



Université Mohamed Khider de Biskra  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de génie électrique

# MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies  
Electrotechnique  
Commande Electrique

Réf. : .....

---

Présenté et soutenu par :  
**LADJAL Brahim**

Le : samedi 23 juin 2018

## Etude de la commande par automate d'une machine de depileur (BRIQUETERIE-BRANIS).

---

### Jury :

Dr	Mr GUERGAZI Aicha	MCA	Université de Biskra	Président
Dr	BOUMARAF Rabia	MAA	Université de Biskra	Encadreur
Dr	CHAROUF Omar	MCB	Université de Biskra	Examineur

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la recherche scientifique



Université Mohamed Khider Biskra  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de Génie Electrique  
Filière : Electrotechnique  
Option : **Commande électrique**

Mémoire de Fin d'Etudes  
En vue de l'obtention du diplôme :

**MASTER**

*Thème*

Etude de la commande par automate d'une  
machine de depileur (BRIQUETERIE-BRANIS)

Présenté par :

LADJAL Brahim

Avis favorable de l'encadreur :

BOUMARAF Rabia

*Signature*

Avis favorable du Président du Jury

GUERGAZI Aicha

*Signature*

Cachet et signature



Université Mohamed Khider Biskra  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de Génie Electrique  
Filière : Electrotechnique  
Option : **Commande électrique**

## *Thème :*

### Etude de la commande par automate d'une machine de depileur (BRIQUETERIE-BRANIS)

**Proposé par : LADJAL Brahim**

**Dirigé par : BOUMARAF Rabia**

#### **RESUMES**

*Dans le cadre de la formation et du partenariat entre l'université et le secteur industriel représenté par (une entreprise avec des salaires rouges Branis - Biskra), la production de salaires rouges nous a permis d'étudier la machine pour charger les salaires et former les paquets*

*Cette machine fonctionne en utilisant le mécanisme de contrôle automatique et les moteurs de vitesse est ce qui a été abordé dans ce sujet et nous avons fourni un mécanisme de travail détaillé et*

*.Contrôler cette machine*

#### **الملخص**

في إطار التكوين و الشراكة بين الجامعة و القطاع الصناعي المتمثل في ( شركة ذات اسهم للأجر الأحمر برانيس - بسكرة ) مؤسسة انتاج الاجر

الاحمر التي منحتنا فرصة دراسة ماكينة تحميل الاجر و تشكيله في حزم ، و التي تدخل ضمن الماكينات الأساسية لإنتاج الاجر .

هاته الماكينة تعمل باستخدام الية التحكم الآلي و محركات السرعة و هو ما تم علاجه ضمن موضوعنا هذا و قد قدمنا تفصيلا لآلية العمل و

التحكم في هاته الماكينة.

## ***Dédicace***

*A ma chère mère, pour ses sacrifices depuis qu'elle mit au monde*

*A mon père, qui m'a toujours soutenu et aidé à affronter les difficultés,*

*Pour tous ce qui ont fait pour que je puisse les honorer*

*A mes très chères frères (Mohamed, Hatem, Ayoub) et seours, mon  
oncle, Cousins, à toute ma famille et tous mes chère amis*

*Je dédie ce modeste travail*

## *Remerciements*

*Nous remercions notre créateur Allah, Grand et Miséricordieux, Ce tout puissant pour le courage qu'il nous a donné pour réaliser ce travail.*

*Nous commençons par exprimer nos profondes reconnaissances et nos vifs remerciements à Madam **Boumaraf Rabia** qui nous a honoré en acceptant de diriger ce travail, pour ses encouragements, ses conseils fructueux et sa disponibilité, merci de nous avoir guidés avec patience.*

*Mes profondes gratitude s'orientent vers Mr **Adel Guesraya** pour ses Judicieux conseils et son support permanent, ainsi que tous les ingénieurs dans l'usine de la Sarl Briqueterie branis.*

*Un remerciement exceptionnel à nos parents et à toutes nos familles pour leurs soutiens, leurs présences et leurs encouragements.*

*Au terme de ce travail, il nous est agréable de remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin, directement ou indirectement à la réalisation de ce travail.*

---

## Liste des Tableaux

<b>Tableau.I.1</b> Tableau d'éléments de l'unité.....	15
<b>Tableau.II.1</b> Tableau de les éléments de l'automate TSX P57 3623 M.....	36
<b>Tableau.II.2</b> Caractéristiques générales de TSX P57 3623 M.....	38
<b>Tableau.IV.1</b> Signification des icônes.....	73
<b>Tableau. IV.2</b> Tableaux de conditions.....	87

## Liste des Figures

### Chapitre I

<b>Figure.I.1.</b> Schéma générale de l'installation de depileur.....	4
<b>Figure.I.2.</b> Image de portique de dépilage.....	5
<b>Figure.I.3.</b> Image de convoyeurs à bande.....	6
<b>Figure.I.4.</b> Image de la zone de préparation paquets.....	6
<b>Figure.I.5.</b> Image du convoyeur de paquets.....	7
<b>Figure.I.6.</b> Image de Pince de dédoubleage.....	8
<b>Figure.I.7.</b> Image de Portique de gerbage.....	8
<b>Figure.I.8.</b> Image de convoyeurs à lattes.....	9
<b>Figure.I.9.</b> Image de machine de cerclage.....	10
<b>Figure.I.10.</b> Image de Pince de paquettisation.....	12
<b>Figure.I.11.</b> image illustre l'étape 1.....	12
<b>Figure.I.12.</b> image illustre l'étape 2.....	12
<b>Figure.I.13.</b> image illustre l'étape 3.....	13
<b>Figure.I.14.</b> image illustre l'étape 4.....	13
<b>Figure.I.15.</b> image illustre l'étape 5.....	13
<b>Figure.I.16.</b> image illustre l'étape 6.....	14
<b>Figure.I.17.</b> image illustre l'étape 7.....	14
<b>Figure.I.18.</b> Image de l'armoire électrique.....	17
<b>Figure.I.19.</b> Schéma d'un variateur de vitesse ( MDX61B0030-5A3-4-OT ).....	18
<b>Figure.I.20.</b> Schéma électrique d'un automate (Schneider . Modicon Premium TSX P573623 M).....	19

---

## Chapitre II

<b>Figure.II.1.</b> Schéma générale d'un système automatisé.....	22
<b>Figure.II.2.</b> Représentation d'un système automatisé.....	25
<b>Figure.II.3.</b> Architecture et liaisons d'un API.....	28
<b>Figure.II.4.</b> Architecture d'un API.....	29
<b>Figure.II.5.</b> Interfaces d'entrées.....	31
<b>Figure.II.6.</b> Interfaces de sorties.....	32
<b>Figure.II.7.</b> Schéma électrique d'automate TSX P57 3623 M.....	34
<b>Figure.II.8.</b> Processeur sans carte PCMCIA.....	39
<b>Figure.II.9.</b> Processeur avec carte PCMCIA.....	40

## Chapitre III

<b>Figure.III.1.</b> Variateur de vitesse à fréquence variable.....	42
<b>Figure.III.2.</b> Image d'un variateur électrique.....	44
<b>Figure.III.3.</b> Le schéma interne d'un variateur.....	45
<b>Figure.III.4.</b> Schéma explique le principe d'un variateur électrique.....	45
<b>Figure.III.5.</b> Shéma électrique d'un variateur de <i>MDX61B0030-5A3-4-OT</i> .....	47
<b>Figure.III.6.</b> Principe de la régulation de vitesse.....	48
<b>Figure.III.7.</b> Quatre situations possibles d'une machine dans son diagramme couple- vitesse.....	51
<b>Figure.III.8.</b> Schémas de principe.....	51
<b>Figure.III.9.</b> Courbes de fonctionnement à couple variable.....	53
<b>Figure.III.10.</b> Courbe de fonctionnement à couple constant.....	53
<b>Figure.III.11.</b> Schéma de principe d'un convertisseur de fréquence.....	55
<b>Figure.III.12.</b> Démarreur de moteurs asynchrones et forme du courant d'alimentation.....	55
<b>Figure.III.13.</b> Structure générale d'un variateur de vitesse électronique.....	57
<b>Figure.III.14.</b> Modulation de largeur d'impulsions.....	59
<b>Figure.III.15.</b> Caractéristiques de couple d'un variateur (Altivar 66 – Télémécanique).....	60
<b>Figure.III.16.</b> Schéma de principe d'un variateur à contrôle vectoriel de flux sans.....	62
<b>Figure.III.17.</b> Schéma de principe d'un variateur avec contrôle vectoriel de flux avec capteur.....	63
<b>Figure.III.18.</b> Photographie d'un moto-variateur synchrone (Variateur Lexium + moteur, Schneider Electric).....	66

---

<b>Figure.III.19.</b> Schéma de principe d'un variateur pour moteur bipolaire pas à pas.....	66
<b>Figure.III.20.</b> Diagramme, courbes d'intensité et principe d'échelons pour une commande en micro pas d'un moto-variateur pas-à-pas.....	67
<b>Figure.III.21.</b> Photographie d'un variateur comportant de nombreuses fonctions intégrées (ATV58H - Telemecanique).....	69

## Chapitre IV

<b>Figure.IV.1.</b> Choix du processeur.....	72
<b>Figure.IV.2.</b> Barre d'état.....	74
<b>Figure.IV.3.</b> Navigateur d'aide.....	74
<b>Figure.IV.4.</b> Editeur de configuration.....	75
<b>Figure.IV.5.</b> Configuration des objets grafcet.....	76
<b>Figure.IV.6.</b> Editeur des variables.....	77
<b>Figure.IV.7.</b> Navigateur d'application.....	78
<b>Figure.IV.8.</b> Editeur de programme.....	79
<b>Figure.IV.9.</b> Langage à contact.....	79
<b>Figure.IV.10.</b> Langage liste d'instruction.....	82
<b>Figure.IV.11.</b> Langage grafcet.....	84
<b>Figure.IV.12.</b> Transfert du programme Automate vers PC.....	84
<b>Figure.IV.13.</b> Transfert de données Automate → Fichier.....	85
<b>Figure.IV.14.</b> Diagnostic d'un module déporté.....	86



---

## Liste des Abréviations

LS	Inductance cyclique du stator [H]
RS	Résistance statorique [C]
LR	Inductance cyclique du rotor [H]
Rr	Résistance rotorique [O]
Lm	Inductance mutuelle cyclique entre stator et rotor [H]
Ls	Inductance cyclique du stator [H]
fs	Coefficient de frottement visqueux [SI] où [N.m s/rad]
J	Moment d'inertie de l'entraînement [kg. m <sup>2</sup> ]
p	Nombre de pair de pôles
Tr	Constante.de temps rotorique [s]
Ts	Constante de temps statorique [s]
o	Coefficient de dispersion de Blondel (coeffrcient de fuite total)
g	Glissement [%]
T	Temps [s]
Te	Temps d'échantillonnage [s]
Fs	Fréquence de l'alimentation fondamentale [Hz]
e	Erreur entre un signal de référence et un signal estimé
Us	Tension de l'étase continu de l'onduleur
a.b.c	Axes liés aux enroulements triphasés.
d.q	Indices pour les composantes de Park directe et quadrature
@.b	Composantes du repère diphasé fixe lié au stator
os	Angle de transformation de Park [rd]
or	Position électrique du rotor [rd]
Ce	Couple électromagnétique [Nm]
Cr	Couple mécanique résistant [Nm]
O	Vitesse de rotation mécanique [rdls]
c	Vitesse de rotation électrique [rdls]
ws	Vitesse du champ statorique (vitesse du champ) [frdls]
wsl	(ou og) Pulsation de glissement [rdls]

---

s,r	Indices stator et rotor, reiektivement
^	Signe désignant la valeur estimée
'	Signe désignant la valeur de référence
[ ]T	Désigne la transposée d'une matrice ou d'un vecteur
S O U P	Opérateur de Laplace
Vsq	Respectivement la tension statorique suivant l'axe d, suivant l'axe q [V] Respectivement la composante u, de la tension statorique dans le repère
VsB	fixé au stator, la composante p de la tension statorique dans le repère stator [V]
Isdq	Respectivement le courant statorique suivant l'axe d, suivant l'axe q [A]
Is@B	Respectivement la composante a du courant statorique dans le repère fixé au stator, la composante p du courant statorique dans le repère fixé au stator [A]
gsdq	Respectivement le flux statorique suivant l'axe d, suivant l'axe q [wb]

---

## Introduction générale

L'évolution de la micro-électronique et l'industrie de programmation, ont conduit au développement de la technologie des API, qui ont maintenant, un grand impacte dans le domaine de l'industrie.

Depuis son entrée en production en 2014, le site Branis de Biskra, plus grosse briqueterie en Algérie, illustre avec succès l'apport des dernières innovations dans le domaine de la production de briques en terre cuite. Dans notre entourage industriel cette usine qui a adapté une politique de rénovation de son matériel, par l'installation de nouvelles machines automatisées, et cela dans le but d'améliorer sa production aussi bien de côté qualitatif que quantitatif (et pour cela elle fait appel à des firmes étrangères, expert dans le domaine)

Dans le cadre de notre formation et dans le but d'actualiser nos connaissances, et être au courant du marché industrielle moderne, nous avons opté, de procéder à une étude d'une machine de depileur qui procède à la paquettisation des briques en des couches. Et aussi de profiter de l'opportunité de ce pôle industriel à proximité de notre université.

Le plan de notre travail est comme suite :

- Dans le premier chapitre on a commencé par la présentation (étude) de l'ensemble des unités de la briqueterie et particulièrement la machine objet de mémoire qui est le depileur. Cette étude comporte aussi bien le côté matériels (mécanique, électrique) que le côté fonctionnement pour la réalisation de la palettisation.
- Le deuxième chapitre est consacré à la présentation des systèmes automatisés et de leurs pilotes qui sont les API.
- L'étude du variateur de vitesse de cette machine et leur commande vectorielle est le sujet du troisième chapitre.
- le quatrième chapitre comporte deux parties, la première présente le logiciel de programmation PL7 pro outil de programmation des automates utilisés. Alors que la deuxième partie est consacrée à la programmation de quelques exemples de commande de cette machine.

## I. Présentation de l'usine

### I.1. Introduction

La SARL BRIQUETERIE BRANIS DAR AROUS, BRANIS W / BISKRA est une briqueterie située à la COMMUNE DE BRANIS W DE BISKRA, appartenant au Groupe AMOURI et dont le siège social est djar belahrach commune de branis w / biskra, son capital social est 50.400.000 DA et spécialisée dans la fabrication du produit en argile non réfractaire à savoir brique à briques 8 trous (10x20x30 cm) et des briques 12 trous (15x20x30 cm) et hourdi avec une capacité de production atteignant les 200 000 T/An.

L'usine est équipée de machines modernes aux normes européennes, importées principalement des pays appartenant au comité européen tels que l'ITALIE, L'ESPAGNE et le PORTUGAL encadrées par de jeunes et moins jeunes cadres, tous universitaires, et assez expérimentés pour assurer la bonne continuité et surtout la qualité de ses produits.

