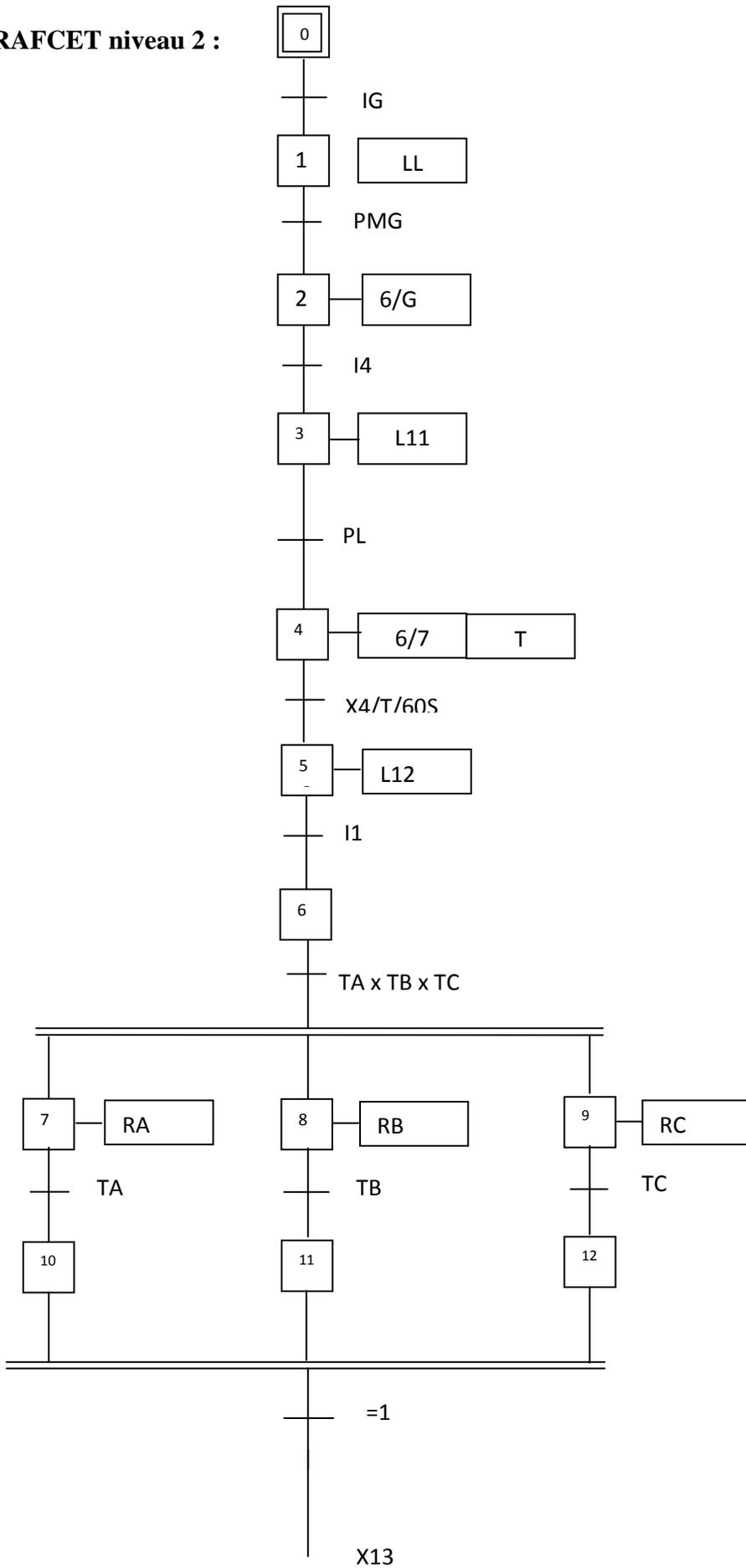
III.2 GRAFCET niveau 1 :

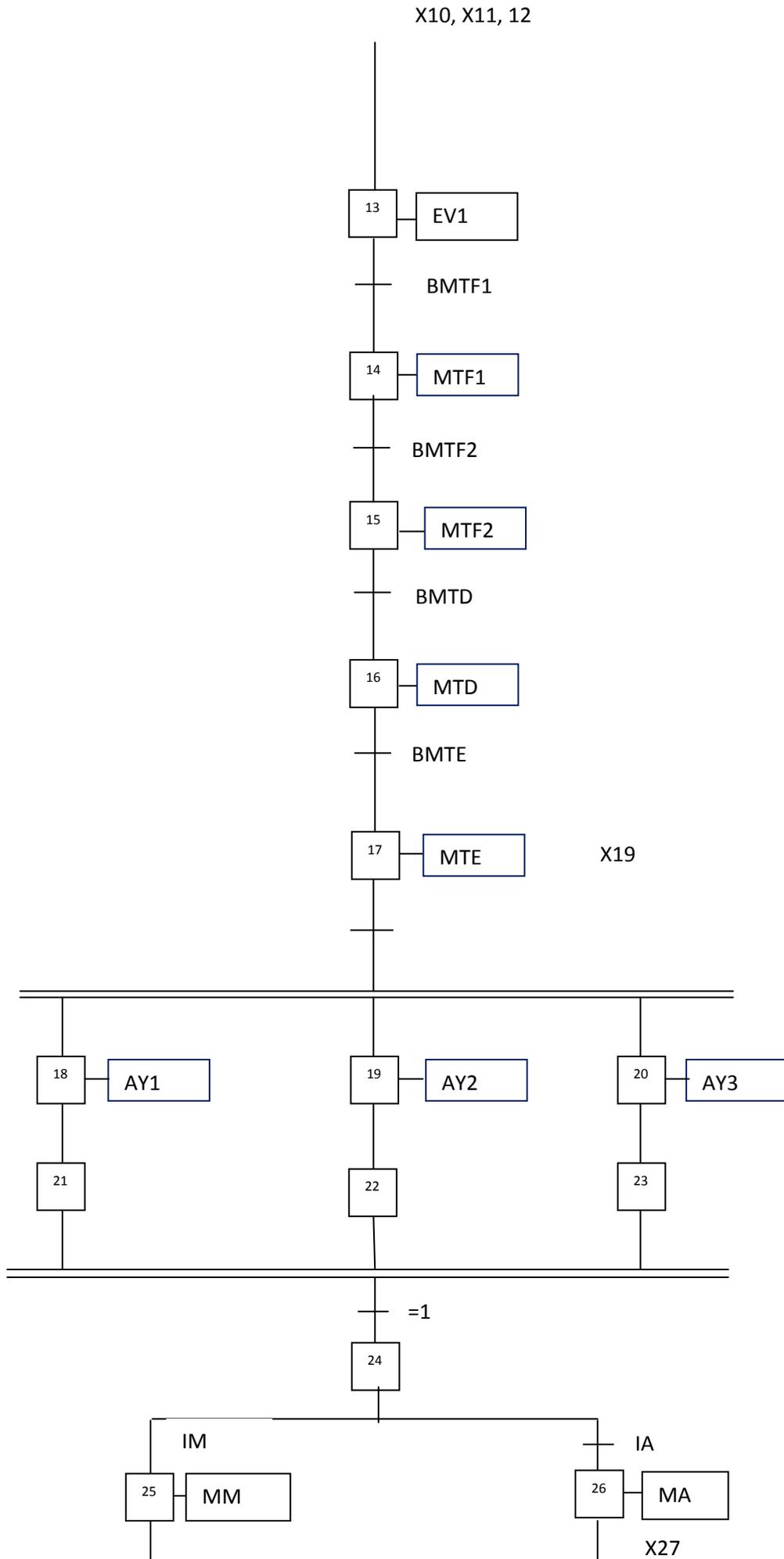


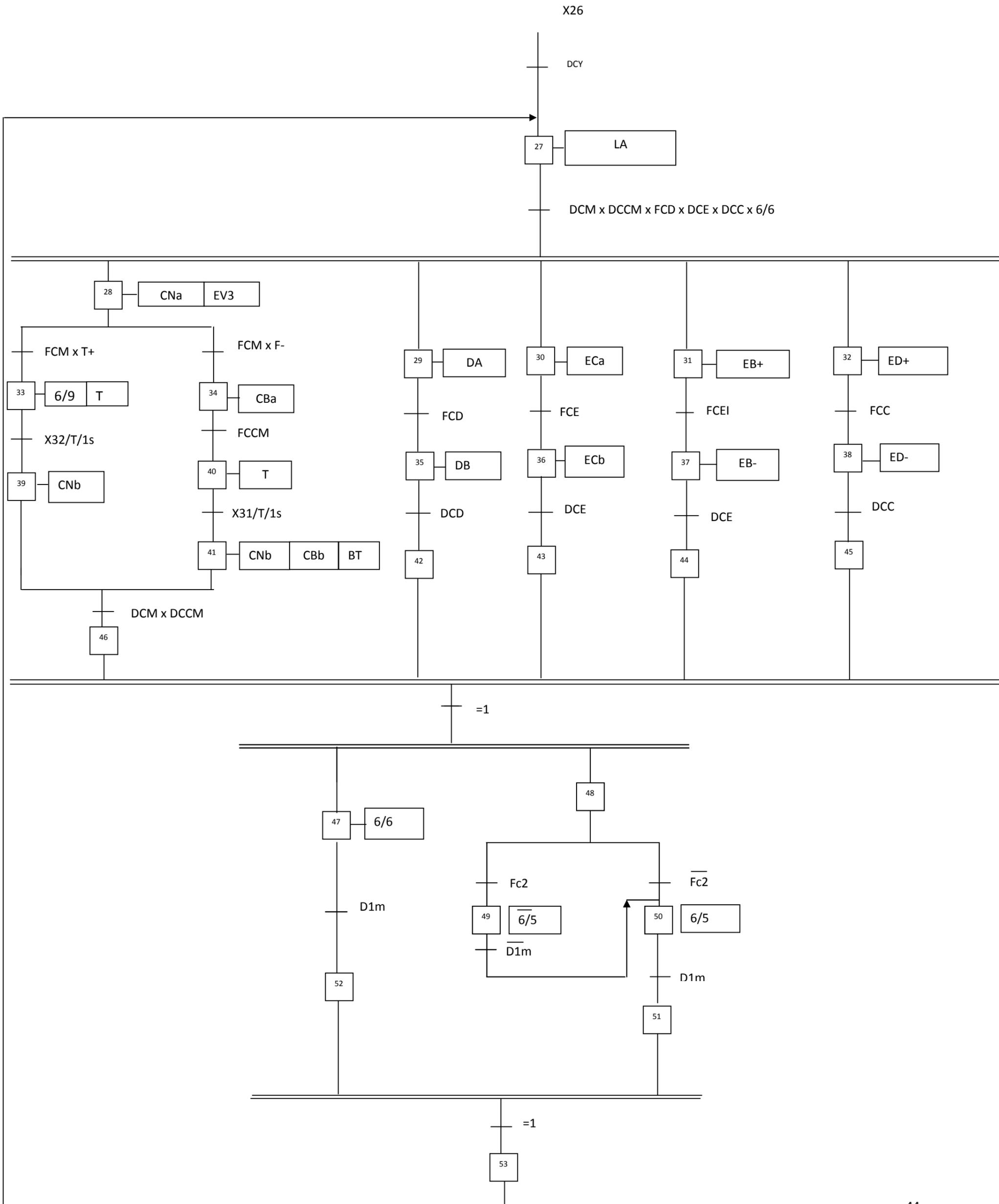




III.3 GRAFCET niveau 2 :







Conclusion :

Grâce à cet outil, nous avons pu concrétiser un modèle décrivant le cycle de fonctionnement en deux principaux niveaux afin de mieux l'explicité et l'adapté à la prochaine démarche. En conséquent la programmation qui est la dernière démarche dans la phase automatisé sera nettement plus aisée et plus facile, ce qui va faire l'objet de notre prochain chapitre.



*Automatisation et
supervision de la
chaîne de
thermoformage*

Introduction :

L'automate programmable industriel (en abrégé **API**) est un appareil électronique programmable conçu autour d'un microprocesseur, qui réalise des fonctions d'automatisme pour assurer la commande des pré-actionneurs et d'actionneurs à partir d'informations sous forme de signaux logiques (tout ou rien), analogiques ou numériques.

Les automates programmables industriels sont apparus à la fin des années soixante suite à la demande de l'industrie automobile américaine (GM) qui réclamait plus d'adaptabilité de leurs systèmes de commande et à un coût moindre que les ensembles câblés.

IV.1 Place d'un API dans le système automatisé de production :

IV.1.1 Système automatisé de production :

Un système automatisé est un ensemble d'éléments en interaction, organisés dans un but précis qui consiste à agir sur la matière d'œuvre afin de lui donner une valeur ajoutée. Le SAP est soumis à des contraintes telles que : la sécurité, l'énergie, la configuration, le réglage ... qui interviennent dans les modes de marches et d'arrêt du système.

IV.1.2 Structure d'un système automatisé (SAP) :

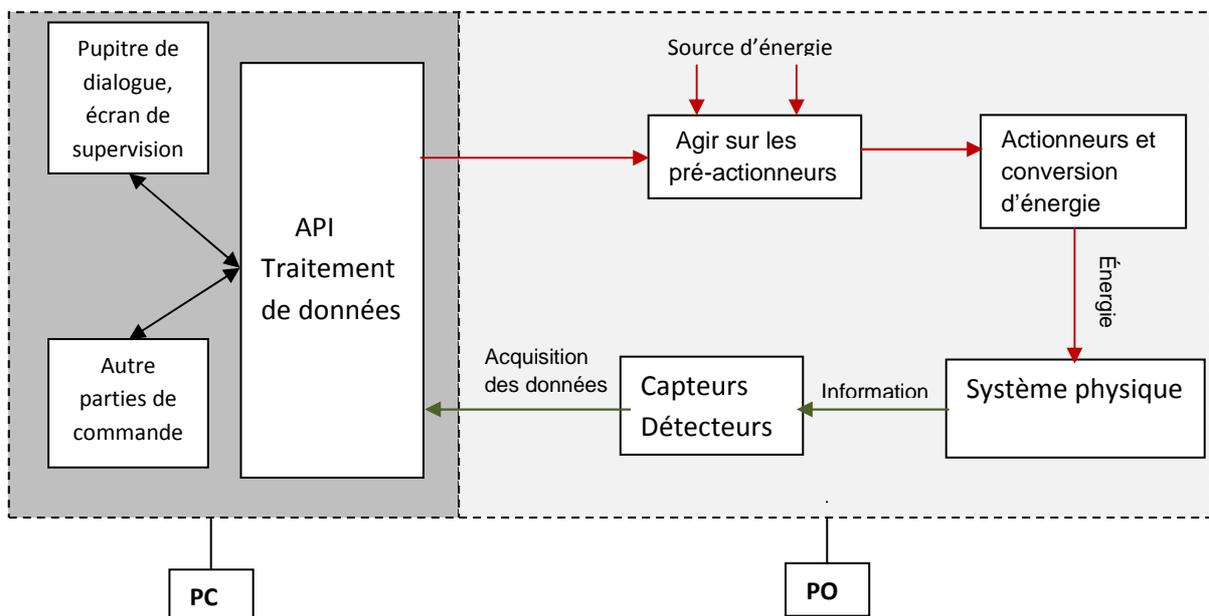


Figure IV.1 : Structure d'un système automatisé.

- Echange d'énergie
- Echange d'informations

IV.2 Architecture d'un API :

La structure de base d'un automate programmable comprend plusieurs ensembles fonctionnels (figure IV.2) :

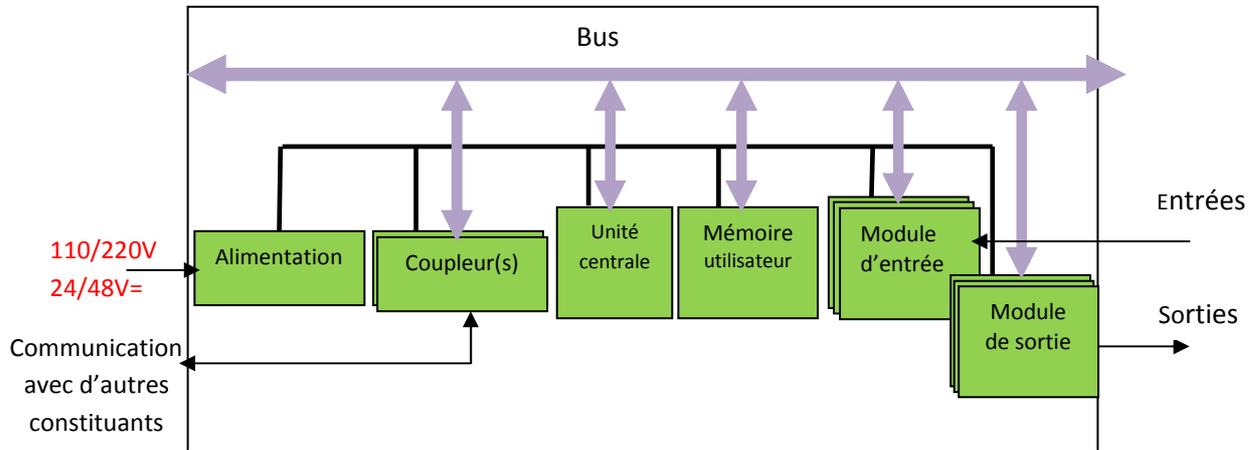


Figure IV.2 : Structure d'un API.

IV.2.1 Module d'alimentation :

Les tensions nécessaires au bon fonctionnement des composants sont fournies par une alimentation qui peut comporter des dispositifs de surveillance de la qualité des tensions pour garantir un niveau de sûreté requis. Ces modules sont alimentés par une tension alternative de 110 V ou bien de 220 V et fournis en sortie de tensions continues de 24 ou 48V.

IV.2.2 Unité centrale (CPU) :

Elle réalise tous les traitements logiques et arithmétiques. Elle intègre un logiciel « moniteur » (système d'exploitation) gérant les fonctionnalités de l'automate programmable. Elle est connectée aux autres éléments (mémoires et interfaces d'E/S) par des liaisons appelées Bus qui ont pour but de véhiculer l'information sous forme binaire.