### I.2. Présentation des différentes zones de l'usine

Le processus de fabrication de brique (de la matière primaire jusqu'au produit fini) passe par plusieurs zones successives dont on peut les classer comme suit :

#### I.2.1. Zone de préparation et fabrication

Cette zone contient plusieurs étapes. Qui commence par l'apport des matières premières qui sont l'argile et le sable, après les deux matières sont fusionnées dans le Mouilleur-Mélangeur (MM 12.35) pour l'obtention d'une pâte. Cette dernière est acheminée par des convoyeurs vers la mouleuse responsable de la forme finale de la brique. Cette zone comporte plusieurs machines dont les plus importantes sont [1] :

- Brise mottes concasseurs
- Distributeur Dbc 12. 55 et Dbc 12. 65
- Crible ROL
- Broyeur de marteaux MB-2000-SA
- Mouilleur-Mélangeur MM 12.35
- Broyeur 6R11 SH
- Convoyeurs
- Excavateur
- Groupe d'étirage

- Malaxeur et mouleuse
- Pompe à vide

### **I.2.2. Zone de manutention produit**

- partie de Chargeur du séchoir
  - Coupeur primaire et multi fils
  - Chargeur
    - ✚ Renvoi d'angle et décaler
    - ✚ Poussoir et pelle
- Zone d'empilage
  - Zone à rouleaux sortie séchoir
  - Convoyeurs a chaines ligne A et B
  - Portique de pré-empilage
  - Portique d'empilage
- Zone dépilage (Cette zone est détaillée dans la suite de notre travail)

### **I.2.3. Zone de séchoir four et manutention**

- Séchoir
  - Ensemble séchoir
  - Système de ventilation séchoir
  - Equipements de chauffe (bruleur, installation de gaz)
- Four
  - Système de ventilation four
  - Equipements de chauffe (bruleur, installation de gaz)
  - Zone jets latéraux jet (bruleur jet)
  - Zones brûleurs voûte (bruleur fleurets)
- Zone manutention

### **I.2.4. Divers**

- Aspirateur
- Groupe électrogène
- Compresseur

## II. Présentation de depileur

Notre travail porte sur l'étude de cette zone de depileur, qu'on va présenter ses différentes parties matériels ainsi que son fonctionnement et techniques de commande.

### II.1. Schéma générale de l'installation

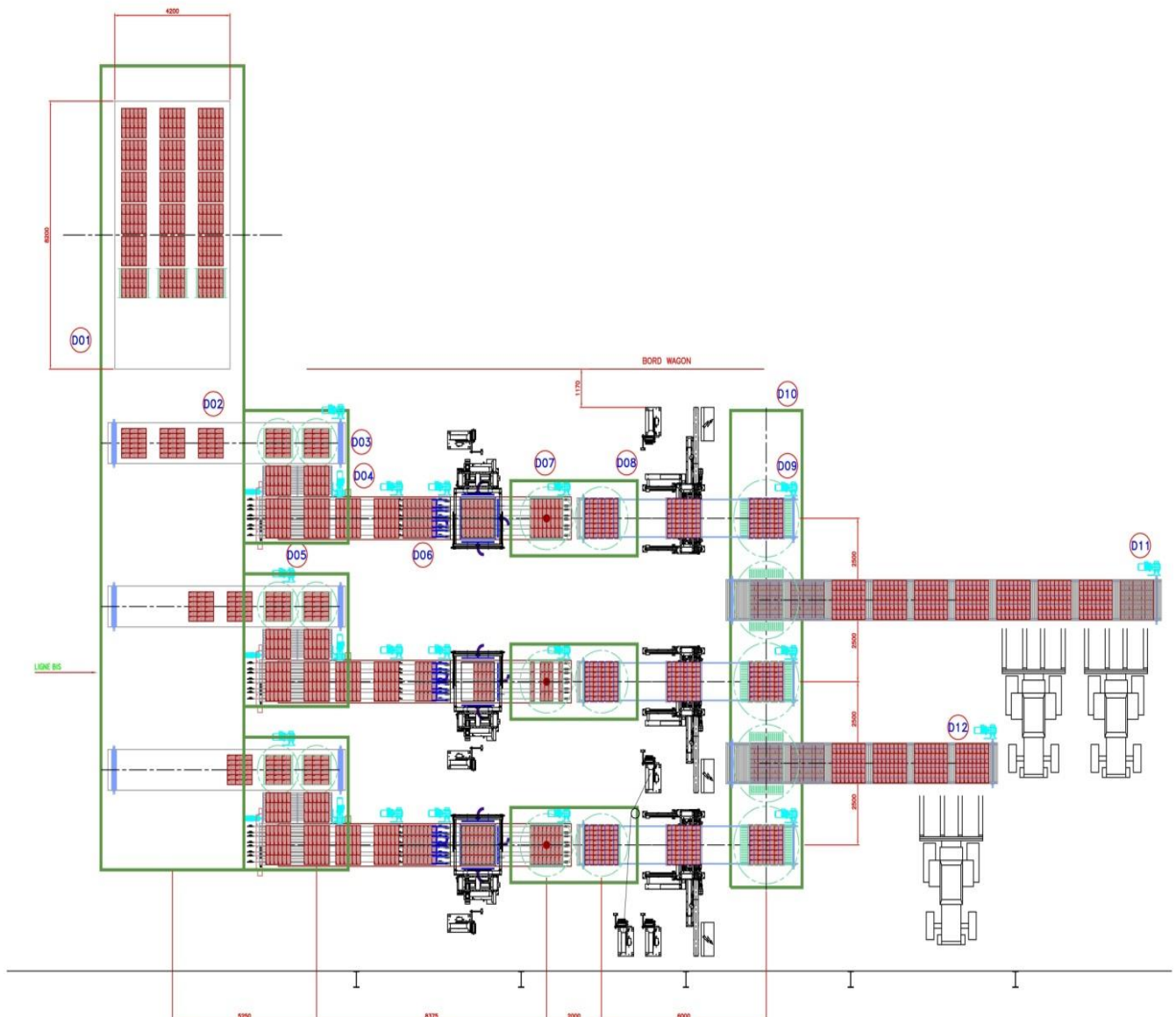


Figure.I.1. Schéma générale de l'installation de depileur.

### II.2. Description matériel et fonctionnel de l'unité

Dans ce paragraphe on essaye de donner la constitution matérielle, description des machines de cette unité, ainsi que son principe de fonctionnement [1].

### II.2.1. Portique de dépilage

➤ *Description de la machine*

Le portique de dépilage du wagon permet de dépiler les briques cuites du wagon sortant du four et de les transférer sur les 3 convoyeurs d'entrées de lignes [7].

Le portique de dépilage du wagon est composé :

- Châssis fixe
- Chariot de translation
- Châssis de levage
- 3 pinces de dépilage



Figure.I.2. Image de portique de dépilage.

### II.2.2. Zone de préparation couches

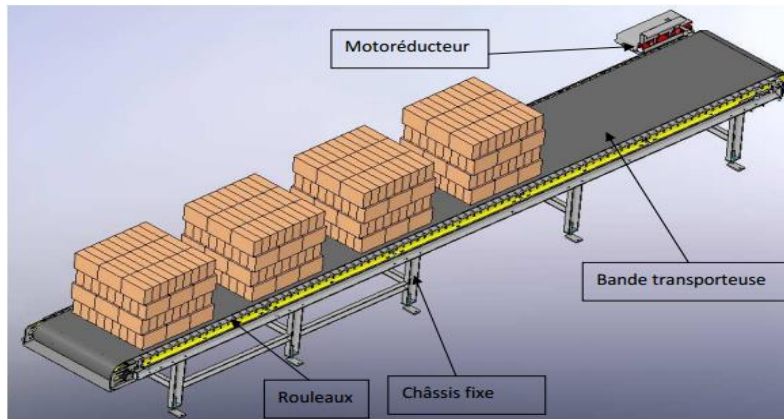
➤ *Description de la machine*

Les convoyeurs à bande de dépilage sont installés sous le portique de dépilage et sous le portique de dédoublement. Les convoyeurs à bande de dépilage permettent de réceptionner les paquets venant du portique de dépilage et de les positionner sous la pince de dépilage des couches.

Le convoyeur à bande de dépilage est principalement composé :

- ✓ Châssis fixe
- ✓ Motoréducteur
- ✓ Tambour moteur
- ✓ Tambour de renvoi
- ✓ Rouleaux

- ✓ Rouleaux de retour
- ✓ Bande transporteuse



**Figure.I.3.** Image de convoyeurs à bande.

### II.2.3. Zone de préparation paquets

➤ *Description de la machine*

La zone de préparation paquets est installée en partie sous le portique de dédoubleage et avant la Cercleuse horizontale. La zone de préparation paquets permet de réceptionner les couches venant du portique de dépilage, de constituer des ramende quatre rangées de produits. Puis d'accumuler, de retenir les produits pour la formation des couches à palettiser et d'évacuer les couches complètes sur le convoyeur sous palettiseur. La zone de préparation paquets est principalement composée [1] :

- ✓ Convoyeurs de regroupements.
- ✓ Renvoi d'angle.
- ✓ Convoyeurs de regroupements.
- ✓ Convoyeur sous palettiseur.



**Figure.I.4.** Image de la zone de préparation paquets.



## II.2.4. Convoyeur de paquets

### ➤ Description de la machine

Le convoyeur à berceaux est installé après le convoyeur sous palettiseur et en partie en dessous du portique de palettisation. Le convoyeur de paquets permet d'évacuer les piles palettisées vers la Cercleuse verticale et de positionner la palette terminée sous le portique de gerbage.

Le convoyeur à berceaux est principalement composé :

- Châssis fixe
- Arbre moteur + pignons
- Arbre de tension + pignons
- Motoréducteur
- Traverses support produits
- Chaîne.

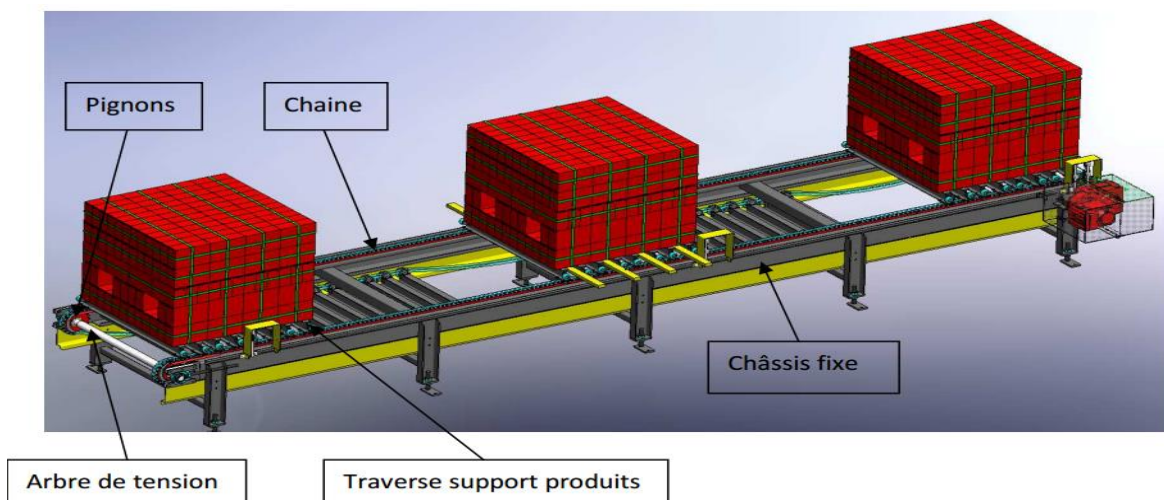


Figure.I.5. Image du convoyeur de paquets.

## II.2.5. La palettisation

La présentation détaillée de cette partie est dans la suite du paragraphe.

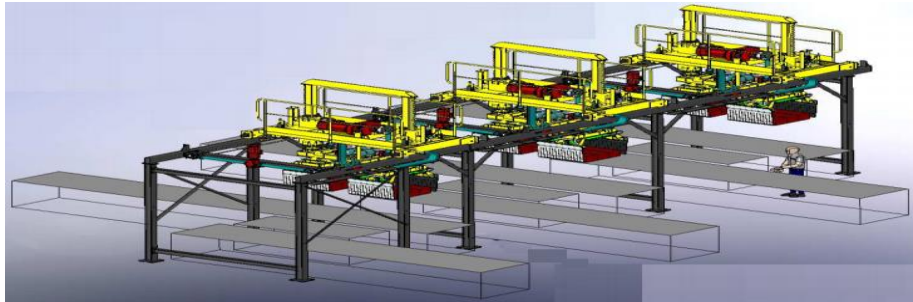
## II.2.6. Portique de dédoubleage

### ➤ Description de la machine

Le portique de dédoubleage est installé au dessus des convoyeurs d'entrées de lignes et des convoyeurs de regroupements. Il permet de dépiler les couches de deux piles en même temps, d'effectuer une rotation d'un quart de tour sur les couches et de déposer les couches sur le convoyeur de regroupement.

Le portique de dédoubleage est composé :

- Châssis fixe.
- Chariots de translation.
- Châssis de levage.
- Pincés de pré-empilage droit.



**Figure.I.6.** Image de Pince de dédoubleage.

## II.2.7. Portique de gerbage

### *Description de la machine*

Le portique de gerbage est installé perpendiculairement en partie au dessus des trois convoyeurs à berceaux et en partie au dessus des convoyeurs de stockage. Le portique de gerbage permet d'évacuer les piles palettisées des trois lignes sur les convoyeurs de stockage palettes [3]

Le portique de gerbage est principalement composé :

- Châssis fixe
- Deux chariots de translation
- Deux châssis de levage
- Deux pincés de paquettisation



**Figure.I.7.** Image de Portique de gerbage.

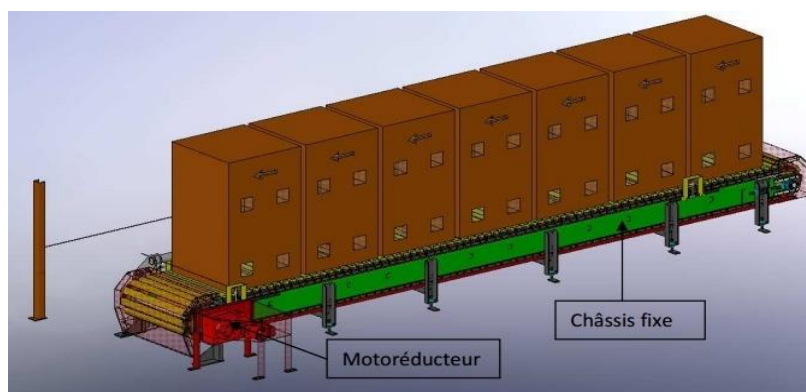
## II.2.8. Convoyeurs à lattes

### ➤ *Description de la machine*

Le convoyeur à lattes est installé parallèlement aux convoyeurs à berceaux et en partie en dessous du portique de gerbage. Le convoyeur à lattes permet de stocker les palettes avant évacuation de celles-ci par les caristes. Ce convoyeur à lattes peut stocker jusqu'à neuf piles de paquets [3].

Le convoyeur à lattes est principalement composé :

- Châssis fixe
- Arbre moteur
- Arbre de tensions
- Pignons
- Chaines
- Motoréducteur
- Lattes
- Butoir fourches



**Figure.I.8.** Image de convoyeurs à lattes.

## II.2.9. Cerclieuse

### ➤ *Description de la machine*

Pour cercler horizontalement tous les produits palettisés, permettant de solidariser les produits pendant le transport et la manutention. Elle peut effectuer automatiquement un ou plusieurs cerclages en fonction des besoins [7]. La Cerclieuse vertical est conçue pour cercler verticalement tous les produits palettisés quel que soit le genre de production. Elle est prévue pour effectuer automatiquement un ou plusieurs cerclages en arrêtant les palettes au moyen de photocellules. A l'aide du canal inférieur rétractable, le feillard peut être passé à travers la

palette en formant ainsi un seul corps avec le produit.



**Figure.I.9.** Image de machine de cerclage.

### II.3. Cycle de fonctionnement

Un wagon est positionné sous le poste de dépilage du portique Rep.D01.

Le portique saisit trois  $\frac{1}{2}$  piles de briques sur le wagon et va les déposer sur les convoyeurs à bande en entrée d'une des 3 lignes de paquettisation.

Nota : le portique de dépilage Rep.D01 dépose alternativement une pile complète en entrée de la ligne A, puis de la B puis de la C sur les convoyeurs Rep.D02.

Le fonctionnement des 3 lignes de préparation de couche est ensuite identique et selon le descriptif ci-dessous :

Les trois  $\frac{1}{2}$  piles avancent ensuite sous le portique de dépilage des couches Rep.D03.

Ce portique à 2 têtes dépile alors 2 couches, effectue une rotation d'un quart de tour aux couches et les dépose sur le convoyeur de regroupement Rep.D04.

Sur le convoyeur de regroupement Rep.D04 les couches sont taquées avant d'être envoyées sur le renvoi d'angle Rep.D05, les briques y sont ensuite accumulées pour constituer des rames de 4 produits de largeur [10].

Sur chaque ligne, les rouleaux du renvoi d'angle Rep.D05 s'abaissent, la couche de produits reposant alors sur le convoyeur à chaînes Rep.D05, puis est dégagée de la zone renvoi d'angle et envoyée vers le convoyeur Rep.D06.

Au passage entre les convoyeurs Rep.D05 et D06, un système de retenue verticale par

griffe en bout de D05 permet de créer le trou entre la couche et les produits suivants, la couche correspondant à la paquetsation est formée sur D06, une butée escamotable en bout de celui-ci repositionne les briques dans le sens longitudinal des convoyeurs.

La butée s'escamote et la couche est évacuée sous le cerclage horizontal situé sur le convoyeur Rep.D07. Chaque couche subit un retaillage latéral et longitudinal avant cerclage. Les couches cerclées ou non (cas de la « petite couche de prise ») sont ensuite acheminées jusqu'au bout du convoyeur Rep.D07 pour être reprises par le portique de paquetsation Rep.D08.

Le portique de paquetsation prend ensuite la couche pour constituer des paquets sur le convoyeur à berceaux Rep.D09.

Pour la création des couches « de prises » permettant de laisser passer les fourches du chariot élévateur, le préhenseur de chaque portique est équipé de 3 mors indépendants s'écartant pour créer l'espace entre produits [8] .

Le paquet avance ensuite sous la cerceuse verticale. La cerceuse verticale (hors fourniture) équipée d'un système de déplacement longitudinal le long du convoyeur à berceaux réalise alors les 4 cerclages verticaux sur le paquet.

Le paquet est ensuite avancé jusqu'au poste de reprise par le gerbeur de paquet Rep.D10. Le premier portique gerbeur équipé d'une pince rotative prend le paquet mis en attente cycliquement en sortie de la première ligne, puis de la deuxième ligne pour les déposer sur le convoyeur de stockage des paquets Rep.D11 et les gerber sur 2 niveaux [1]. La pile de deux paquets avance alors d'un pas pour libérer la zone de dépose du portique.

Le deuxième portique de gerbage réalise la même fonction avec les paquets provenant de la ligne n°3 pour les déposer sur le convoyeur de stockage Rep.D12.

### **III. Pince de paquetsation**

#### **III.1. Description de la machine**

Palettiseur est installé au-dessus du convoyeur sous palettiseur et en partie au-dessus du convoyeur à berceaux. Le palettiseur permet d'empiler les couches selon le schéma de paquetsation définie sur le convoyeur à berceaux.

Le palettiseur est principalement composé :

- Portique de paquetsation.
- Chariot de portique de paquetsation.
- Pince de paquetsation.

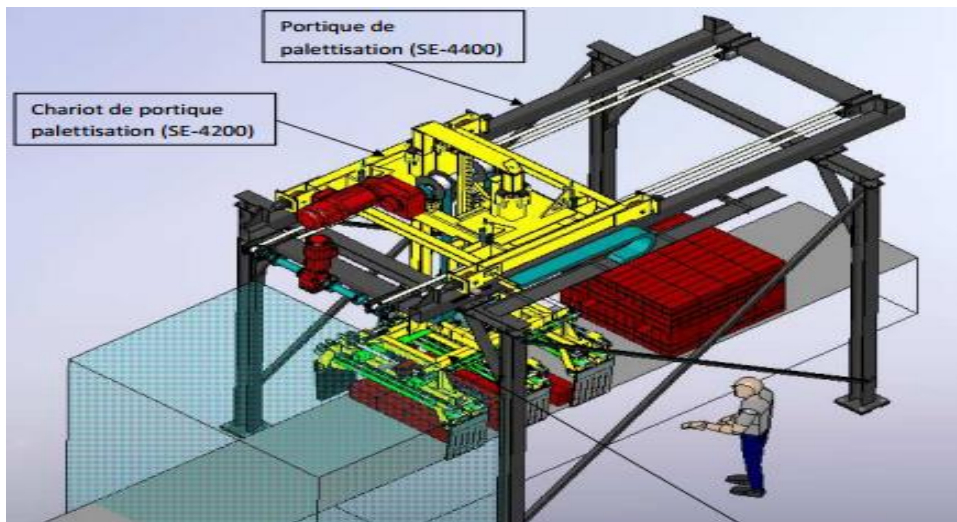


Figure.I.10. Image de Pince de paquettisation

### III.2. Fonctionnement de la pince

Pour les couches de prise, les doigts de la pince s'écartent pour former deux trous dans la palette pour le passage des fourches du chariot élévateur.

- ✓ **Etape 1 :** La première couche cerclée arrive en butée sous la pince d'empilage, la pince vient la prendre pour la déposer en entrée du convoyeur D09.

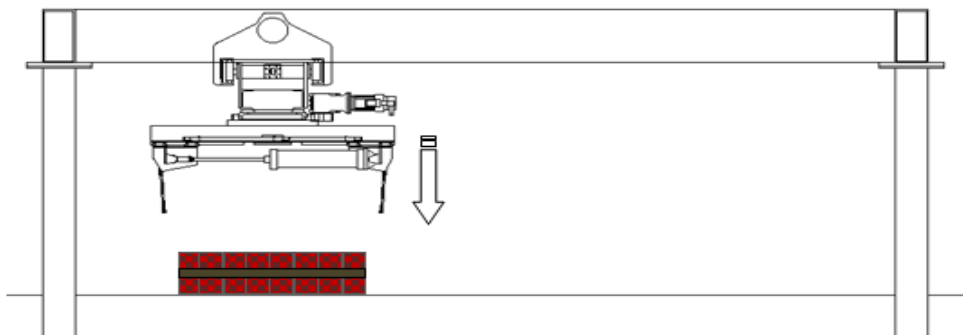


Figure.I.11. image illustre l'étape 1

- ✓ **Etape 2 :** La pince effectue une rotation lors de la translation, la deuxième couche arrive alors en butée sur la position de prise sous la pince.

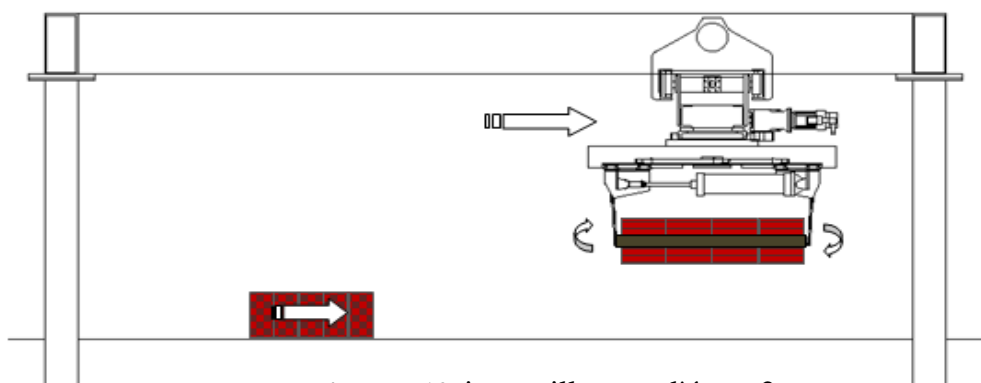
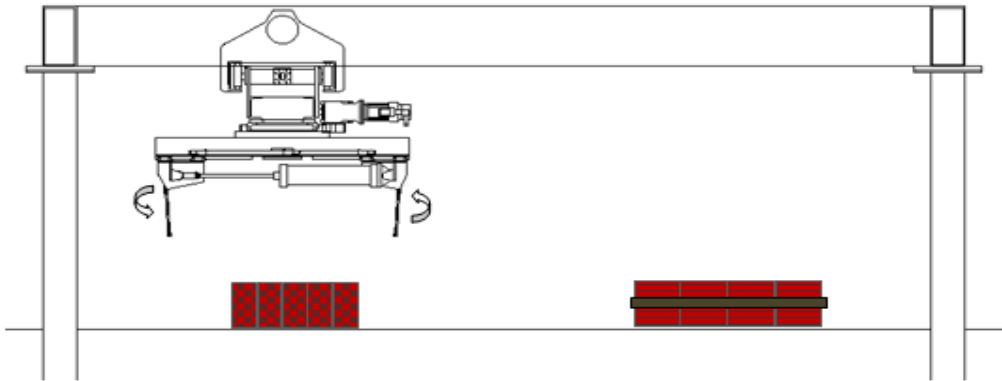


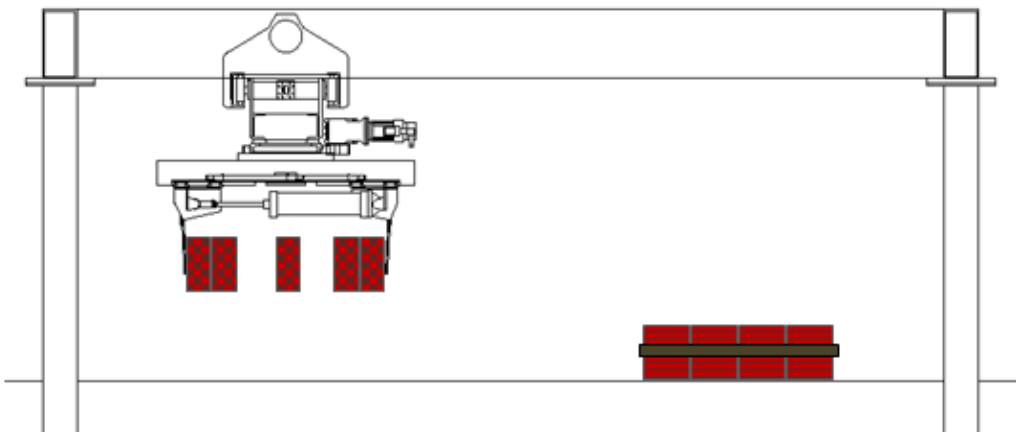
Figure.I.12. image illustre l'étape 2

✓ **Étape 3 :** Au retour la pince effectue une rotation arrière pour revenir en position initial. Quelque soit le type de couche à palettiser, les briques arrivent toujours sur la même butée, c'est pourquoi la position de prise en translation elle, diffère en fonction du type de couche à palettiser, de sorte que la pince se positionne toujours dans l'axe de la couche.



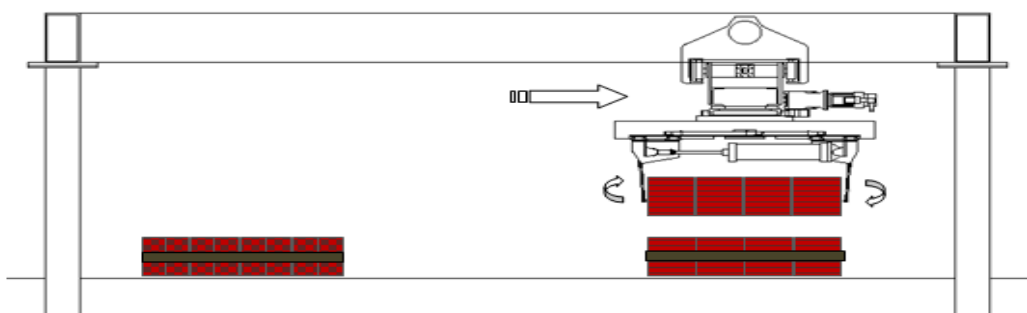
**Figure.I.13.** image illustre l'étape 3

✓ **Étape 4 :** La deuxième couche n'étant pas cerclée, les doigts de la pince s'écartent pour former les trous de prise de la palette.



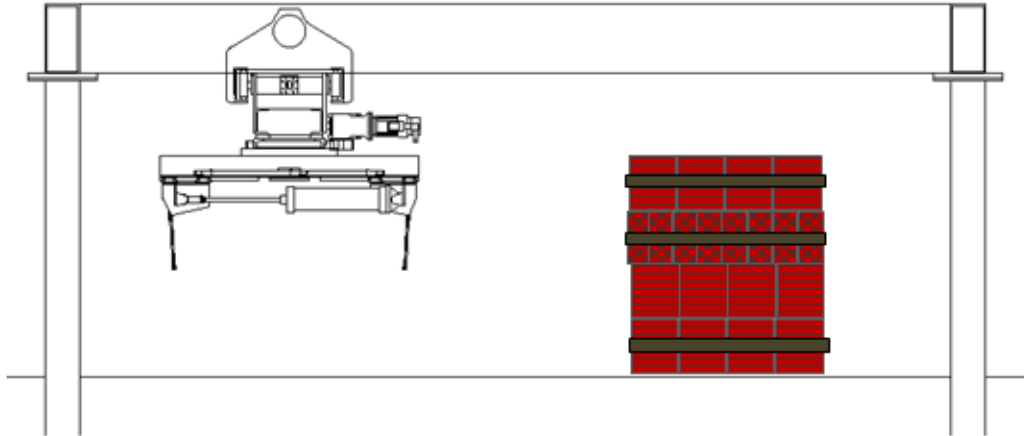
**Figure.I.14.** image illustre l'étape 4

✓ **Étape 5 :** La deuxième couche est également tournée avant d'être déposée sur la première.



**Figure.I.15.** image illustre l'étape 5

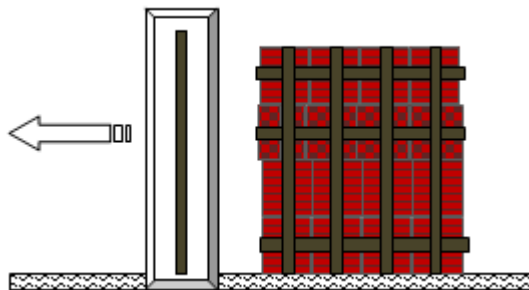
- ✓ **Etape 6 :** La troisième couche est déposée sur les deux précédentes sans être retournée, la quatrième et ou la cinquième sont retournées.



**Figure.I.16.** image illustre l'étape 6

La palette formée est ensuite transférée au poste de cerclage verticale.

- ✓ **Etape 7 :** La palette au poste de cerclages est cerclée de quatre cerclages verticaux réalisés par déplacement horizontal de la cerceuse.



**Figure.I.17.** image illustre l'étape 7

Le cerclage terminé, la palette est transférée en bout du convoyeur D09 pour être reprise par le portique de gerbage [1].