IV.2.3 Mémoires utilisateur :

C'est l'élément qui stock le programme de l'application et les données nécessaires au fonctionnement de l'automate. Elle permet de recevoir des informations issues des capteurs d'entrées, de même quelle permet de recevoir les informations générées par le processeur pour commander les sorties (valeur des compteurs, durées de temporisations...).

Durant la phase d'étude et de mise au point du programme, les mémoires utilisées sont généralement des mémoires RAM supportant facilement les modifications. Afin de ne pas perdre les contenus en cas de coupure d'alimentation, un dispositif de sauvegarde par batterie est nécessaire.

En phase d'exploitation, le programme définitif est stocké dans des mémoires reprogrammables(EEPROM) qui permettent néanmoins des modifications.

IV.2.4 Modules d'entrées/sorties :

Ils constituent les interfaces vers les capteurs et les prés- actionneurs de la machine. Chaque module est doté d'un connecteur de bus qui doit être enfiché avant le montage du module pour permettant d'établir la liaison avec le processeur.

IV.2.4.1 Modules d'entrées :

Nous distinguons deux types de modules d'entrées :

➤ Les modules d'entrées TOR :

Ils reçoivent des informations logiques à partir des capteurs tels que :

- Bouton poussoir.
- Fin de course mécanique.
- Capteur de proximité inductif, capacitif ou photoélectrique.

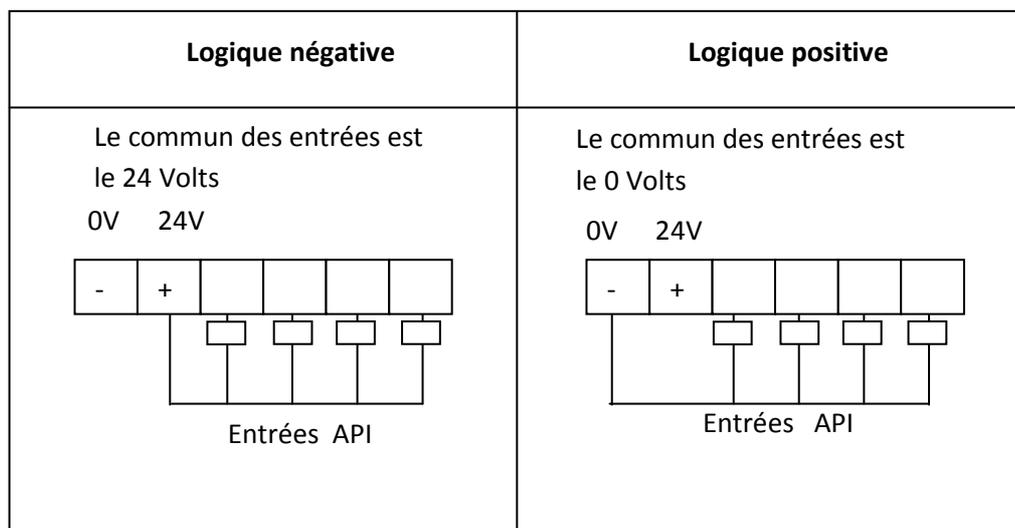


Figure IV.3 : Différentes logiques de branchement à l'API.

➤ **Les modules d'entrées analogiques:**

Ils reçoivent des informations sous forme de grandeurs analogiques ou physique (température) qui seront convertis en valeurs numérique par des opérations de conversion qui sont inclus dans ces modules.

IV.2.4.2 Modules de sorties :

Les modules de sorties transmettent les informations aux pré-actionneurs et aux éléments de signalisations du pupitre opérateur (voyant), ils sont équipés de connecteurs de raccordement pour faciliter leur branchement. On distingue deux types :

➤ **Les modules de sorties TOR :**

Ils transmettent l'information à partir de l'automate aux pré-actionneurs tels que :

- électrovannes
- voyants
- relais
- contacteurs

➤ **Les modules de sorties analogiques :**

Ils transmettent des informations issues de l'automate vers la partie opérative sous forme de signaux analogique ou physique.

IV.2.5 BUS : On distingue deux types :

- Les BUS d'entrées/sorties qui relient les modules d'entrées et les modules de sorties a l'unité centrale.
- Les BUS système interne à l'unité centrale, ils lui permettent d'accéder aux différentes ressources

IV.2.6 Coupleurs :

Les coupleurs sont des interfaces sous forme de carte électronique qui ont pour objet d'assurer la communication entre les d'entées/sorties et la CPU. La communication et l'échange d'information entre la CPU et les modules d'entrées/sorties s'effectue a travers des BUS internes (liaison parallèle), entre la CPU et les périphériques (console, écran de supervision...) s'effectue a travers des BUS externe (liaison série ou parallèle).

IV.3 Cycle de fonctionnement de l'unité centrale d'API :

La mise en mémoire étant réalisée (implantation du programme et des données), la phase d'exécution est alors possible. Elle est généralement obtenue après un passage en mode « RUN ». La phase d'arrêt ou de non exécution du programme correspond au mode « STOP ». Le traitement du programme est cyclique, c'est-à-dire qu'il est relancé à la fin de chaque exécution. Le processeur exécute les instructions l'une après l'autre, dans l'ordre de la liste. Ce cycle est organisé en trois tâches principales (figure IV.4) :

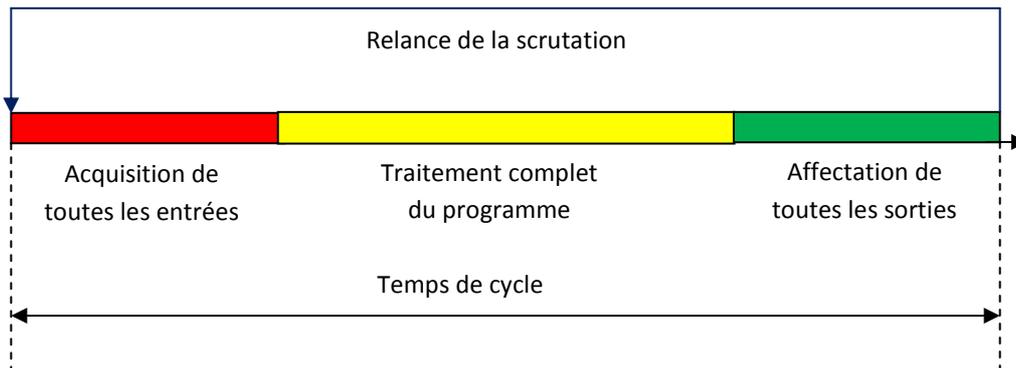


Figure IV.4 : Cycle de fonctionnement d'une unité centrale API (traitement mono tâche).

IV.3.1 Lecture des entrées :

L'acquisition des données est effectuée par la lecture de l'état logique des entrées physiques (capteurs, détecteur, boutons poussoirs...) dans les modules d'entrées, puis transfère l'image obtenue dans la mémoire de données.

IV.3.2 Traitement de programme :

Le processeur exécute les instructions de programme utilisateur contenues dans la mémoire programme, les unes après les autres jusqu'à la dernière, ceci en se servant de l'image de l'état des entrées.

IV.3.3 Affectation des sorties :

Affectation des sorties quand toutes les commandes sont définies (écriture des bits de sortie, émission des ordres ...). La mise à jour est réalisée par transfert des états logiques de la mémoire des données vers les sorties physique de l'automate (bobines des contacteurs, électrovannes, résistances chauffantes...).

Remarque : Le temps de scrutation est le temps mis par l'automate pour traiter la même partie du programme. Ce temps est de l'ordre de milliseconde pour les applications standards.

IV.4 Choix d'un automate :

D'après le cahier de charge établi, l'automate le mieux adapté est choisi de façon a répondre à certains critères.

- Les nombres et la nature d'entrées/sorties.
- Le type du processeur et sa capacité de traitement.
- La nature de traitement souhaité (temporisation, comptage, régulation...etc.)
- La communication avec d'autres automates ;
- Le dialogue (la console programmation, pupitre, écran de supervision)
- La fiabilité et la durée de la garantie

Il est important de connaître le nombre d'entrées et sorties du système. Dans notre cas, il s'agit de la chaîne de thermoformage afin que l'automate soit mieux adapté pour les entrées tous ce qui est capteurs, interrupteurs, thermiques...etc., pour les sorties tout ce qui est actionneurs (moteurs, vérins,...etc). Nous avons dans la chaîne de thermoformage :

27 entrée dont 3 entrées sont de type analogique pour les thermocouples du poste chauffage et le reste son t de type TOR et 47 sorties TOR dont une sortie de type analogique, vu le nombre d'entrées/sorties et aussi vu les performances dont on a besoin pour la chaine de thermoformage, nous avons opté pour l'automate s7-300.

IV.5 Présentation de l'automate S7-300 :

L'automate S7-300 appartient à la famille SIMATIC, qui permet la commande des machines et divers installations grâce a son système d'automatisation standard, elle offre une gamme complète de produit et moyens pour la résolution des taches technologiques comme le comptage, temporisation, mesure, régulation, mesure...etc. Le SIMATIC S7-300 offre des performances très élevées dans l'automatisation des machines et d'installations industriels, il dispose de nombreuses fonctions intégrés, on les trouve sous deux forme compacte et modulaire avec un très vaste choix de modules.