## III.3. Eléments de l'unité

Réf	Elément	Fonction
DRS100M4	Moteur 3KW asynchrone triphase 400/690V CA	<b>Translation pince B08</b>
MDX61B0030-5A3-4-OT	Variateur de vitesse 380-500vac 3kw	
AMG 73 S W29 S2048	Encodeur	
IME12-04BPSZC0K	linit translation	
DRS160M4	Moteur 11KW asynchrone triphase 230/400V CA	<b>levage pince B08</b>
MDX61B0110-5A3-4-OT	Variateur de vitesse 380-500VAC 11KW	
AMG 83 S W29 S2048	Encodeur	
MZT6-03VPS-KP0	Detection 2 anti chute	
IME12-04BPSZC0K	linit levage	
XCKP2102M12	Mou de sangle 1	
	Mou de sangle 2	
ABE 9C1240M	Repartiteur	

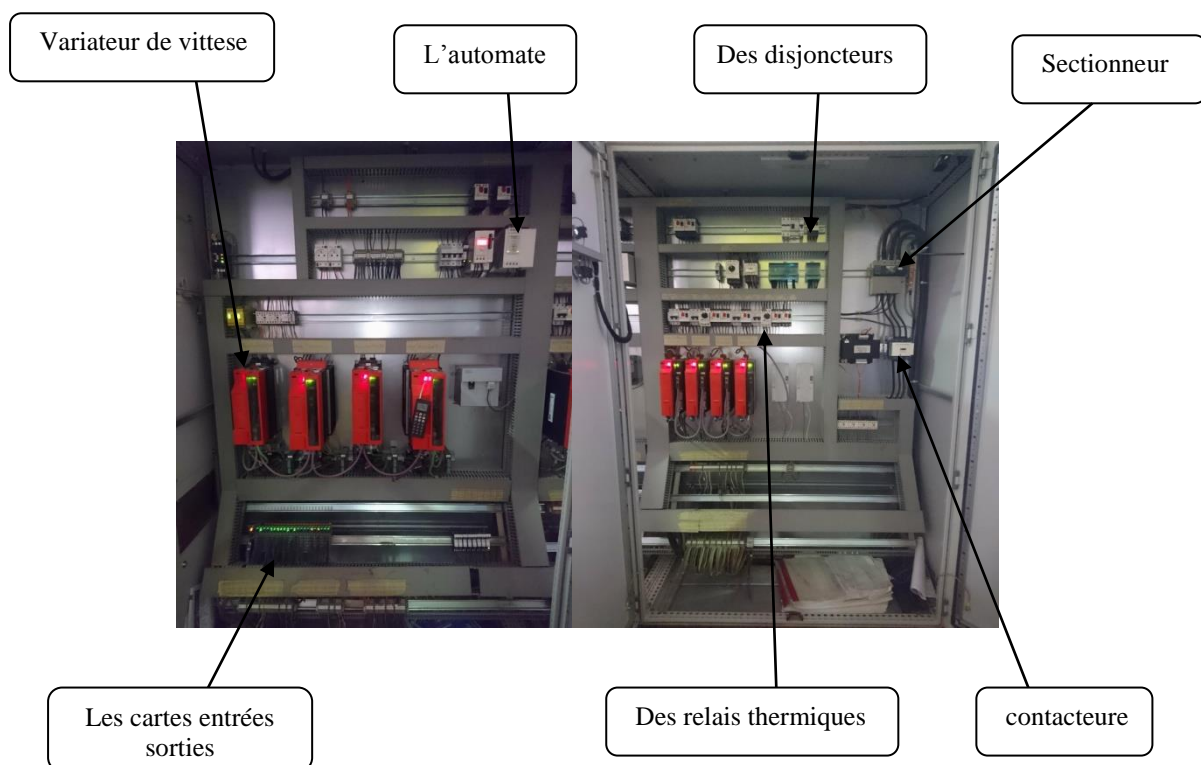
MZT6-03VPS-KP0	Position ouverte pince 1	<b>Serrage pince B08</b>
	Position fermee pince 1	
	position ouverte pince 2	
	Position fermee pince 2	
	Position ouverte pince 3	
	Position fermee pince 3	
EV-24V	Ouverture pince B08	
	Fermeture pince B08	
ABE 9C1280M	Repartiteur	
CMP40M (3000 tr/min)	Servomoteur 0.8NM 400VCA SB	<b>Ecartement pince B08</b>
MDX61B0005-5A3-4-OT	Variateur de vitesse 380-500VAC 0.55KW	
	Encodeur	
IME12-04BPSZC0K	Init écartement	
CMP71S (3000 tr/min)	Servomoteur 6.4NM 400VCA SB	<b>Rotation pince B08</b>
MDX61B0005-5A3-4-OT	Variateur de vitesse 380-500VAC 0.55KW	
	Encodeur	

IME12-04BPSZC0K	Init rotation pince	
ABE 9C1280M	Repartiteur	

**Tableau.I.1** Tableau d'éléments de l'unité

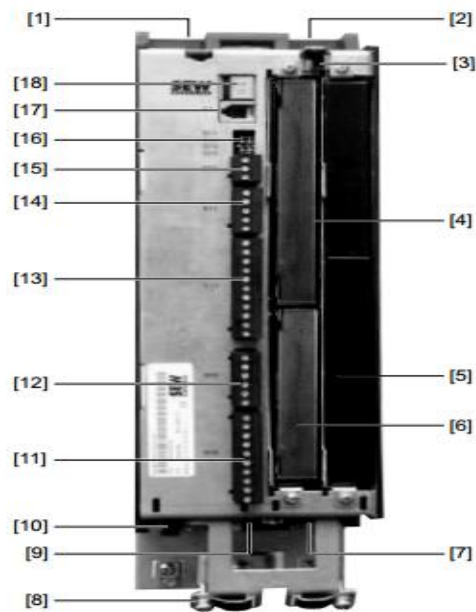
#### IV. Armoire électrique

Il contient les variateurs de vitesse des moteurs, un automate programmable (Schneider. **Modicon Premium TSX P573623 M**) et l'appareillage électrique (contacteurs, Des relais thermiques et les fusibles .....)



**Figure.I.18.** Image de l'armoire électrique.

## IV.1. Variateur



**Figure.I.19.** Schéma d'un variateur de vitesse ( MDX61B0030-5A3-4-OT ).

- [1]: x1: Connexion de l'alimentation électrique L1, L2, 13
- [2]: x4: connexion pour connexion de liaison CC - uz + uz et connexion PE
- [3] carte mémoire
- [4] Fente Fieldbus
- [5] Fente d'extension
- [6] Fente d'encodeur
- [7] x3: Connexion de la résistance de freinage 8 / + R. 9 / -R et PE connexion
- [8] Pince de blindage électronique et connexion PE
- [9] x2: Connexion du moteur 4 / U. 5 / V. 6 / W
- [10] x17: Bornier électronique pour contacts de sécurité pour arrêt sûr
- [11] x10: bornier électronique pour sorties binaires et entrée TFITH
- [12] x16: Bornier électronique pour entrées et sorties binaires
- [13] x13: Bornier électronique pour entrées binaires et interface RS-485
- [14] x11: Bornier électronique pour entrée de consigne A11 et tension de référence 10 v
- [15] x12: bornier électronique pour bus système (sBus)
- [16] Interrupteurs DIP S11 ..... S14
- [17] XT: emplacement pour le clavier DBG60B ou l'interface série UWS21B
- [18] Affichage à 7 segments

## IV.2. Automate



**Figure.I.20.** Schéma électrique d'un automate (Schneider . Modicon Premium TSX P573623 M).

L'étude détaillée du variateur de vitesse et de l'automate programmable (Schneider. Modicon Premium TSX P573623 M ) sera traité d'une manière approfondie dans les prochains chapitres.

## V. Conclusion

Cette étude détaillée, nous a permis de nous familiariser avec la machine, par ces différents éléments et de bien comprendre le fonctionnement de la zone de dépileur et la machine de paquettisation (pince de paquettisation).

## I. Systèmes automatisés

### I.1. Introduction aux systèmes automatisés

Les constructeurs de machines et d'équipements sont obligés de proposer des machines de plus en plus flexibles et productives à des prix en baisse. Pour relever ce défi, ils imposent de nouvelles contraintes aux automatismes, qui se traduisent au niveau des contrôleurs par l'enrichissement des fonctionnalités, l'accroissement de la vitesse de traitement, la diminution de la taille, l'élargissement des possibilités de mise en réseau mais aussi par la réduction des coûts d'ingénierie.

Les premiers systèmes conçus ont été des systèmes mécaniques c'est à dire des systèmes pour lesquels l'opérateur apporte non seulement son savoir-faire mais aussi l'énergie nécessaire à la modification de la matière d'œuvre. Un des premiers objectif de l'automatisation est de supprimer des tâches pénibles l'autre objectif de l'automatisation est aussi d'accroître la rentabilité du système. La première évolution des systèmes est la mécanisation, la mécanisation permet de limiter l'énergie apportée par opérateur.

### I.2. Historique

Au début des années 50, les ingénieurs étaient déjà confrontés à des problèmes d'automatismes, les composants de base de l'époque étaient les relais électromagnétiques à un ou plusieurs contacts. Les conçus comportaient certaines voire des milliers de relais. Le transistor n'était connu que comme un composant d'avenir et les circuits intégrés étaient inconnus.

Vers 1960, les semi -conducteur (transistor, diodes) sont apparus dans les automatismes sous forme de circuits digitaux. Ce n'est que quelques années plus tard, que l'apparition des circuits intégrés a amorcé une révolution dans la façon de concevoir les automatismes. Ceux-ci étaient très peu encombrants et leur consommation était des plus réduite. On pouvait alors concevoir des fonctions de plus en plus complexes à des couts toujours décroissantes.

C'est en 1969 que les constructeurs américains d'automobiles (General Motors en particulier) ont demandé aux firmes fournissant le matériel d'automatisme des systèmes plus évolués et plus souples pouvant être modifié simplement sans couts exorbitants.

Les ingénieurs américains ont résolu le problème en créant un nouveau type de produit nommé automates programmables. Ils n'étaient rentables que pour des installations d'une certaine complexité, mais la situation a très vite changée, ce qui a rendu les systèmes câblés obsolètes.

De nombreux modèles d'automates sont aujourd'hui disponible ; depuis les nano automates bien adaptés aux machines et aux installations simples avec un petit nombre d'entrées/sorties, jusqu'aux automates multifonctions capable de gérer plusieurs milliers d'entrée/sorties et destinés au pilotage de processus complexes.

### **I.3. Objectif d'un système automatisé**

L'automatisation est un moyen permettant d'accroître la compétitive du produit élaboré par le système objet de cette automatisation. Elle permet de :

- accroître la productivité de l'entreprise en réduisant les couts de production.
- améliorer la flexibilité de la production.
- augmenter la qualité du produit.
- s'adapter à des contextes particuliers.
- augmenter la sécurité.

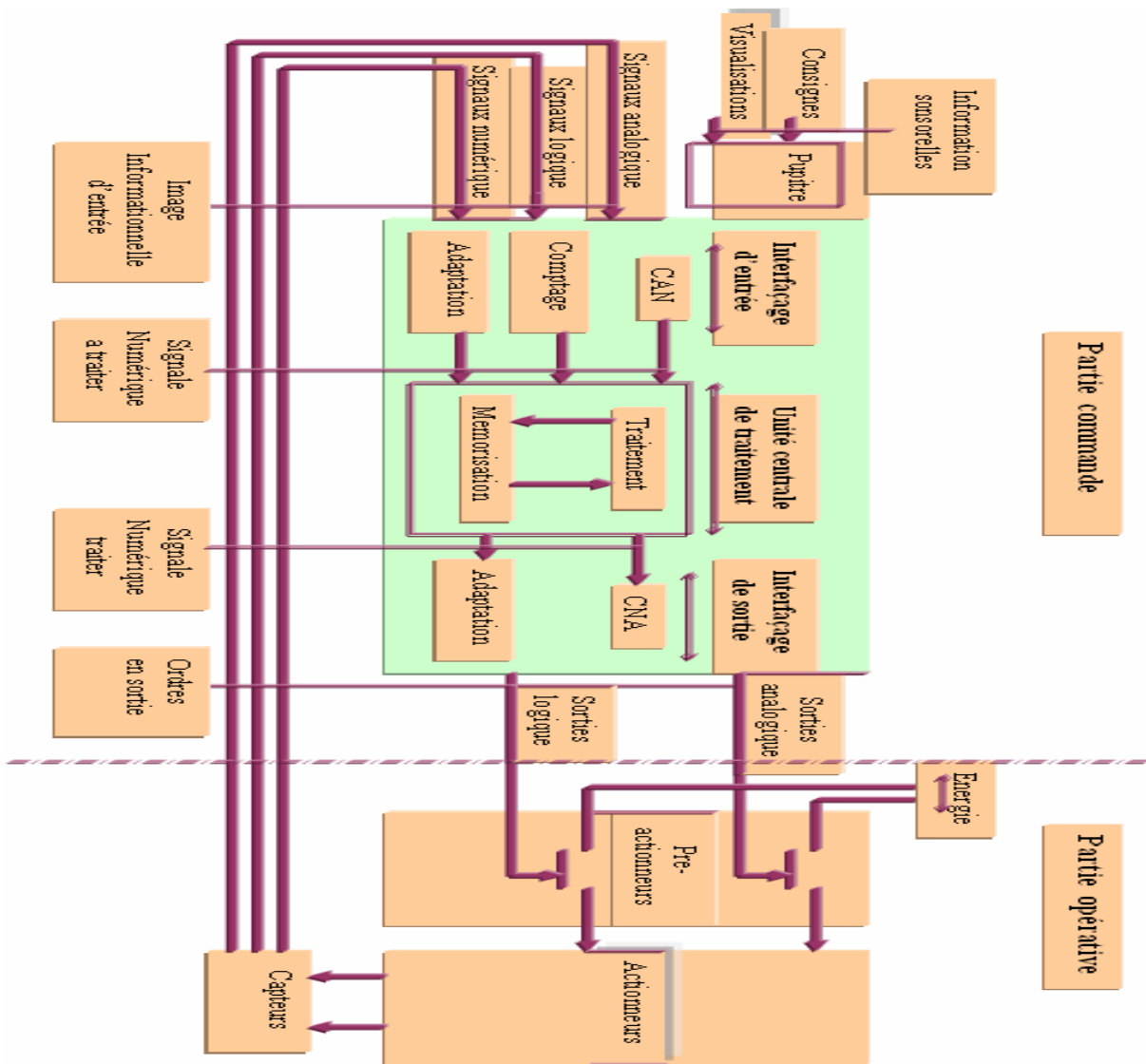


Figure.II.1. Schéma générale d'un système automatisé.

Un système automatisé est constitué d'une partie commande (PC) et d'une partie opérative (PO).

## I.4. Structure d'un système automatisé

### I.4.1. Partie opérative

Egalement appelée « partie puissance », la partie opérative comporte les actionneurs et les Éléments fonctionnels (éléments mécaniques, outillages,...) qui agissent sur le processus Automatisé [1].



La partie opérative est l'ensemble des moyens techniques qui effectuent directement le processus de transformation de la matière d'œuvre, à partir des ordres fournis par la partie commande et l'opérateur .elle agit directement sur la matière d'œuvre (exemple : pièce à déplacer) pour lui apporter une valeur ajoutée. Elle reçoit les ordres de la partie commande et elle lui adresse des comptes rendus .les informations circulent d'une partie à l'autre par l'intermédiaire d'interfaces. Elle regroupe l'ensemble des opérateurs techniques qui assurent et contrôlent la production des effets utiles pour lesquels le système automatisé a été conçu .on retrouve dans la partie opérative les actionneurs, pré actionneur, les effecteur .le constituant supplémentaire qui permet le opérative est formé de :

#### **I.4.1.1. Actionneur**

Est un élément de la partie opérative qui reçoit une énergie « transportable » pour la transformer en énergie « utilisable » par le système .Il exécute les ordres en reçus en agissant sur le système ou son environnement.