IV.5.1 Caractéristiques de la S7-300 :

- Gamme diversifiée de CPU ;
- Gamme complète de modules ;
- Possibilité d'extension jusqu'à 32 modules ;
- Mini automate pour les applications d'entrées/sorties de moyenne gamme ;
- Choix de montage aux différents emplacements ;
- Configuration et programmation à l'aide du logiciel STEP 7 ;
- Logiciel exploitable en temps réel.

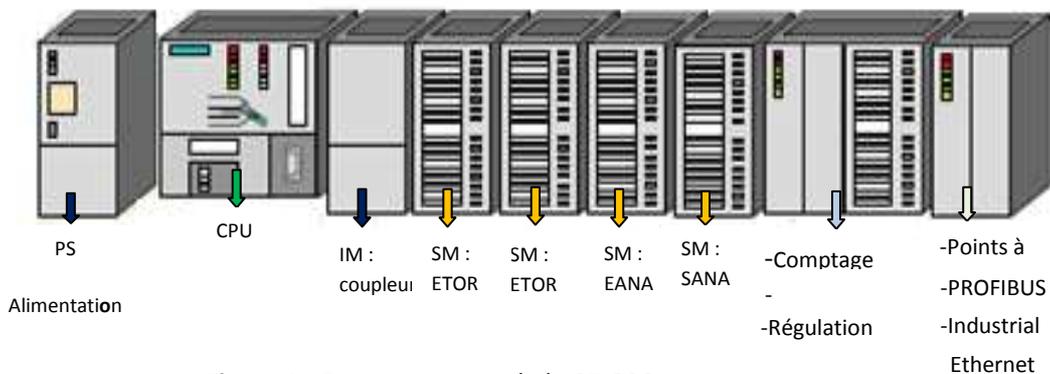


Figure IV.5 : composants de la S7-300

IV.5.2 Les composants de la S7-300 :

La S7-300 dispose d'une large gamme de modules. Ces modules peuvent être choisis ou combinés selon la structure appropriée à notre solution d'automatisation.

IV.6.3 Configuration de l'API S7-CPU312:

La configuration d'un API est l'ensemble de dispositifs internes (processeur, entrée/sortie) et externes (périphérique) qui le complète pour former un système apte à remplir des missions qui lui sont assignées.

Après avoir réparé et étudié la chaîne pour l'automatisation, nous avons choisi la configuration matérielle suivante :

PS 307 2A ;

CPU 312 ;

Module d'entrées : 32bits DI32xDC 24V ;

Module de sorties : 32bits DO32xDC24V/0.5A ;

Module de sorties : 16bits DO32xDC24V/0.5A ;

Module d'entrées analogiques : AI8x12bits ;

Module de sortie analogique : AO2x12bits.

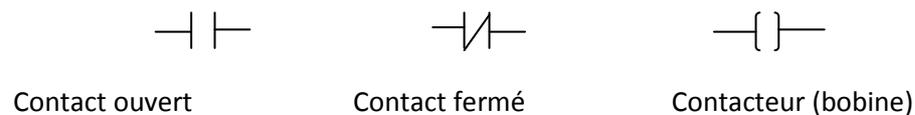
IV.6 Logiciel de programmation STEP 7 :

III.6.1 Langage de programmation de la S7-300 :

La famille SIMATIC dispose de plusieurs langages de programmation pour la S7-300. La configuration et la programmation de la S7-300 sont réalisées par le logiciel STEP7 dont nous distinguons 3 langages :

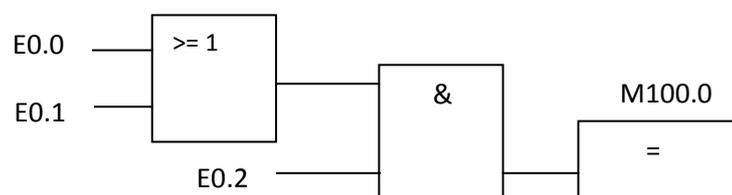
➤ Langage contact (CONT) :

Le langage de programmation en mode CONT, très courant et facile à mettre en œuvre vu sa nette ressemblance avec les schémas à contacts électrique



➤ Logigramme (LOG) :

Le logigramme est une représentation graphique est une représentation graphique qui fait appel à des symboles de la logique de l'algèbre de bool, les fonctions de ce langage sont représentées par des symboles avec indicateur de fonction. Les entrées sont disposées à gauche et les entrées à droite que nous allons illustrer par l'exemple suivant :



➤ **Liste d'instruction (LIST) :**

Le langage List est caractérisé par sa forme textuelle, aussi le List est le langage le plus proche du langage machine ainsi ce langage demande un plus d'expérience un exemple illustre la structure du programme LIST.

```
U (  
  0   E   0.0.  
  0   E   0.1  
  )  
  
UN   E   0.2  
  
=    M   100.0
```

IV.6.2 Traitement structurel du programme :

On répartit le programme d'un ensemble volumineux de tâches de commande en blocs de programmes petits, clairs, associés à des fonctions. Cela présente l'avantage de pouvoir tester les blocs de manière individuelle et de les faire fonctionner ensemble par une fonction globale. Les blocs de programme doivent être appelés par des commandes d'appel de blocs (Call, UC, CC).

IV.6.3 Blocs utilisateurs sous STEP 7 :

Le logiciel STEP 7 offre pour la programmation de cycle, les blocs utilisateur suivants :

➤ **OB (Bloc Organisation) :**

Un OB est appelé cycliquement par le système d'exploitation, qui réalise l'interface entre le programme utilisateur et le système d'exploitation. Le dispositif de commande est informé dans cet OB par des commandes d'appel de blocs, de quels blocs de programme il doit traiter.

➤ **FB (Bloc de fonction) :**

Le FB est à disposition via un espace mémoire correspondant. Si un FB est appelé, il lui est attribué un bloc de données (DB). On peut accéder aux données de cette instance DB par des appels depuis le FB. Un FB peut être attribué à différents DB. D'autres FB et d'autres FC peuvent être appelés dans un bloc de fonction par des commandes d'appel de blocs.

➤ **FC (Fonction) :**

Une FC ne possède pas un espace mémoire attribué. Les données locales d'une fonction sont perdues après le traitement de la fonction. D'autres FB et FC peuvent être appelés dans une fonction par des commandes d'appel de blocs.

➤ **DB (Bloc de données) :**

Les DB sont employés afin de tenir à disposition de l'espace mémoire pour les variables de données. Il y a deux catégories de blocs de données. Les DB globaux où tous les OB, FB et FC peuvent lire des données enregistrées et écrire eux-mêmes des données dans le DB. Les instances DB sont attribuées à un FB défini.

V.7 Programmation du cycle de fonctionnement :

IV.7.1 Appel des blocs programme :

La structure de programme est illustrée dans l'organigramme ci-dessous :

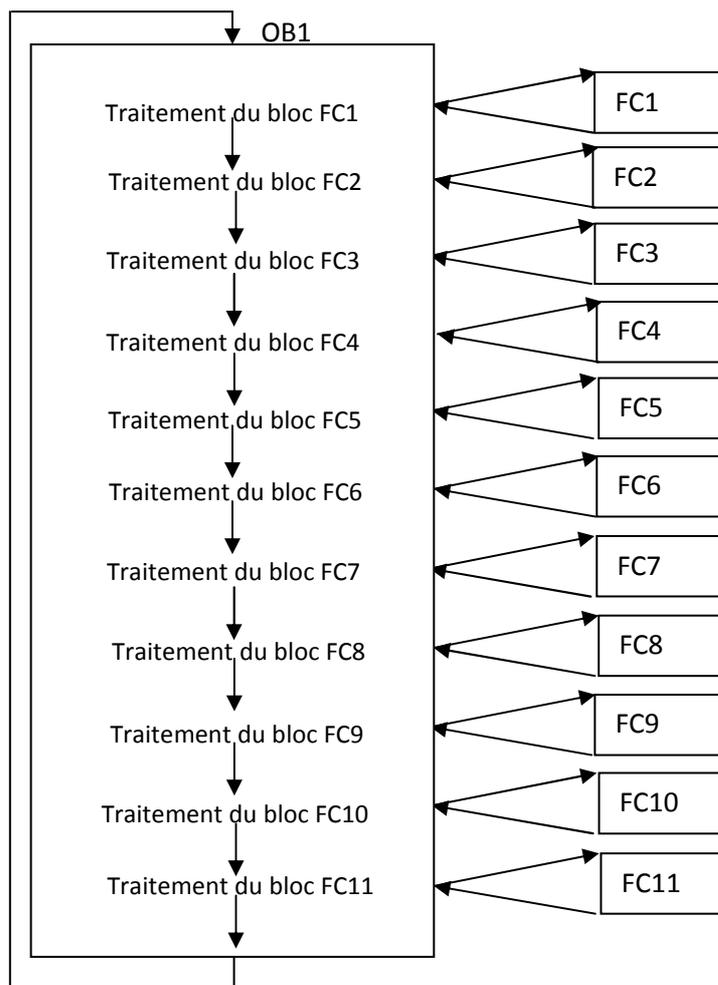


Figure IV.6 : Exécution du programme dans le bloc organisationnel(OB1).