Un actionneur est un système dont la matière d'œuvre est l'énergie et dont la fonction est de transformer l'énergie. Les actions sont les interventions physiques que le système de commande impose au processus industriel.

#### **I.4.1.2. Pré actionneur**

Le pré actionneur est le constituant qui autorise le passage de l'énergie nécessaire à l'actionneur en fonction des ordres reçut, de type tout ou rien. Progressif, il ne laisse passer qu'une quantité d'énergie proportionnelle à la commande pour commander l'énergie on peu citer comme exemple :

- Contacteur pour moteurs électriques.
- Variateur de vitesse pour moteurs électriques.
- Distributeur pour vérins pneumatiques ou hydrauliques.

Pour la protection :

- Fusible et relais thermiques.
- Disjoncteur magnétothermiques.

### I.4.1.3. Capteurs

Le capteur permet de prélever sur la partie opérative, l'état de la matière d'œuvre et son évolution ; un capteur est capable de détecter un phénomène physique dans son environnement (déplacement, présence, chaleur, lumière, pression) puis transformer l'information physique en une information codée compréhensible par la partie commande. Les capteurs transforment les variations des grandeurs physiques liées au fonctionnement de l'automatisme en signaux électriques. Par exemple, le capteur de température d'un lave-linge transforme la variation de la grandeur physique température du bain en un signal électrique. Donc, ils remplacent, pour la partie commande, les sens de l'opérateur [4].

### I.4.2. Partie commande

Elle coordonne les actions de la partie opérative, en lui envoyant les ordres de commande pour le cycle voulu, et en recevant en retour les informations qui rendent compte.

Essentielle pour une bonne pratique de l'automatisation [16], cette distinction doit être faite à toutes les étapes de l'automatisation : conception, réalisation, dépannages, ...

Elle est considérée comme le (cerveau) du système. La partie commande remplace l'opérateur, le savoir-faire de l'opérateur est traduit sous la forme d'un programme. Elle donne les ordres à la partie opérative en fonction :

- Du programme qu'elle contient
- Des informations reçues par les capteurs
- Des consignes données par l'utilisateur

La partie commande peut être réalisée soit par :

- Une logique câblée : son principal avantage est la rapidité (temps réel) ainsi que le coût (un câblage électrique, un circuit électronique).
- Une logique programmée : ses avantages sont facilité de réalisation, multitâche, utilisable pour plusieurs applications (automate programmable, PC)

L'évolution du système automatisé est l'intégration du savoir de l'opérateur sous la forme d'un programme (câblé ou programmé).

Dans cette forme de système l'opérateur ne fait plus partie du système, il se retrouve à l'extérieur du système, son rôle se limite à l'émission des consignes de démarrage ou de configuration et à un contrôle de sécurité et de bon fonctionnement du système.

Le dialogue entre l'opérateur et le système est réalisé au travers d'un pupitre.

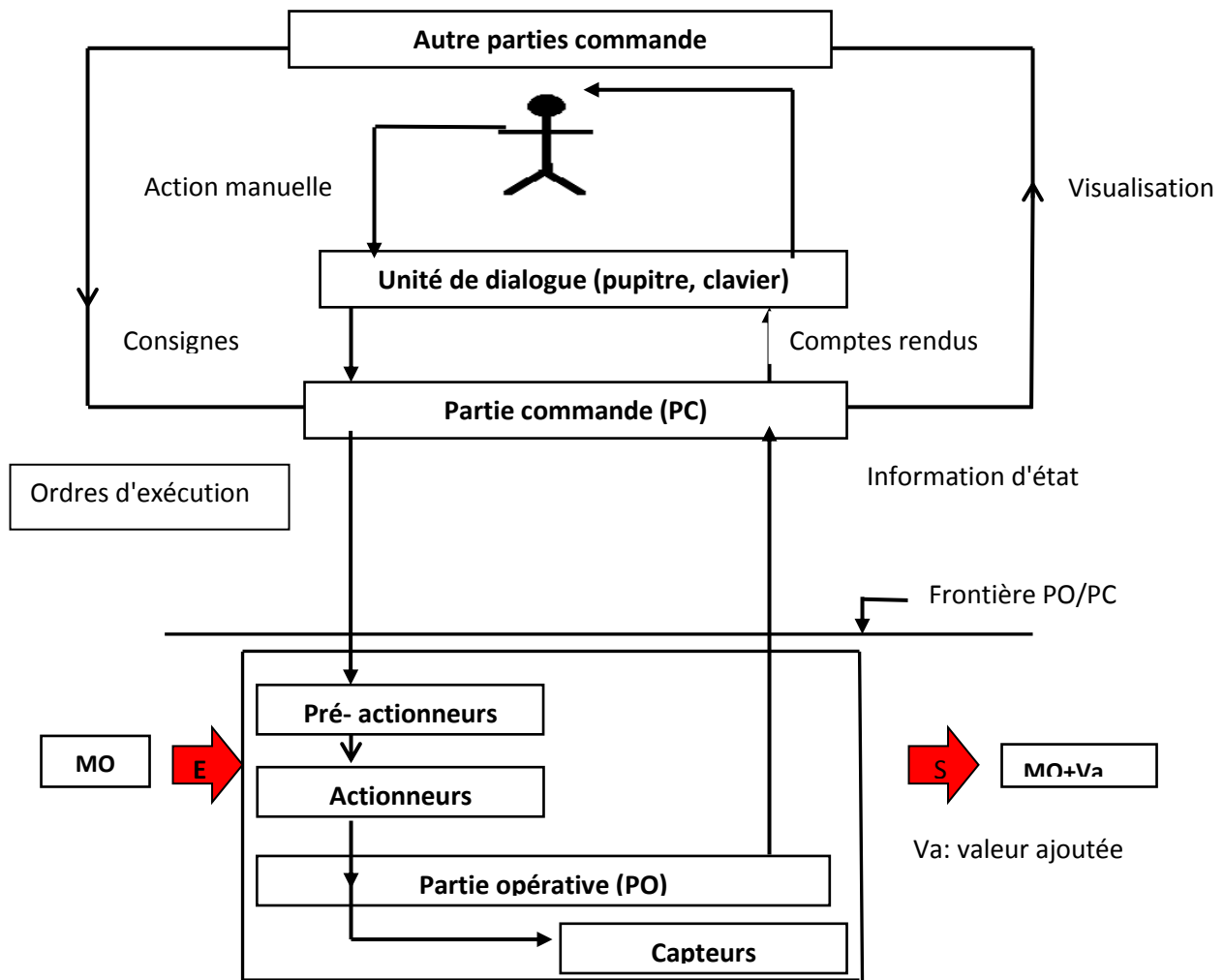


Figure.II.2. Représentation d'un système automatisé.

## II. Automate programmable industriel (API)

### II.1. Introduction

Utilisant les dernières ressources technologiques en matière de mémoires, circuits intégrés et microprocesseurs, les API tendent à remplacer une grande partie de l'ensemble d'automatisation à relais électromagnétiques ou à relais statiques.

L'automate programmable industriel (API) a d'abord remplacé l'armoire de relayage électromécanique, puis l'évolution très rapide des technologies de l'électronique, de la micro-informatique et du génie logiciel a provoqué une véritable explosion de ses fonctionnalités.

Dans l'industrie, de nombreux domaines sont devenus inconcevables sans l'appui des automates programmables, car l'homme est devenu absolument incapable d'assimiler la masse

d'informations qui arrivent en un temps aussi court et de les analyser pour en déduire les décisions techniquement appropriées. L'API est capable de travailler en ambiance industrielle extrêmement sévère [9].

## II.2. Définition

L'automate programmable est un système de traitement logique d'informations dont le programme de fonctionnement est effectué à partir d'instructions établies en fonction du processus à réaliser. C'est un système informatique dédié aux applications d'automatisme.

L'automate programmable, issu d'une lignée à usage spécifique, se place entre deux grands courants : la logique câblée et le calculateur universel. Sa date de création coïncide approximativement avec le début de l'ère du microprocesseur et avec la généralisation de la logique câblée modulaire. L'automate est, à notre sens la première machine à langage, c'est-à-dire un calculateur logique programmable destiné à exécuter, en ambiance industrielle, un jeu d'instructions, orienté à évolution séquentielle [9].

## II.3. Avantages de l'automate programmable industriel

Les avantages de l'automate sont nombreux, pour l'utilisateur. Ils se situent à plusieurs niveaux :

### II.3.1. Logiciel

- ✓ Absence d'entretien.
- ✓ Robustesse.
- ✓ Economie.
- ✓ Sûreté.
- ✓ Gagne en temps.
- ✓ Striation emplacement la lésion de facilité.
- ✓ Ajout jusque possible changement fonction le circuit par programme.
- ✓ Insensibilité aux parasites industriels.

### II.3.2. Industriel

- ✓ Cahier des charges accessible à tous (souplesse d'application).
- ✓ Sauvegarde de programmes.
- ✓ Simplicités des langages de programmation.
- ✓ Possibilité de dialogue avec son entourage.

### II.3.3. Exploitation

- ✓ Souplesse d'emploi.
- ✓ Connexions aux organes de gestion.
- ✓ Intervention sur processus en cours.
- ✓ Modification instantanée (par console) du programme.
- ✓ Suivi temps réel l'évolution de l'automatisme.
- ✓ Exploitation (fonctionnement) en conditions sévères.

### II.4. Principe

Un automate programmable industriel ou API est un appareil électronique qui Comporte essentiellement un microprocesseur et une mémoire programmable par un utilisateur à l'aide d'un langage adapté et des modules de communications (entrée/sortie).

Matériellement, c'est un boîtier lié à l'extérieur par deux flux de signaux :

- ❖ Les signaux d'entrée : signaux en retour de la machine, signaux de commande issus du pupitre ...etc.
- ❖ Les signaux de sortie : signaux de commande émis vers la machine, signaux de visualisation vers le pupitre...etc.

Lorsque l'automate programmable est en service sur la machine, il émet à chaque instant les signaux de sortie nécessaires, en tenant compte de l'état des signaux d'entrée, et de l'avancement du cycle. Pour cela, il a comme référence un programme. Chaque automate programmable doit donc pouvoir stocker dans sa mémoire le volume d'informations nécessaire pour exécuter le programme. Par ailleurs, les nombreuses opérations logiques de comparaison des états pris par la machine et des états demandés par le programme doivent s'effectuer rapidement. Seule la technologie électronique intégrée permet de répondre à ces deux exigences dans un volume réduit et pour un coût acceptable.

### II.5. Architecture et liaison d'un API

Un API est un système muni d'un microprocesseur ; Le processeur dialogue avec les entrées/sorties, la mémoire, l'outil de programmation et éventuellement avec le réseau de communication. La mémoire contient, sous forme binaire les informations indispensables au bon fonctionnement de l'API (programme et données) [3].

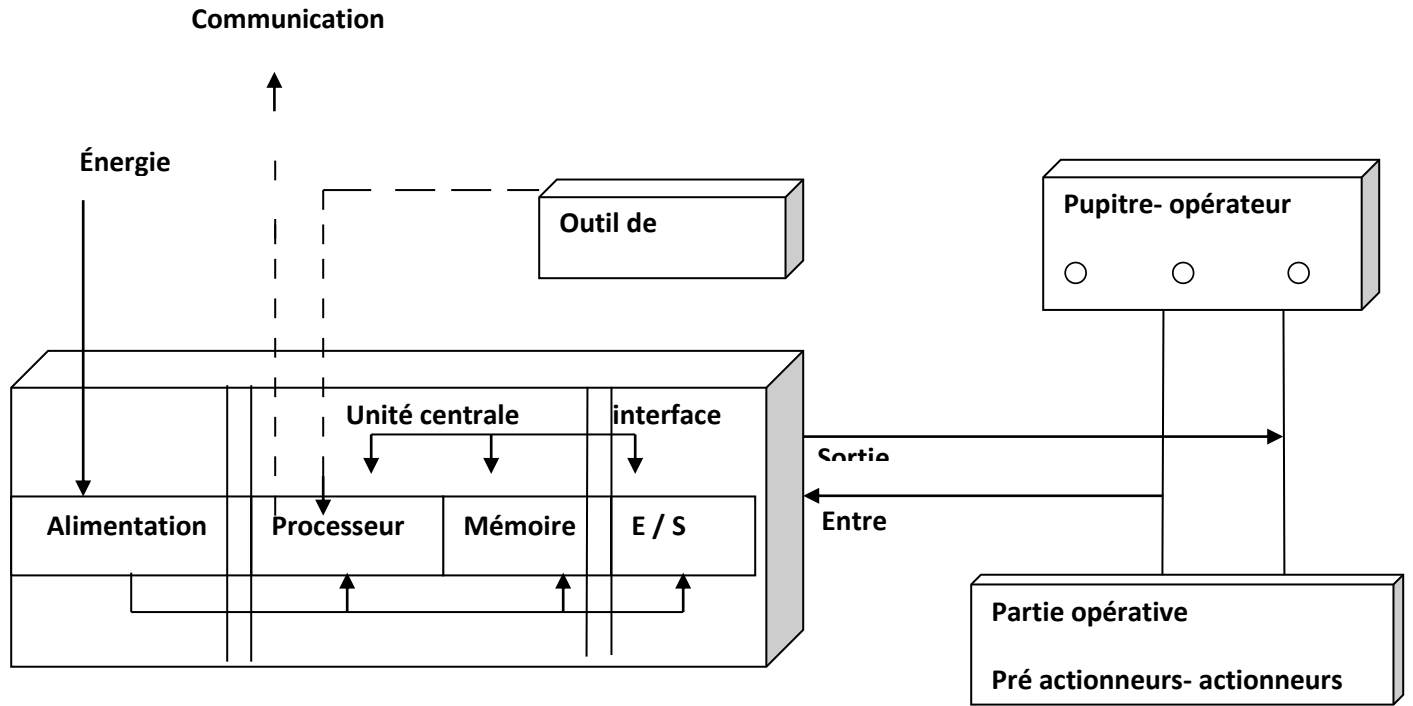


Figure.II.3. Architecture et liaisons d'un API.

## II.6. Organisation fonctionnelle de l'API

La structure matérielle interne d'un API obéit au schéma donné sur la figure.II.4 [4].

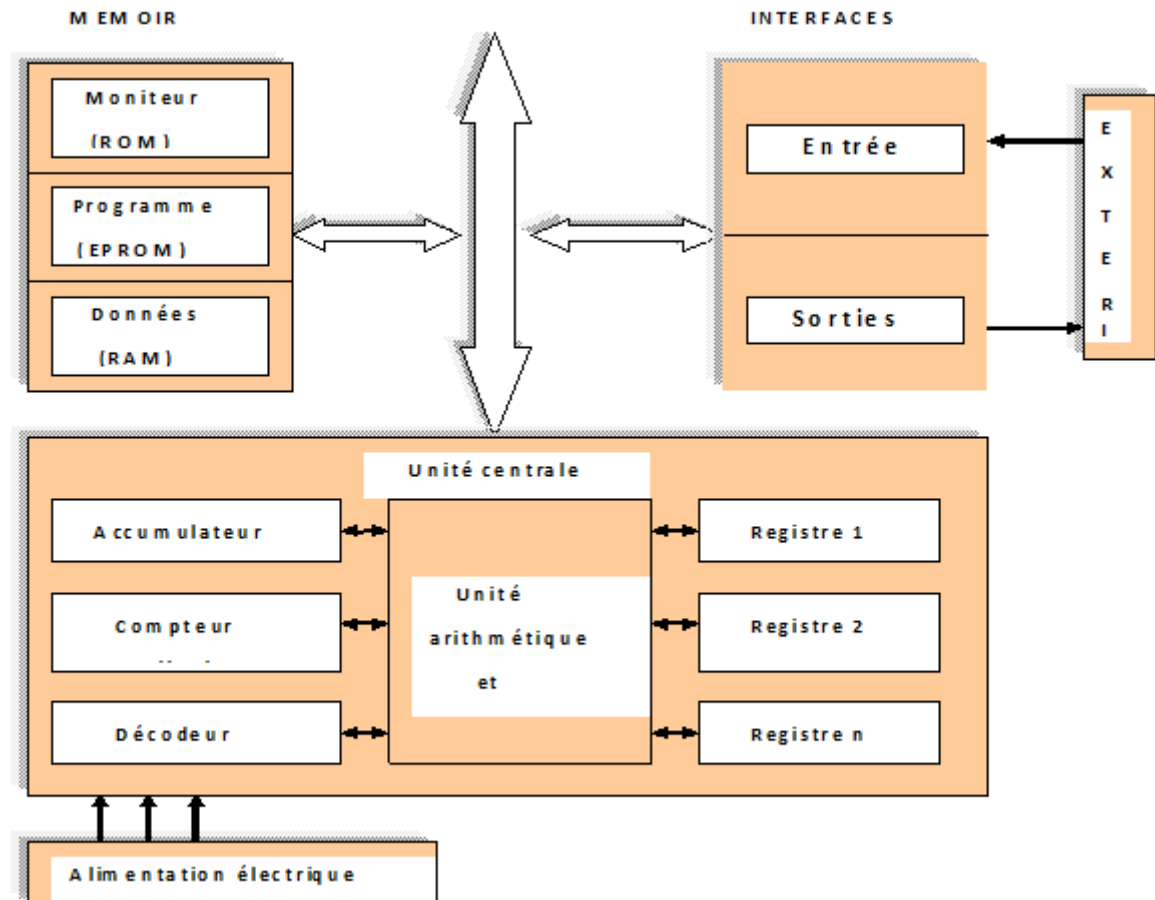


Figure.II.4. Architecture d'un API.

Nous analyserons successivement chacun des composants qui apparaissent sur la Figure. II.4.

### II.6.1. Unité centrale

L'unité centrale UC est une carte électronique bâtie autour du processeur(s), qui assure tous les opérations arithmétiques et logiques avec la temporisation et comptage

Il existe trois technologies de réalisation :

- La technologie câblée
- La technologie à microprocesseur
- La technologie mixte

✚ **Le processeur :**

Le processeur a pour rôle principal le traitement des instructions qui constituent le programme de fonctionnement de l'application. Mais en dehors de cette tâche de base, il réalise également d'autres fonctions :

- Gestion des entrées/sorties.
- Surveillance et diagnostic de l'automate par une série de tests lancés à la mise sous tension ou cycliquement en cours de fonctionnement.
- Dialogue avec le terminal de programmation aussi bien pour l'écriture et la mise au point du programme qu'en cours d'exploitation pour des réglages ou des vérifications de données.

#### ✚ **Éléments de stockage :**

Le stockage des données et des programmes s'effectue dans des mémoires, il existe plusieurs types de mémoire tel que :

La mémoire vive (**RAM**) est volatile mais secourue par batterie.

La mémoire morte (**ROM**) dont l'utilisateur ne peut que lire le contenu.

La mémoire de chargement (EPROM) sert à l'enregistrement du programme.

La capacité de stockage d'une mémoire s'exprime en k octets ou k mots (Ko) : 1 Ko = 1024 8 bits). Il faut connaître la capacité minimale utile de l'API, mais aussi la capacité maximale que l'on peut obtenir par diverses extensions.

#### ✚ **Les liaisons :**

Le  $\mu p$  a besoin de communication avec tous les circuits de son entourage tel que mémoire, modules d'entrée/sortie...etc. Cette opération est assurée par trois types de BUS.

- Bus de donnée : (Data bus), bidirectionnel qui assure le transfert des informations entre le microprocesseur et son environnement, et inversement ; son nombre de lignes est égal à la capacité de traitement du microprocesseur ;
- Bus d'adresse : (Adresse bus), unidirectionnel qui permet la sélection des informations à traiter dans un espace mémoire qui peut avoir  $2^n$  emplacements, avec  $n$  = nombre de conducteurs du bus d'adresses
- Bus de commande : (Control bus), constitué par quelques conducteurs qui assurent la synchronisation des flux d'informations sur les bus des données et des adresses.

### **II.6.2. Modules d'entrées/sorties (E/S)**

Ils assurent le rôle d'interface entre la partie commande (PC) et la partie opérative (PO) ils doivent :





### ■ II.6.2.2. Interfaces de sorties

Elles sont destinées à commander les prés - actionneurs et éléments des signalisations du système adapter les niveaux de tensions de l'unité de commande à celle de la partie opérative du système en garantissant une isolation galvanique entre ces dernières[1].

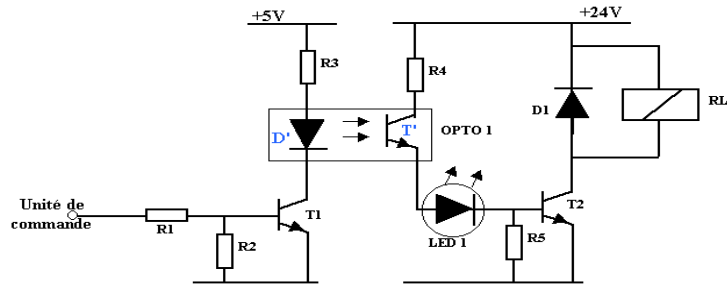


Figure.II.6. Interfaces de sorties.

### II.6.3. Alimentation électrique

L'alimentation électrique a pour rôle de fournir les tensions continues que nécessitent les composants (5 V, 12 V...) avec de bonnes performances, notamment face aux microcoupures du réseau. Sa source d'énergie est normalement le réseau électrique, parfois du 24 V continu. Il ne faut pas oublier que les châssis d'extension et les entrées/sorties déportées doivent aussi disposer d'une alimentation. Il est parfois nécessaire, pour lutter contre les perturbations électriques, d'introduire un transformateur d'isolement. C'est notamment le cas pour les raccordements à un réseau électrique à « neutre flottant ». Un onduleur évite les risques de coupure si celles-ci risquent de dépasser les tolérances admises [24].

### II.6.4. Communication d'API

L'automate doit pouvoir se connecter et dialoguer avec d'autres matériels et les agents d'exploitation.

#### Besoins de communication

L'API ne se borne pas à communiquer avec le processus qu'il pilote via ses modules d'E/S. Parmi les autres types de relations susceptibles d'être assurées, nous citerons seulement

- La communication avec un opérateur par un pupitre ou un terminal industriel ;
- L'affichage local de valeurs numériques ou de messages ;
- Les échanges d'informations avec d'autres API ou systèmes de commande ;

- Les échanges d'informations avec des capteurs et actionneurs intelligents ;
- Les échanges d'informations avec un superviseur ;
- Les échanges d'informations avec un processeur maître, ou, au contraire, avec des esclaves, dans le cadre d'un réseau.

## II.7. Choix d'un API

Il faut considérer particulièrement les points suivants :

- Le nombre d'E/S ; attention aux possibilités d'extension et à leur forme (même châssis, châssis rajoutés, E/S déportées) ;
- la taille du programme ; outre la limitation de taille globale par la mémoire programme, peuvent exister des limitations catégorielles liées à un type de programmation ; peu d'API pourraient traiter un programme correspondant à des milliers d'étapes GRAFCET, ce qu'atteignent des applications dans le nucléaire, par exemple ;
- La vitesse de traitement ; rappelons qu'elle est variable et dépend essentiellement du type du µp, certaines machines offrent la possibilité de « tâche rapide », avec un gain en vitesse mais des fonctionnalités restreintes pour ces tâches ;
- Les fonctions complémentaires : temporisateurs et compteurs ; leurs caractéristiques (gamme de base de temps, cadence de comptage, types de fonctionnement tels que sorties impulsionnelles, types de remises à zéro) sont aussi importantes que leur nombre dans certaines applications ;
- Les langages de programmation ; la norme ne constitue qu'un socle ; les jeux d'instruction sont plus ou moins riches : voir le problème des extensions du GRAFCET (forçage), des traitements sur mots ;
- Le nombre de voies analogiques ; attention au nombre de sorties, à la quantification et aux modes de conversion analogique/numérique et réciproquement, qui influent sur les temps de réaction ; ainsi qu'à la manière dont est géré le temps réel en régulation ;
- Le nombre et le type de liaisons inter processeurs ; l'existence de plusieurs liaisons potentielles, en particulier de liaisons série, est un avantage ;
- La capacité de traitement arithmétique ; elle est encore plus difficile à évaluer que pour le TOR ; certains tests portant sur une catégorie d'opérations apportent des indications partielles mais utiles ;



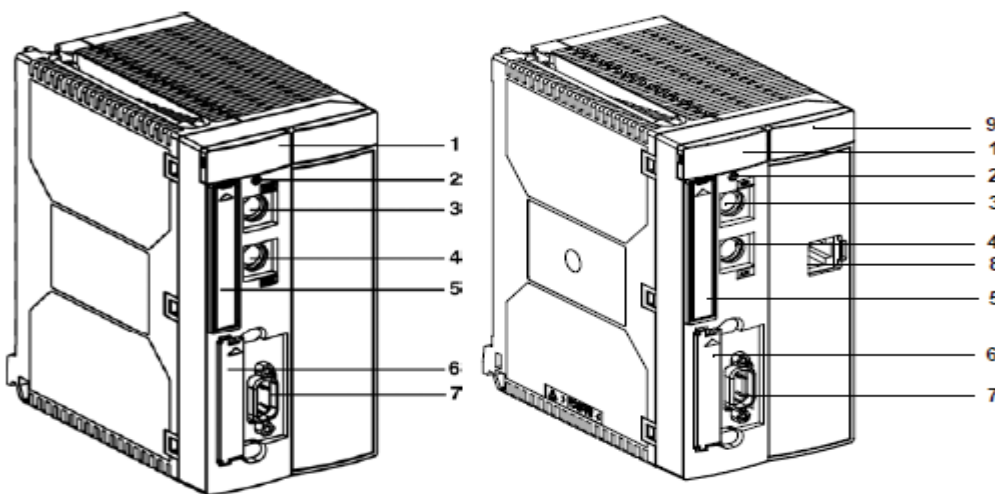
### III.1. Présentation de l'automate ( Modicon Premium TSX P57 3623 M )

Les processeurs des plates-formes d'automatisme Premium TSX P57 pp3M/3AM et TSX P57 pp23M/23AM gèrent l'ensemble d'une station automate constituée de modules d'E/S "Tout ou Rien", modules de sécurité Preventa, de modules d'E/S analogiques et de modules métiers pouvant être répartis sur un ou plusieurs racks connectés sur le bus X ou pouvant être distribués sur bus de terrain.

Les processeurs proposés sont segmentés par des capacités différentes au niveau de la mémoire, des entrées/sorties "In rack", des communications ainsi que par leurs vitesses de traitement. Selon le modèle :

- De 4 à 16 racks.
- De 512 à 2040 entrées/sorties "Tout ou Rien".
- De 24 à 256 entrées/sorties analogiques.
- De 8 à 64 voies métiers. Chaque module métier (comptage, commande de mouvement, liaison série ou pesage) compte pour 1 ou plusieurs voies métiers.
- De 1 à 4 réseaux (Ethernet Modbus/TCP, Fipway, Ethway, Modbus Plus), de 2 à 8 bus capteurs/actionneurs AS-Interface, de 1 à 2 bus de terrain (CANopen, INTERBUS, Profi bus DP), 0 ou 1 bus de terrain Fipio, des liaisons séries (Modbus, Uni-Telway).
- De 10 à 20 voies de régulation [1] [9].

### III.2. Description de l'automate TSX P57 3623 M



Numéro	Fonction
1	Bloc de visualisation comprenant 4 ou 5 voyants.
2	Bouton <b>RESET</b> à pointe de crayon provoquant un démarrage à froid de l'automate lorsqu'il est actionné. <ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>Processeur en fonctionnement normal</b> : démarrage à froid en mode <b>STOP</b> ou <b>RUN</b>, en fonction de la procédure définie lors de la configuration.</li> <li>● <b>Défaut processeur</b> : démarrage forcé en mode <b>STOP</b>.</li> </ul>
3	Prise terminal (Connecteur <b>TER</b> (mini-DIN 8 points)) : Elle est utilisée pour raccorder une borne type FTX ou compatible PC, ou pour raccorder l'automate au bus UNI-TELWAY par le boîtier d'isolement TSX P ACC 01. Ce connecteur est utilisé pour fournir 5 V à la périphérie qui y est reliée (qui sont limités par le courant disponible fourni par l'alimentation).
4	Prise terminal (Connecteur <b>AUX</b> (mini-DIN 8 points)) : il permet de raccrocher un périphérique auto-alimenté (terminal, pupitre de dialogue opérateur ou imprimante (pas de fourniture de tension sur ce connecteur).
5	Emplacement pour une carte d'extension mémoire PCMCIA type 1. En l'absence de carte mémoire, cet emplacement est équipé d'un cache qu'il est <b>obligatoire de maintenir en place; son extraction provoquant l'arrêt du processeur.</b>
6	Emplacement pour une carte PCMCIA type 3. Cet emplacement peut accueillir l'une des cartes suivantes : <ul style="list-style-type: none"> <li>● une carte d'extension mémoire,</li> <li>● une carte de communication permettant le raccordement au processeur d'une voie de communication FIPWAY, FIPIO Agent, UNI-TELWAY, liaison série.</li> </ul> En l'absence de carte, cet emplacement est équipé d'un cache.
7	Connecteur SUB D 9 points pour raccordement bus FIPIO maître. Ce connecteur n'est présent que sur les processeurs TSX P57 ••53.
8	Connecteur RJ 45 pour raccordement au réseau Ethernet. Ce connecteur n'est présent que sur les processeurs TSX P57 ••23.
9	Bloc de visualisation de l'ETY PORT comprenant 6 voyants.

**Tableau.II.1** Tableau de les éléments de l'automate TSX P57 3623 M

### III.3. Fonctions

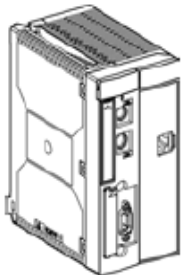
Les processeurs Premium TSX P57 gèrent l'ensemble d'une station automate constituée de :

- modules d'entrées/sorties TOR,
- modules d'entrées/sorties analogiques,

- modules métiers (comptage, commande d'axes, commande pas à pas, communication...), pouvant être répartis sur un ou davantage de racks raccordés au bus X. L'application est conçue à l'aide de PL7 Junior ou PL7 Pro sous Windows, qui offrent :
- quatre langages de programmation : langages Grafcet, à contacts, littéral structuré et List,
- une structure logicielle multitâches : tâche maître, tâche rapide, traitements sur événements,
- la modification d'un programme en cours d'exécution, etc ...