Le programme est traité cycliquement dans le bloc organisationnel OB1, qui fait appel aux blocs fonctions FC et blocs de données DB

- ✓ FC1 : Fonction de sécurité et conditions de démarrage ;
- ✓ FC2 : Fonction contrôle chauffe ;
- ✓ FC3 : Fonction démarrage pompes hydrauliques ;
- ✓ FC4 : Fonction formage ;
- ✓ FC5 : Découpe ;
- ✓ FC6 : Empilage et guillotine ;
- ✓ FC7 : Traitement de programme de translation ;
- ✓ FC8 : Moteur bobine ;
- ✓ FC10 : Fonction manuelle ;
- ✓ FC11 : Fonctions de sorties ;
- ✓ DB1 : Consignes températures

IV.7.2 Création du projet STEP7 :

Après avoir lancé le logiciel, nous avons procédé à la création du projet sous le nom « programme formage » qui est illustré dans la figure IV.7.

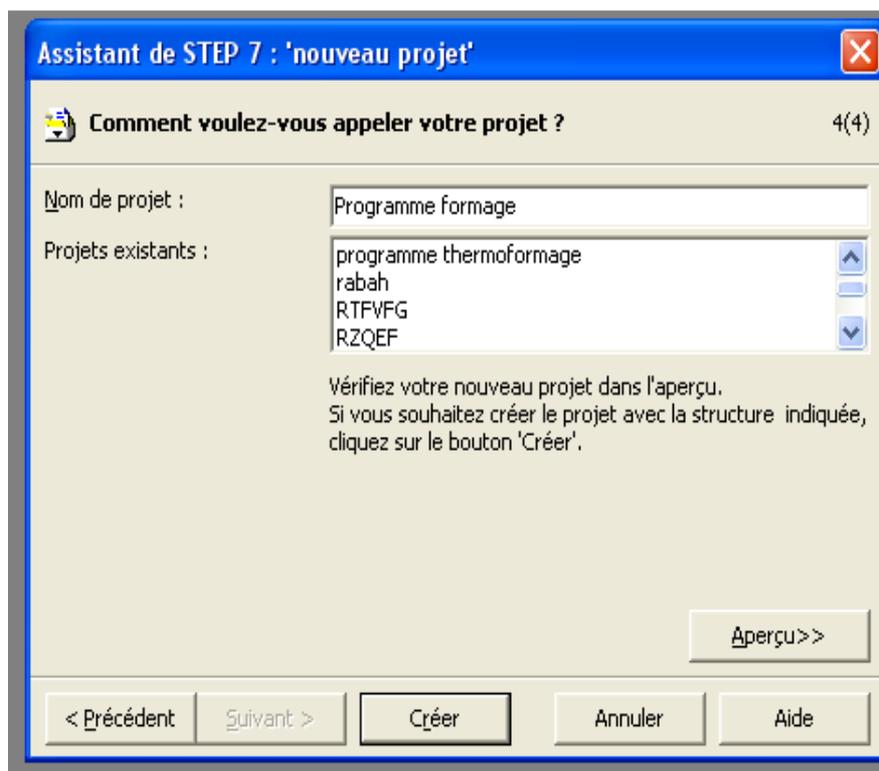


Figure IV.7 : Assistant de STEP7 pour la création projet

IV.7.3 Configuration des paramètres de la machine :

Le choix de la configuration matérielle que nous avons mentionné précédemment est illustré dans la figure IV.8

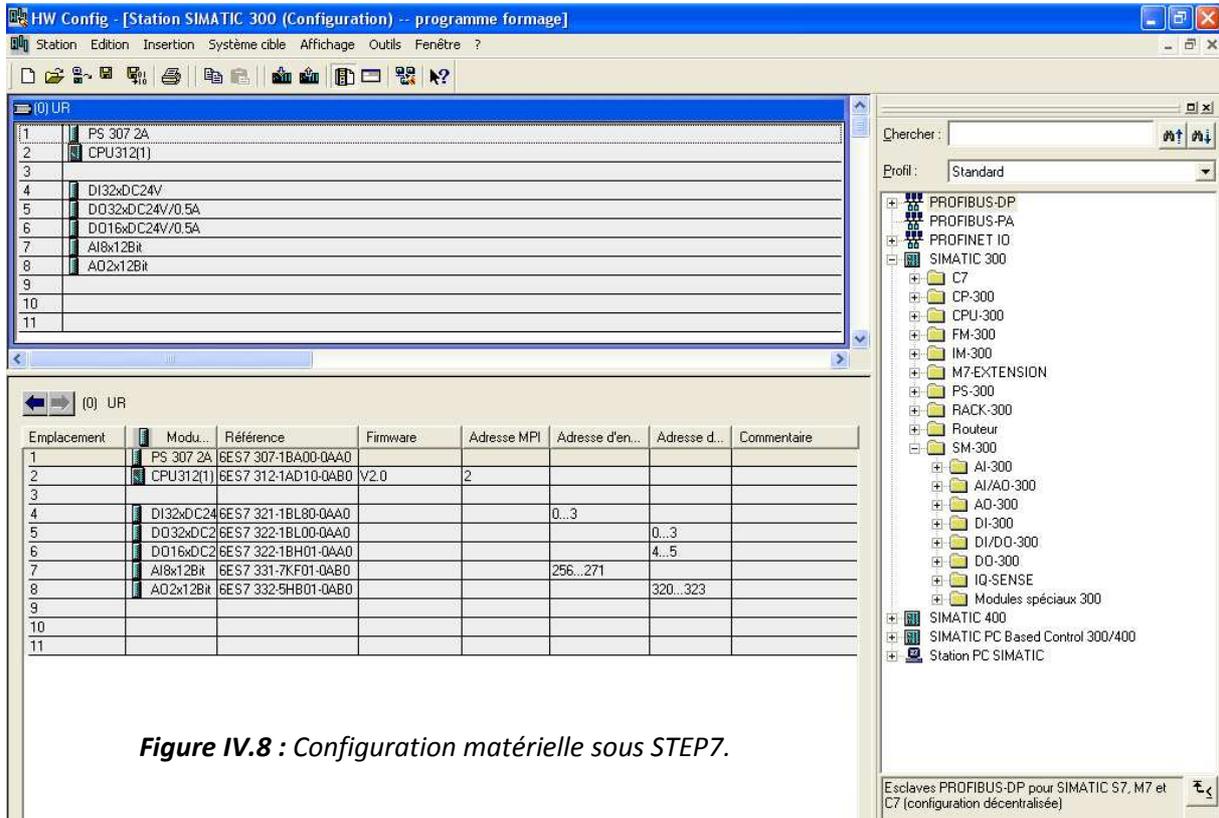


Figure IV.8 : Configuration matérielle sous STEP7.

IV.7.4 Structure du programme :

La structure du programme est illustrée dans la figure IV.9

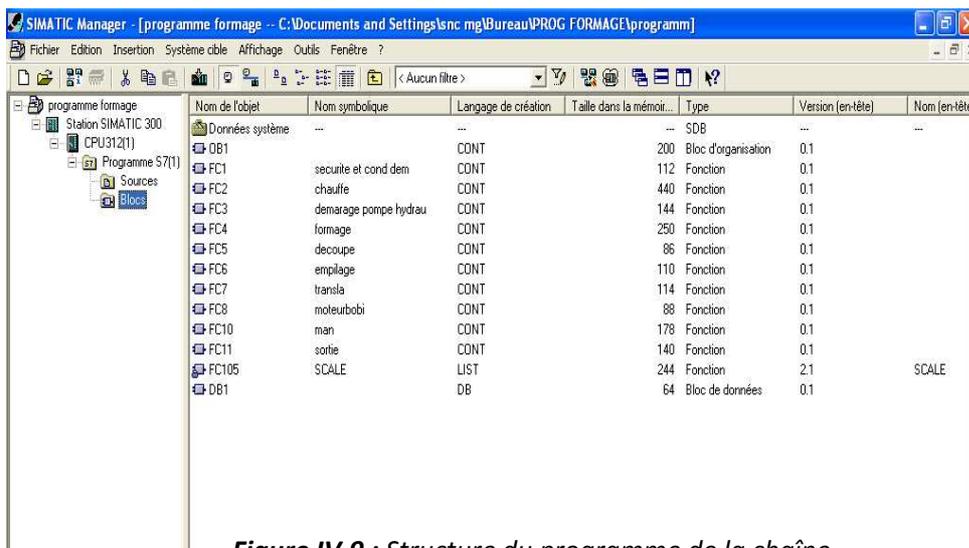


Figure IV.9 : Structure du programme de la chaîne

IV.8 Simulation du programme à l'aide du logiciel PL7SIM :

Le PL7SIM est une partie intégrante du logiciel STEP 7, il nous permet de visualiser le déroulement et l'évolution du programme en temps réel, ainsi permet de faire des interventions et des modifications afin de corriger ou bien d'optimiser le programme.

IV.8.1 Exemple de simulation du programme poste formage :

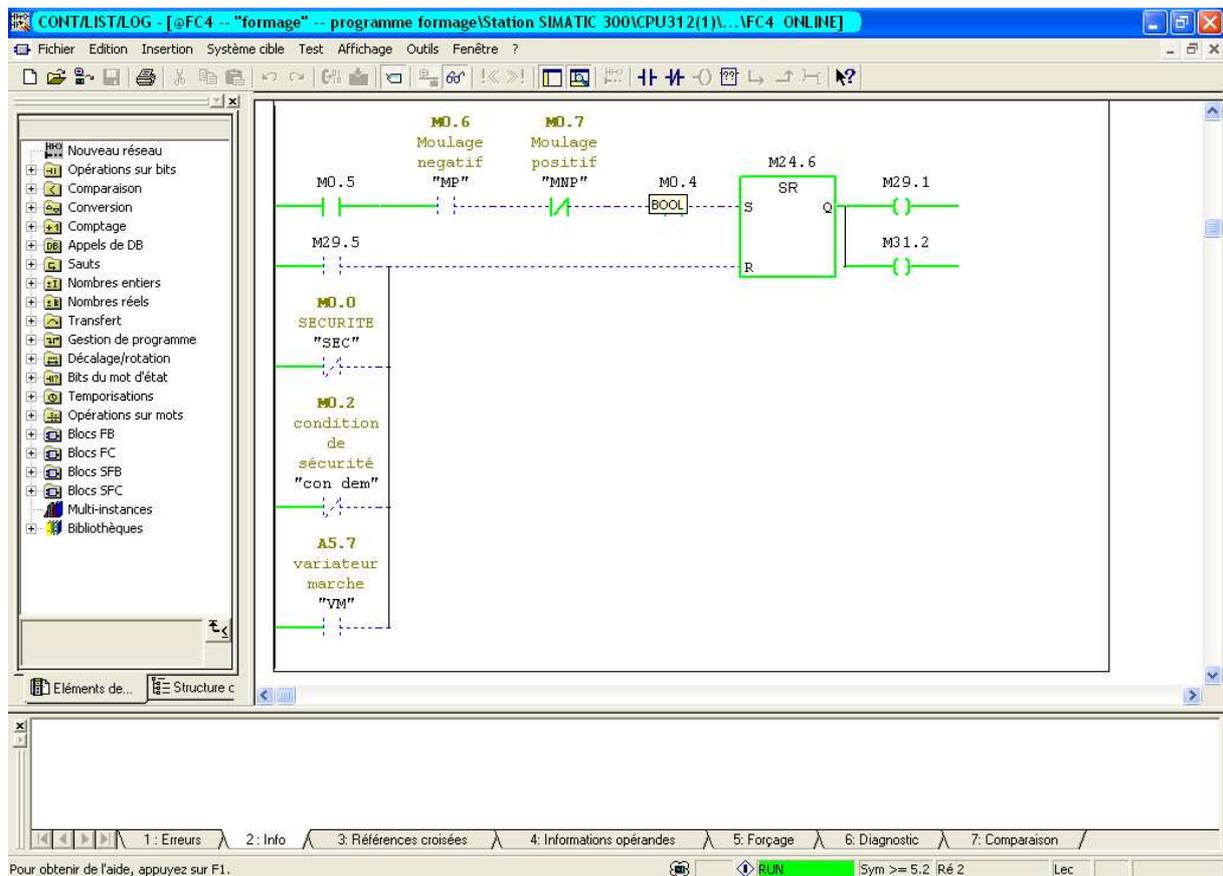


Figure IV.10 : Exemple de simulation sous PL7SIM

IV.9 Supervision à l'aide du SIMATIC Protocol :

Jusqu'à présent, la conduite et la supervision des petites applications était réalisées à l'aide d'afficheurs de texte simples. Avec le SIMATIC, on dispose aujourd'hui de pupitres graphiques économiques d'entrée de gamme.

SIMATIC Protool offre à travers ces pupitres de commandes à l'opérateur, pour les applications au niveau machine, un considérable gain d'efficacité dans la configuration des paramètres qui contribue à améliorer la productivité. Par exemple adapter de manière flexible, rapide et rentable les fonctions de production.

IV.9.1 Création du pupitre opérateur :

Notre travail consiste en la mise en place d'une communication homme –machine (pupitre opérateur sur PC) aisée donnant la possibilité à l'opérateur de paramétrer la machine. La visualisation de l'état de fonctionnement de l'installation et des défauts est reportée sur un pupitre créé sur un PC. Grâce notamment à l'outil de configuration du logiciel d'ingénierie de la famille éprouvée SIMATIC Protool. On dispose par exemple de champs de saisie et visualisation, boutons, voyants lumineux, textes fixes de taille variable, graphiques, messages, courbes, recettes, listes de textes et graphiques et bien d'autres fonctions. L'accès à la base de données de STEP7 évite la saisie multiple des mêmes données ainsi que les erreurs de saisie.

Pour cela, nous avons créé la table des variables dans PROTOOL, afin d'obtenir l'état de la machine en temps réel, ainsi le pupitre nous permet :

- La visualisation des valeurs du processus.
- Fournir une aide à la maintenance.
- Superviser le déroulement de la simulation.

Le pupitre installé pourra s'adapter à l'évolution future de l'installation car il est doté de fonctions supplémentaires telles que :

- Les commandes (fonction bouton poussoir...).
- La saisie de consigne.
- Le forçage des variables.

IV.9.2 Présentation des vues de pupitre opérateur :

Pour faciliter la tâche à l'opérateur, nous avons mis à sa disposition cinq pages de visualisations et de paramétrages.

Ces vues vont permettre à l'opérateur de saisir les paramètres de la simulation et de surveiller ainsi évaluer en temps réel les performances de la chaîne de thermoformage.

IV.9.2.1 Pupitre opérateur principale :

La figure ci-dessous, présente comme partie essentielle d'accueil associée au processus de la machine pour donner à l'opérateur la signalisation des mouvements de la thermoformeuse et de suivre l'évolution du cycle automatique.

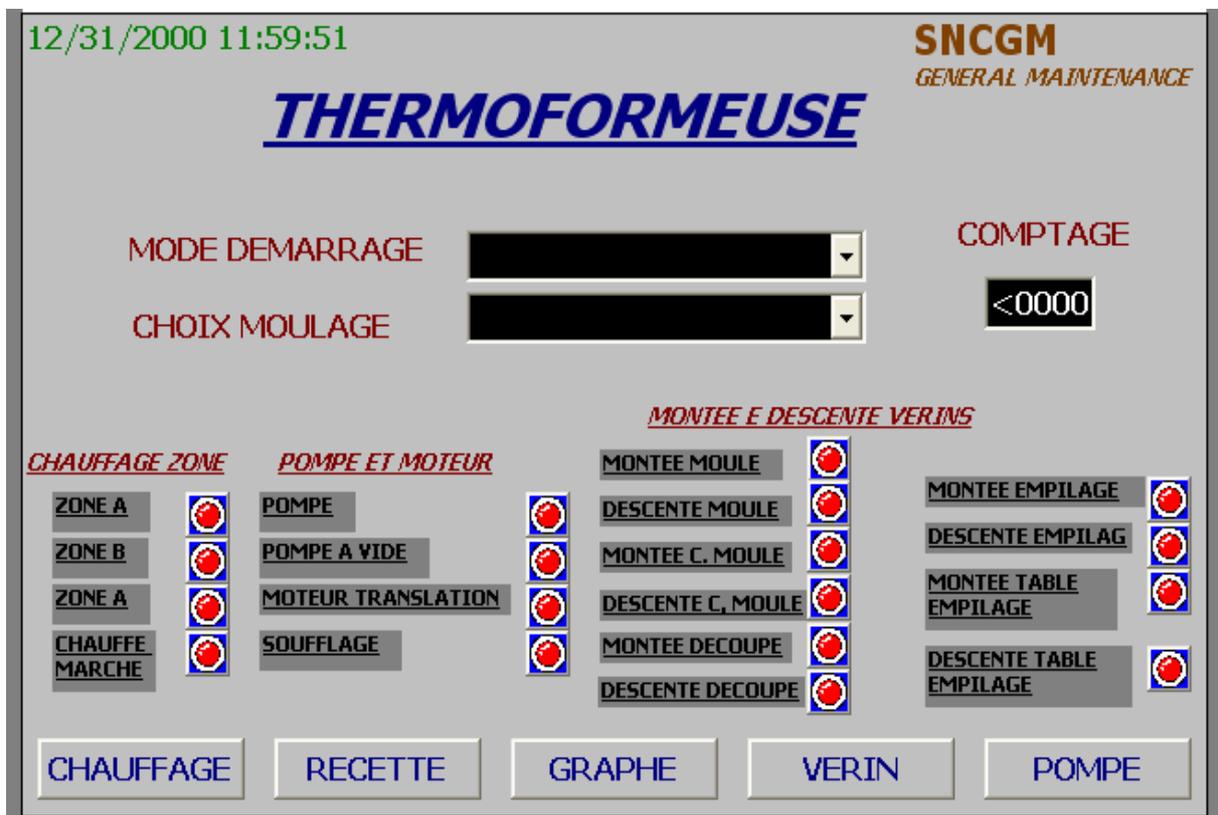


Figure V.11 : Vue pupitre opérateur principale

Afin de suivre l'évolution du cycle, des fonctions supplémentaires ont été mise à sa disposition telles que :

- Champs pour la visualisation :

- Signalisation des zones chauffage.
- Choix de modes de démarrage (manuel, auto, stop).
- Choix de type de moulage (avec ou sans contre moule).
- Signalisation de toutes les opérations de la chaîne (formage, découpe, empilage, guillotine...).
- Signalisation pompe à vide, moteur translation, moteur bobine.
- Signalisation soufflage.
- Comptage.