### III.4. Caractéristiques générales de TSX P57 3623 M

Le tableau suivant présente les caractéristiques générales du processeur TSX P 57 3623 M.

Référence	TSX P57 3623		
			
Configuration maximale	Nb maxi de racks TSX RKY 12EX	8	
	Nb maxi de racks TSX RKY 4EX/6EX/8EX	16	
	Nb d'emplacements maximum	avec TSXRKY 12EX	86
		avec TSXRKY 4EX, 6EX, 8EX	110
Fonctions	Profil d'E/S (2)	fixe	
	Nb maxi de voies	E/S TOR en rack	1024
		E/S analogiques en rack	128
		Métiers (comptage, axe...)	32
	Nb maxi de connexions	UNI-TELWAY intégré (prise terminal)	1
		Réseau (ETHWAY, FIPWAY, Modbus Plus, Ethernet embarqué (3))	3
		FIPIO maître (intégrée)	-
		Bus de terrain tiers	2
		Bus de terrain AS-i	8
Horloge temps réel sauvegardable	oui		

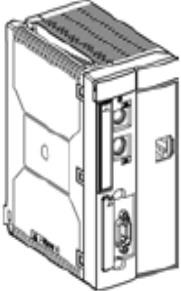
Référence	TSX P57 3623		
			
Capacité Mémoire	RAM interne processeur		80K16/96K16(1)
	Carte mémoire PCMCIA (capacité maximale)	Zone application	384K16
		Zone symbole	256K16
		Zone fichier	640K16 voie 0 + 2048K16 voie 1
Structure application	Tâche maître		1
	Tâche rapide		1
	Traitements sur événements (dont 1 prioritaire)		64
Temps d'exécution code application pour 1 K instruction	Ram interne	100% booléen	0,15 ms
		65% booléen + 35% numérique	0,21 ms
	Carte PCMCIA	100% booléen	0,22 ms
		65% booléen + 35% numérique	0,32 ms
Overhead système	Tâche MAST		1 ms
	Tâche FAST		0,25 ms

Tableau.II.2 Caractéristiques générales de TSX P57 3623 M

### III.5. Structure de mémoire

La mémoire application se décompose en zones mémoire, réparties physiquement dans la mémoire RAM interne et la (les) carte(s) extension mémoire PCMCIA :

- Zone des données de l'application toujours en RAM interne.
- Zone du programme application en RAM interne ou dans la carte mémoire PCMCIA.
- Zone des constantes en RAM interne ou dans la carte mémoire PCMCIA.

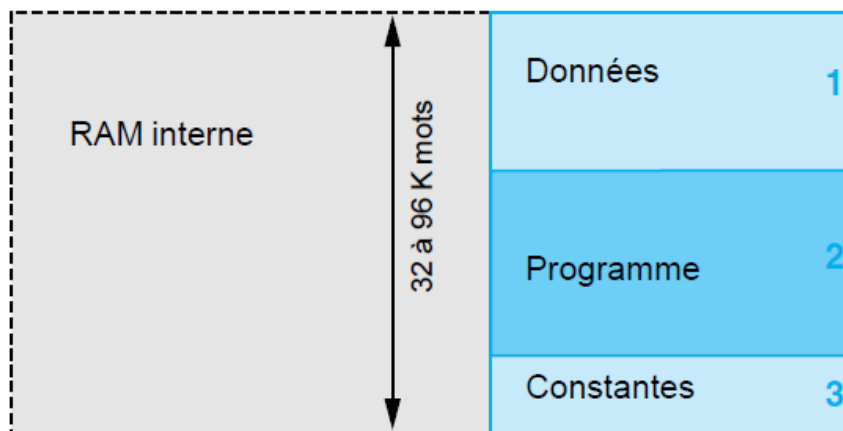
On distingue deux types d'organisation de la mémoire application pour les processeurs **TSX P57 1p3 / 2p3 / 2p23M** et **TSX P57 3p3 / 3623 / 453 / 4823AM** équipés ou non d'une extension mémoire sous forme d'une carte au format PCMCIA [11]



### III.5.1. Application en RAM interne

L'application est entièrement chargée dans la RAM interne sauvegardée (1) du processeur dont la capacité est dépendante du modèle de processeur (32 à 96 K mots).

- Par exemple pour le processeur **TSX P57 1p3M**, répartis en 7,5 K mots de données application et 24,5 K mots de programme, de constantes et de données système (2).
- Cet espace mémoire (de 32 K mots) est réparti entre les données application, le programme, les constantes et les données système (2).

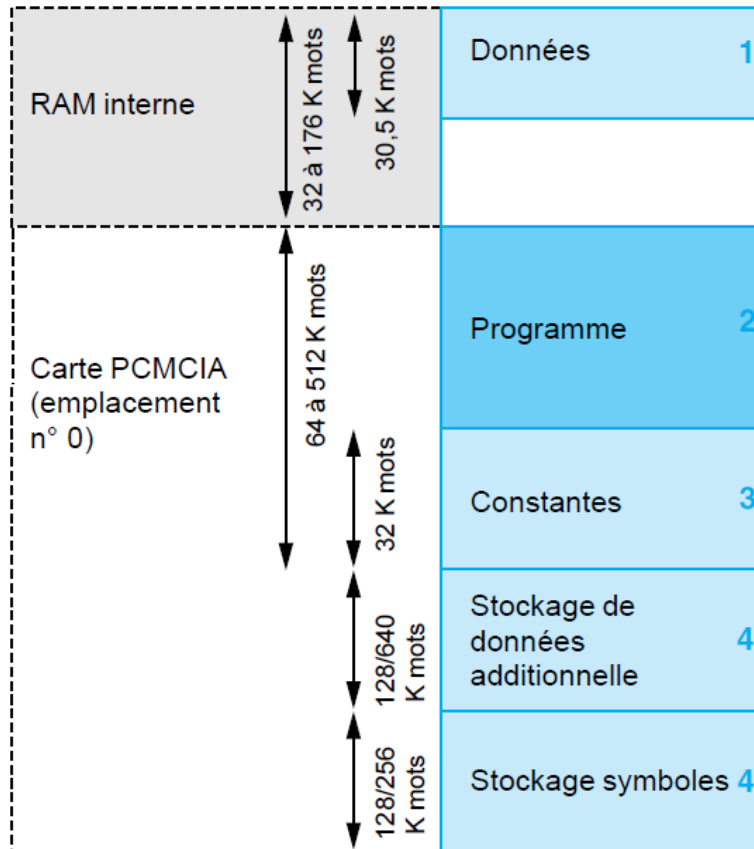


**Figure.II.8.** Processeur sans carte PCMCIA.

- 1** Données application (30,5 K mots maxi).
- 2** Descripteur et code exécutable des tâches.
- 3** Mots constants, valeurs initiales et configuration.

### III.5.2. Application dans la carte PCMCIA (emplacement n° 0)

- ✓ La RAM interne est alors réservée pour les données application.  
La carte mémoire PCMCIA contient le programme et les constantes (64 à 512 K mots).
- ✓ La zone de stockage de fichiers de 128 K ou 640 K mots (selon modèle de carte PCMCIA) peut être utilisée dans le cas d'applications distribuées, pour le stockage d'informations de type données de production, recettes de fabrication...
- ✓ La zone de stockage symboles de 128 K ou 256 K mots (selon modèle de carte PCMCIA) permet de disposer, sur l'automate, de la base des symboles application [17].



**Figure.II.9.**Processeur avec carte PCMCIA.

- 1** Données application (30,5 K mots maxi).
- 2** Descripteur et code exécutable des tâches.
- 3** Mots constants, valeurs initiales et configuration.
- 4** Selon modèle de carte PCMCIA.

### III.5.3. Extension de la zone stockage de données additionnelles (Emplacement n° 1)

Cette zone de 128 ou 640 K mots peut être étendue jusqu'à 2688 K mots par l'utilisation de la carte mémoire PCMCIA SRAM **TSX MRP DS 2048P / MFP 004M**. Cette carte se place dans l'emplacement inférieur des processeurs **TSX P57 2p3 / 2p23M**, **TSX P57 3p3 / 3623 / 453 / 4823AM** et peut s'utiliser conjointement avec les cartes d'extension mémoire (de type 1 dans l'emplacement supérieur) [14].

### III.5.4. Données en RAM interne

La zone de données peut être étendue à 30,5 K mots, elle n'est supportée que par la mémoire RAM interne de l'automate.

Le logiciel PL7 Junior/Pro assiste le concepteur de l'application dans la gestion de la structure et dans l'occupation de l'espace mémoire de l'automate Premium [9].

### III.5.5. Protection de l'application

Quelle que soit la structure mémoire de l'automate : l'application située en RAM interne ou dans la carte PCMCIA, il est possible de protéger celle-ci afin d'interdire son accès (lecture ou modification du programme) en mode connecté sous PL7 Junior/Pro.

Un bit de protection mémoire, à positionner en mode configuration, est également disponible afin de verrouiller toute modification de programme (via terminal de programmation ou téléchargement).

## IV. Conclusion

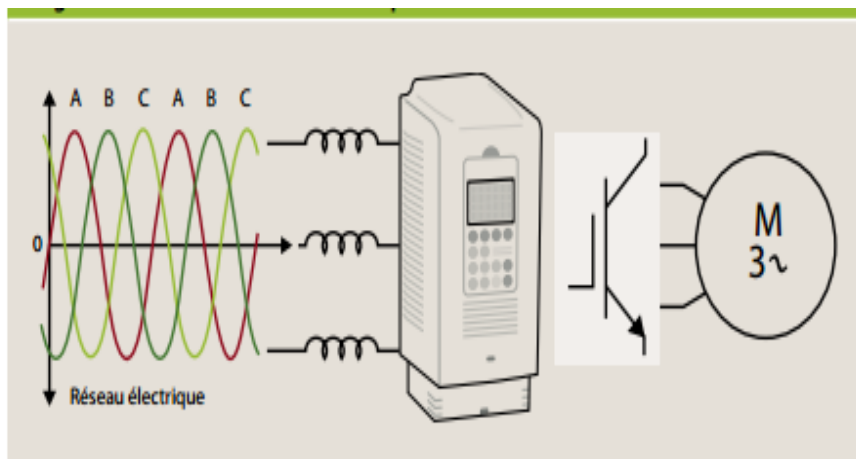
Etude présentée dans ce chapitre nous a permis de faire connaissance des systèmes automatisés et l'application des API dans de tels systèmes. Le côté matériel de l'API définit bien le type d'application dont il est destiné.

## I. Introduction

Un variateur de vitesse est un équipement permettant de faire varier la vitesse d'un moteur, une nécessité pour de nombreux procédés industriels. C'est un module qui est intercalé entre l'automate et le moteur, c'est un pré actionneur dont fonctionnement repose sur l'acquisition instantané des données mesurées par l'intermédiaire de l'encodeur et le bus CAN, la régulation par référence au consigne calculé par l'automate de calcul pour générer par la suite la commande adéquate de l'onduleur pour la régulation et la commande de la vitesse.

Pour moduler la vitesse des équipements de procédé, on a longtemps eu recours à divers dispositifs mécaniques. Aujourd'hui, on fait surtout appel à des variateurs de vitesse électroniques. Pour les procédés industriels exigeant une régulation précise de la vitesse, on a d'abord utilisé des moteurs à courant continu (CC) commandés par des variateurs électroniques à semi-conducteurs. Cette technique consistait à faire varier la vitesse proportionnellement à la tension.

Étant donné la complexité de l'entretien des moteurs CC, les applications récentes n'utilisent que rarement ce système. Dans les premiers variateurs de vitesse électroniques à courant continu, le dispositif de commande utilisé était le thyristor, un dispositif vulnérable aux perturbations du réseau électrique. Depuis, l'électronique de puissance a fait des progrès considérables et on installe de plus en plus des variateurs de vitesse à fréquence variable avec des moteurs à courant alternatif. Ces variateurs de vitesse exploitent le plus souvent la modulation de largeur d'impulsion (MLI) et les transistors bipolaires à grille isolée (IGBT).



**Figure.III.1.** Variateur de vitesse à fréquence variable.

L'objectif de la commande en général, de la MAS en particulier est d'obtenir un système de haute performance. Plusieurs critères de performance peuvent être définis, à savoir : précision en poursuite, précision en régulation (temps de montée ; temps de réponse ; dépassement ; stabilité), robustesse vis-à-vis des perturbations (charge, moment d'inertie) et sensibilité à la variation de paramètres. Avec les progrès de l'électronique de puissance et de la micro-informatique, il est aujourd'hui possible d'obtenir des machines asynchrones aussi performantes que des machines à courant continu. La machine asynchrone présente l'avantage d'être robuste, peu coûteuse et de construction simple. Cette simplicité s'accompagne par l'existence d'un couplage complexe entre les variables d'entrée, les variables de sortie et les variables internes de la machine comme -le flux, le couple, la vitesse et la position, Ce couplage rend la commande de la machine asynchrone beaucoup plus délicate. La technique de commande vectorielle du couple, la plus répandue s'appuie sur les équations dans le repère du flux du rotor. On parle de flux rotorique orienté (FOC pour flux orienté control). Cette méthode a été développée à la fin des années 1980 au sein de Siemens [5]. Son intérêt se trouve dans une simplification de l'expression du couple, et a pour objectif d'aboutir à un modèle simple de la MAS qui permet de commander indépendamment le flux et le couple de la machine. Avec ce découplage la MAS se comporte alors comme une machine à courant continu à excitation indépendante. La commande à flux orienté est généralement employée pour la commande vectorielle des machines de faible et moyenne puissance, pour les machines de forte et de très forte puissance où l'effet de l'onduleur devient sensible, on préfère généralement les techniques appelées commandes directes du couple (DTC pour direct torque control en anglais) [6].

## **Partie 1 : Variateur de vitesse**

### **II. Présentation de variateur de vitesse**

Un variateur de vitesse est un équipement électrotechnique alimentent un moteur électrique de façon à pouvoir faire varier sa vitesse de manière continue de l'arrêt jusqu'à sa vitesse nominale. La vitesse peut être proportionnelle à une valeur analogique fournie par un potentiomètre, ou par une commande externe : un signal de commande analogique ou numérique, issue d'une unité de contrôle.



**Figure.III.2.** Image d'un variateur électrique.

Un variateur de vitesse est constitué d'un redresseur et un onduleur. Le redresseur va permettre d'obtenir un courant quasi continu. A partir de ce courant continu, l'onduleur (bien souvent à modulation de largeur d'impulsion MLI), va permettre de créer un système triphasé de tensions alternatives dont on pourra faire varier la valeur efficace et la fréquence. Le fait de conserver le rapport de la valeur efficace du fondamentale de la tension par la fréquence constant permet de maintenir un flux tournant constant dans la machine et donc de maintenir constante la fonction reliant la valeur du couple en fonction de la vitesse synchrone des champs magnétique et de la vitesse asynchrone du rotor.

La figure III.3 montre bien les deux parties constituant le variateur de vitesse qui sont :

- La partie puissance qui comporte le redresseur et l'onduleur.
- La carte de commande à microprocesseur avec les valeurs de consignes et les valeurs mesurées des tensions et courant.