IV.9.2.2 Pupitre opérateur chauffe :

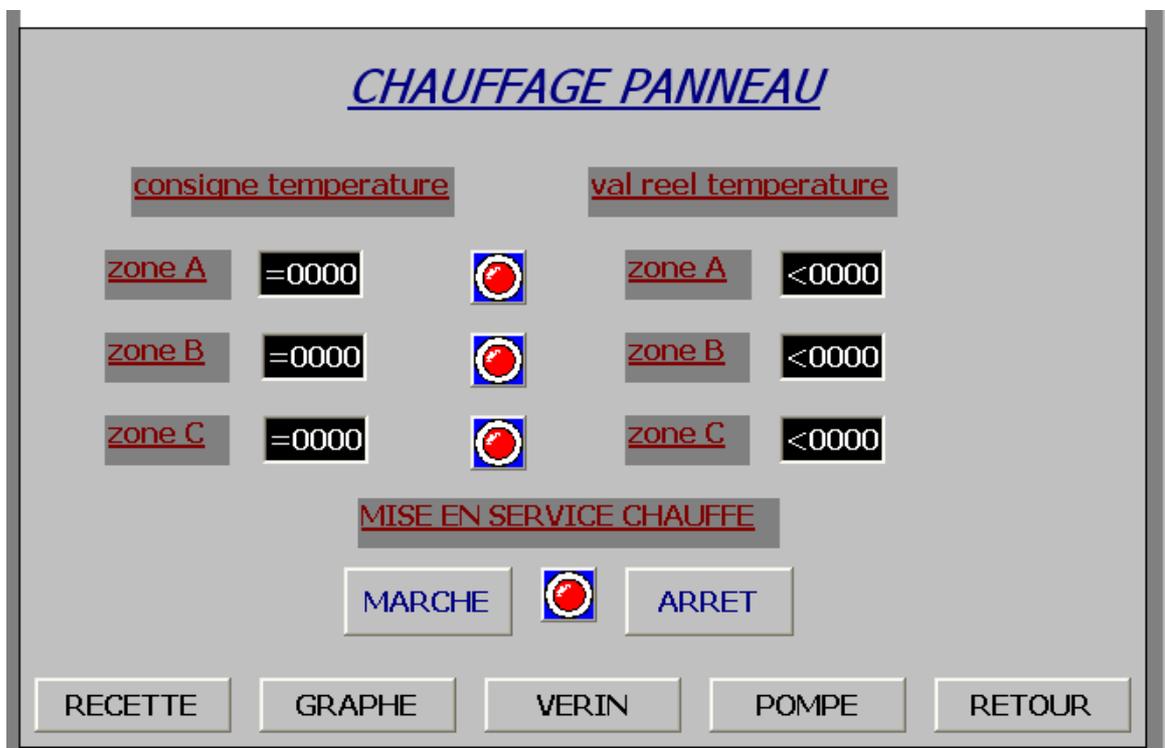


Figure IV.12 : Vue pupitre de chauffage.

La création de cette page à pour but de vérifier le bon fonctionnement de la régulation de températures qui sont les premières conditions à vérifier avant le début de la production et pour cela, nous avons procédé comme suite :

- Vérifier le bon fonctionnement de la température de la régulation :
 - Visualisation les valeurs réelles de températures.
 - Voyant lumineux pour chaque zone de chauffage.
 - Boutons pour actionner manuellement les résistances chauffantes.

-Entrées consignes températures.

IV.9.2.3 Pupitre opérateur de fonctions manuelles :

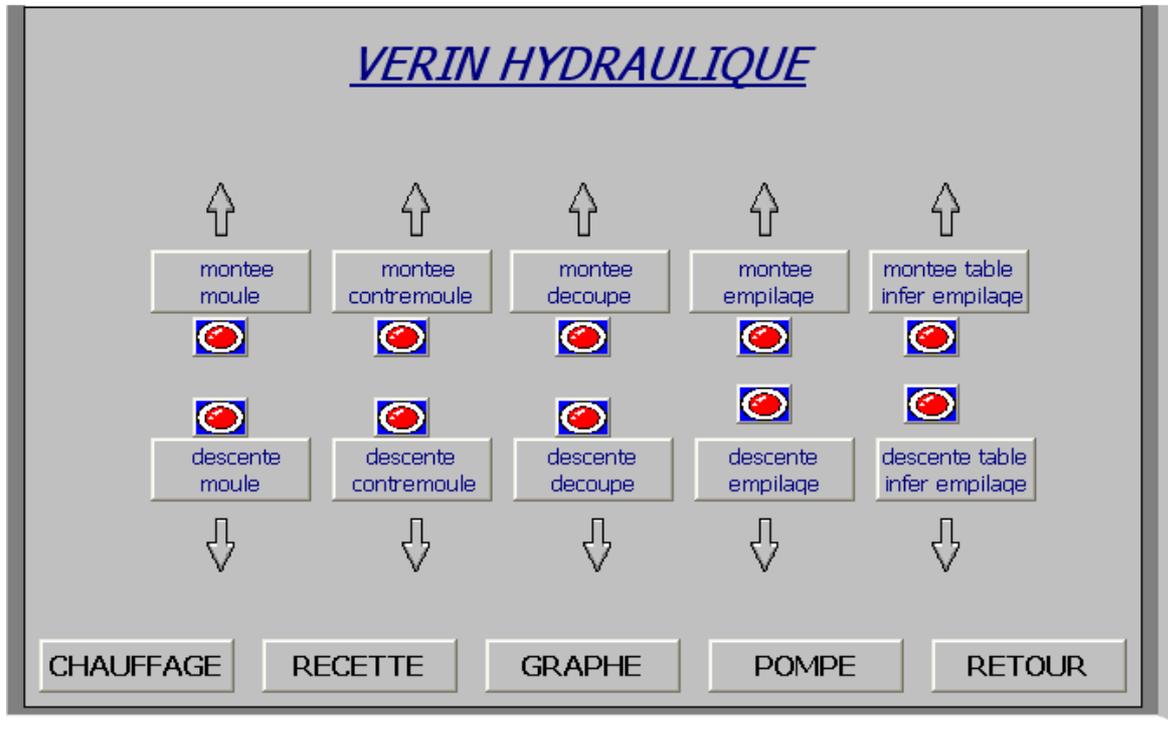


Figure IV.13 : Vue pupitre de fonctions manuelles.

Pour le fonctionnement manuel de la chaîne, nous avons mis à la disposition de l'opérateur un pupitre de commande configuré pour activer les mouvements manuellement et de suivre l'évolution de chaque étape sollicitée.

-Boutons pour activer chaque mouvement manuellement avec voyant lumineux.

-Retour au premier écran principal de visualisation (bouton RETOUR).

-Signalisation de chaque mouvement activé.

IV.9.2. 4 Pupitre opérateur démarrage pompe à vide et hydraulique :

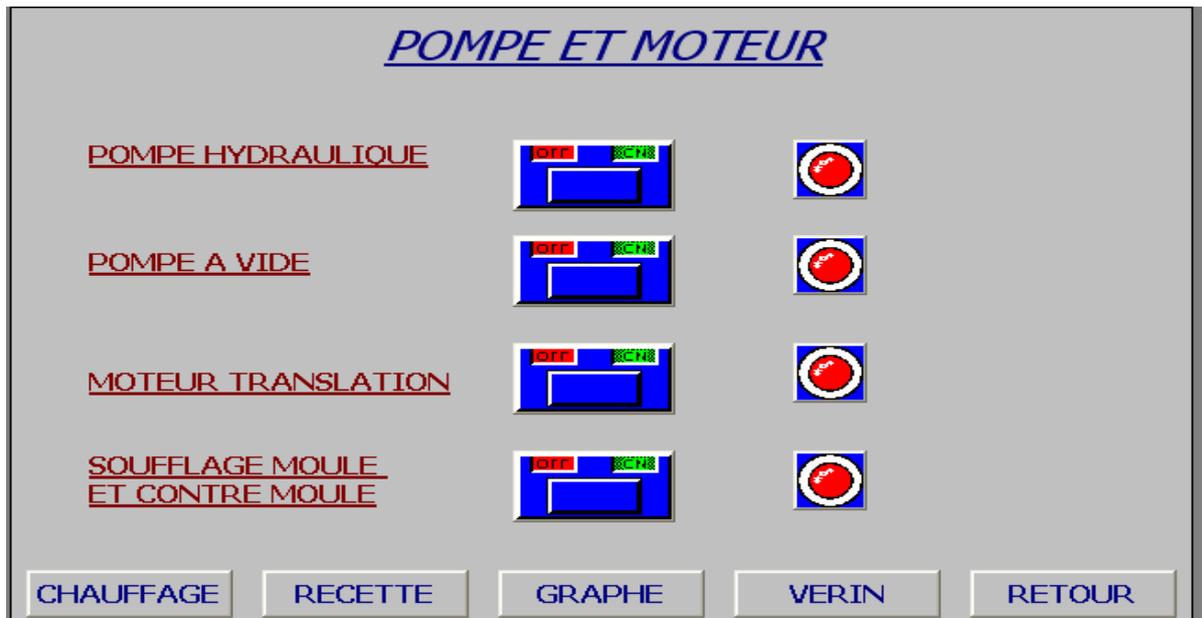
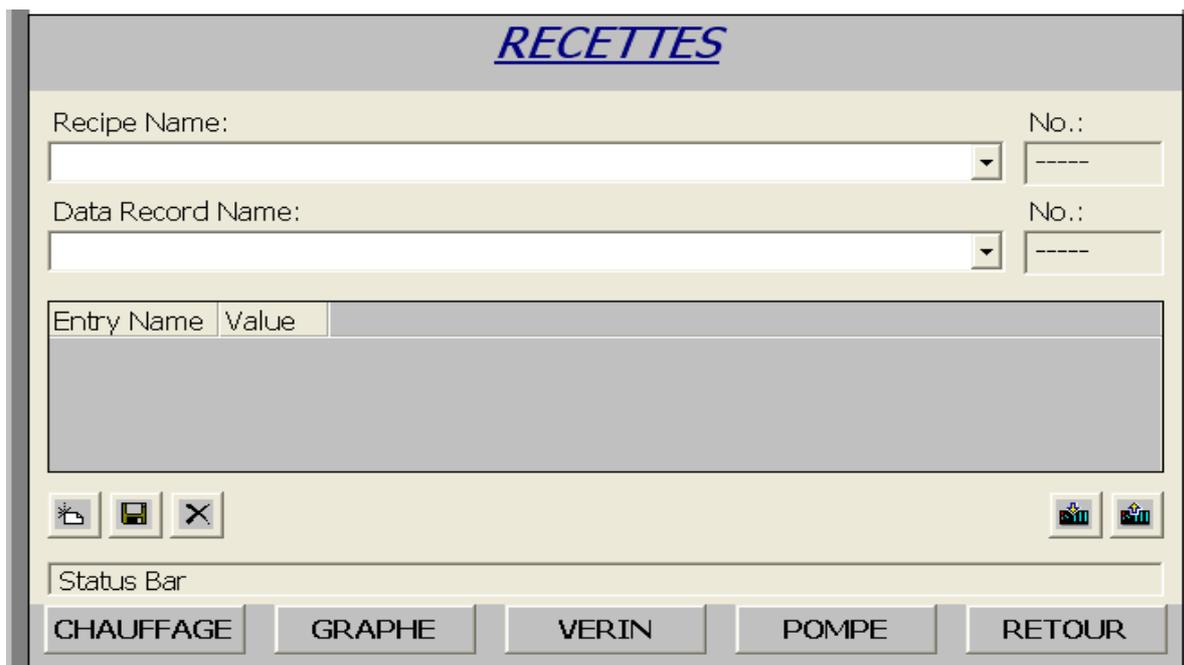


Figure IV.14:Vue démarrage pompes.

La création de cette page à pour but le démarrage et l'arrêt des pompes avec leurs signalisations.

IV.9.2. 5 Pupitre opérateur recettes :



Cette page permet à l'opérateur de choisir directement le type de matériau à formé avec tous les paramètres (température, vitesse, temps d'arrêt, temps de production...).

Figure IV.15 : Vue pour choix recettes.

IV.9.2. 6 Pupitre graphe :

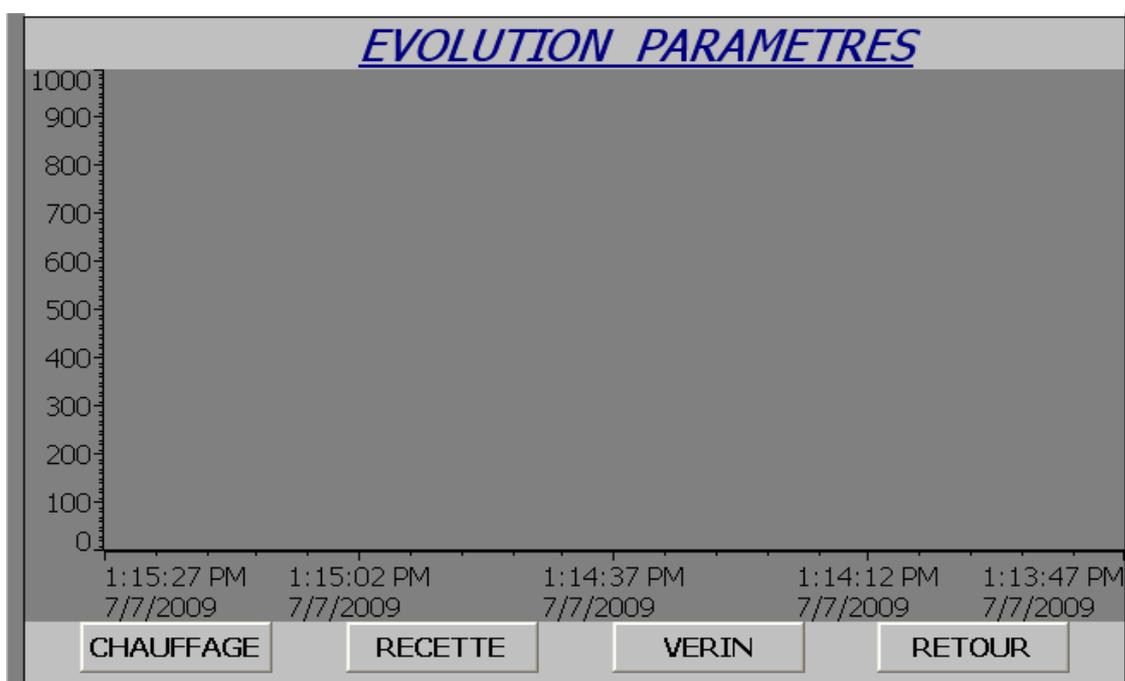


Figure IV.16 : Evolutions de paramètres.

La création de la page graphe permet à l'opérateur de visualiser l'évolution de tous les paramètres (température, vitesse, temps d'arrêt, temps de production...) afin de savoir l'état de la chaîne.

Conclusion :

Le choix de l'automate programmable comme organe de commande nous a conduits à son étude où nous avons découvert un outil performant et très compact qui permet de remplacer des commandes très complexes et surtout volumineuses, cela nécessite impérativement la maîtrise du langage spécifique Step 7 à l'API utilisé.

La configuration sur Protool des fonctions (boutons poussoirs, sélecteurs, voyants...) dans ces six pages de commande a permit une réduction du nombre de composants et par conséquent le nombre d'entrées aux modules de l'automate et ainsi réduire le nombre de panne de la chaîne mais également pour simplifier sa maintenance.

Conclusion générale

Le présent travail nous a permis de passer plus de temps sur le terrain, notamment durant notre stage pratique .Nous avons appris plusieurs principes concernant le monde de l'industrie et cela grâce au contact des ingénieurs et des techniciens, l'échange de connaissances avec eux nous a été très fructueux.

Nous avons étudié le fonctionnement de la chaîne de thermoformage puis sa commande, ce qui nécessite de concevoir son processus afin de la reproduire de nouveau.

Nous avons élaboré un modèle de fonctionnement de la chaîne par l'outil GRAFCET sans prendre en considération les cas de défaillances, et aussi nous n'avons pas modélisé la séquence manuelle qui n'est pas nécessaire dans notre cas.

L'apport technique que nous avons effectué, nous a permis de mettre au point une nouvelle technique de commande complète avec la prise en considération de tous les cas de défaillances, ainsi que la signalisation des défauts et leurs diagnostics. Pour faciliter la conduite de ces nouvelles améliorations, un écran de supervision est conçu à base du SIMATIC Protocol afin de faciliter à l'opérateur le paramétrage, et la surveillance de l'évolution du fonctionnement en temps réel.

En fin, nous espérons avoir été à la hauteur des attentes et aussi que notre mémoire sera d'une quelconque utilité aux étudiants avenir.

Bibliographie

Automatique et informatique industrielle, Base théoriques, méthodologiques et technique,

J.Perrin, F.Binet, J.J.Dumery, C.Merland, J.P.Trichard, Edition NATHAN, 2004.

Pratique du thermoformage, Adolf Illig, Edition HERMES, 1999.

Thermoformage, Jean-Claude JAMMET, Techniques de l'ingénieur, 1998 AM 3660.

Thèse doctorat « **Etude expérimentale du thermoformage assisté par poinçon d'un poinçon de polystyrènes** », Alisa ERNER, Ecole des mines de Paris, 2005.

Thèse ingénieur « **Etude et réalisation d'une commande d'une presse à injection thermoplastique à base d'un API S7-300** », M.TEMER, M.AILI, Electronique 2008.

Analyse et maintenance des automatismes industriels, Alain REILLER, Edition ELLIPES.

Cahier technique n : 208, Démarreurs et variateurs de vitesse électroniques, D. Clenet,

Collection technique, 2003.

DATASHEET variateur Allen Bradley AB 1333.

<http://www.omega.com/temperature/z/pdf/z021-032.pdf>