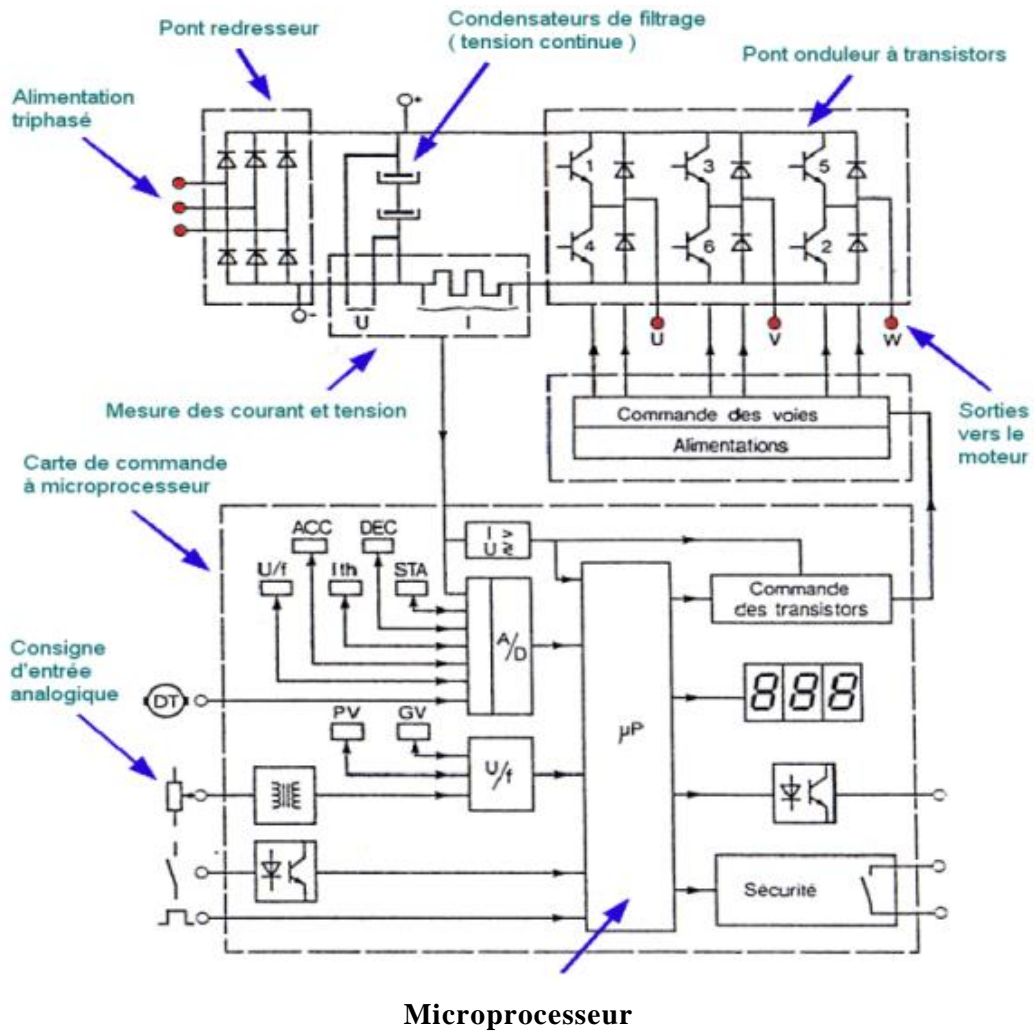


Figure.III.3. Le schéma interne d'un variateur.

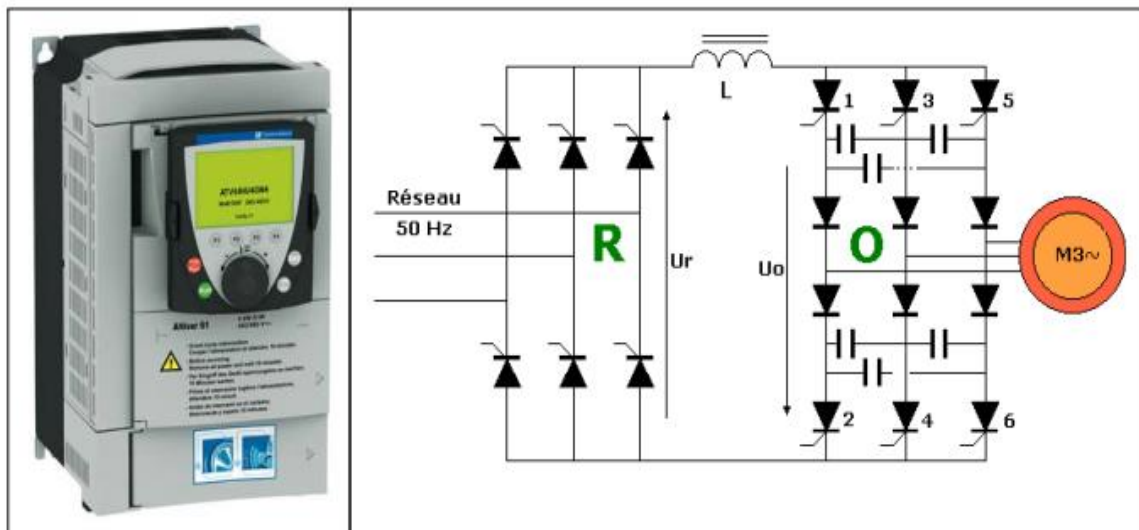


Figure.III.4. Schéma explique le principe d'un variateur électrique.

## II.1 Historique

Pour démarrer les moteurs électriques et contrôler leur vitesse, les démarreurs rhéostatiques, les variateurs mécaniques et les groupes tournants (Ward Leonard en particulier) ont été les premières solutions ; puis les démarreurs et variateurs électroniques se sont imposés dans l'industrie comme la solution moderne, économique, fiable et sans entretien. Un variateur ou un démarreur électronique est un convertisseur d'énergie dont le rôle consiste à moduler l'énergie électrique fournie au moteur. Les démarreurs électroniques sont exclusivement destinés aux moteurs asynchrones. Ils font partie de la famille des gradateurs de tension. Les variateurs de vitesse assurent une mise en vitesse et une décélération progressive, ils permettent une adaptation précise de la vitesse aux conditions d'exploitation. Les variateurs de vitesse sont du type redresseur contrôlé pour alimenter les moteurs à courant continu, ceux destinés aux moteurs à courant alternatif sont des convertisseurs de fréquence [22].

Historiquement, le variateur pour moteur à courant continu a été la première solution offerte. Les progrès de l'électronique de puissance et de la microélectronique ont permis la réalisation de convertisseurs de fréquence fiables et économiques. Les convertisseurs de fréquence modernes permettent l'alimentation de moteurs asynchrones standards avec des performances analogues aux meilleurs variateurs de vitesse à courant continu. Certains constructeurs proposent même des moteurs asynchrones avec des variateurs de vitesse électroniques incorporés dans une boîte à bornes adaptée ; cette solution est proposée pour des ensembles de puissance réduite (quelques kW).

En fin de ce Cahier Technique sont évoqués les évolutions récentes des variateurs de vitesse et la tendance qui se dessine chez les constructeurs. Ces évolutions élargissent notablement l'offre et les possibilités des variateurs [12].

## II.2. Commande intégrée dans le variateur de vitesse

Le variateur est équipé d'une carte microcontrôleur qui reçoit un signal de commande analogique 0/4...20mA ou 0/2...10 v, ou par potentiomètre sur la façade pour commander la vitesse et le couple moteur d'une manière parfaitement linéaire :



II.3. Schéma électrique d'un variateur de ( MDX61B0030-5A3-4-OT )

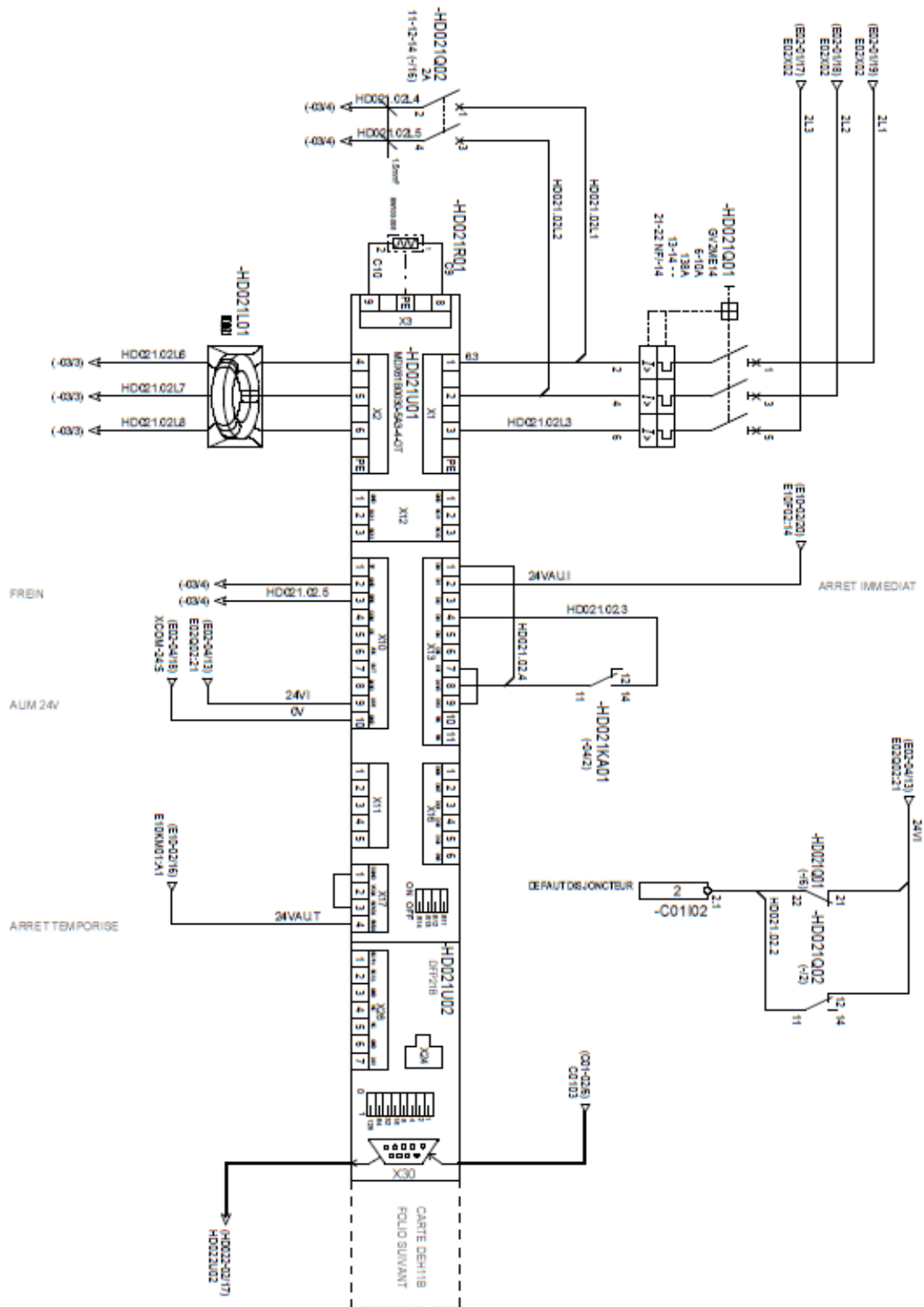


Figure.III.5. Shéma électrique d'un variateur de MDX61B0030-5A3-4-OT.

## II.4. Principales fonctions des démarreurs et des variateurs de vitesse électroniques

### II.4.1. Accélération contrôlée

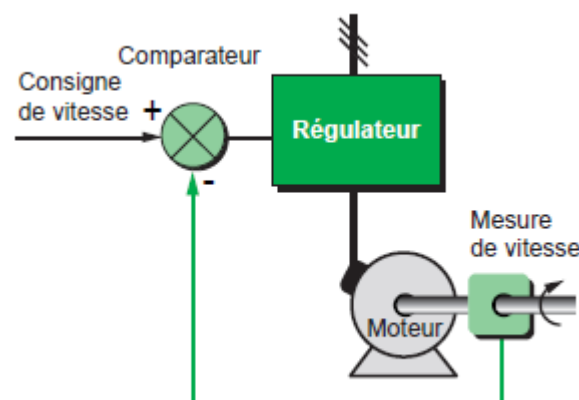
La mise en vitesse du moteur est contrôlée au moyen d'une rampe d'accélération linéaire. Cette rampe est généralement réglable et permet par conséquent de choisir le temps de mise en vitesse approprié à l'application [14].

### II.4.2. Variation de vitesse

Un variateur de vitesse peut ne pas être en même temps régulateur. Dans ce cas, c'est un système, rudimentaire, qui possède une commande élaborée à partir des grandeurs électriques du moteur avec amplification de puissance, mais sans boucle de retour : il est dit « en boucle ouverte ». La vitesse du moteur est définie par une grandeur d'entrée (tension ou courant) appelée consigne ou référence [18]. Pour une valeur donnée de la consigne, cette vitesse peut varier en fonction des perturbations (variations de la tension d'alimentation, de la charge, de la température). La plage de vitesse s'exprime en fonction de la vitesse nominale.

### II.4.3. Régulation de vitesse

Un régulateur de vitesse est un variateur asservi. Il possède un système de commande avec amplification de puissance et une boucle de retour : il est dit « en boucle fermée ».



**Figure.III.6.** Principe de la régulation de vitesse.

La vitesse du moteur est définie par une consigne.

La valeur de la consigne est en permanence comparée à un signal de retour, image de la vitesse du moteur. Ce signal est délivré par une génératrice tachymétrique ou un générateur d'impulsions monté en bout d'arbre du moteur [22].

Si un écart est détecté suite à une variation de la vitesse, les grandeurs appliquées au moteur (tension et / ou fréquence) sont automatiquement corrigées de façon à ramener la vitesse à sa valeur initiale. Grâce à la régulation, la vitesse est pratiquement insensible aux perturbations. La précision d'un régulateur est généralement exprimée en % de la valeur nominale de la grandeur à réguler [21].

#### **II.4.4. Décélération contrôlée**

Quand un moteur est mis hors tension, sa décélération est due uniquement au couple résistant de la machine (décélération naturelle). Les démarreurs et variateurs électroniques permettent de contrôler la décélération au moyen d'une rampe linéaire. Généralement indépendante de la rampe d'accélération.

Cette rampe peut être réglée de manière à obtenir un temps de passage de la vitesse en régime établi à une vitesse intermédiaire ou nulle :

- Si la décélération désirée est plus rapide que la décélération naturelle, le moteur doit développer un couple résistant qui vient s'ajouter au couple résistant de la machine, on parle alors de freinage électrique qui peut s'effectuer soit par renvoi d'énergie au réseau d'alimentation, soit par dissipation dans une résistance de freinage.
- Si la décélération désirée est plus lente que la décélération naturelle, le moteur doit développer un couple moteur supérieur au couple résistant de la machine et continuer à entraîner la charge jusqu'à l'arrêt [20].

#### **II.4.5. Inversion du sens de marche**

La majorité des variateurs actuels permettent cette fonction en standard. L'inversion de l'ordre des phases d'alimentation du moteur est réalisée automatiquement soit par inversion de la consigne à l'entrée, soit par un ordre logique sur une borne, soit par une information transmise par une connexion réseau [23].

### II.4.6. Freinage d'arrêt

Ce freinage consiste à arrêter un moteur sans pour autant contrôler la rampe de ralentissement. Pour les démarreurs et variateurs de vitesse pour moteurs asynchrones, ceci est réalisé de manière économique en injectant du courant continu dans le moteur avec un fonctionnement particulier de l'étage de puissance. Toute l'énergie mécanique est dissipée dans le rotor de la machine et, de ce fait, ce freinage ne peut être qu'intermittent. Sur un variateur pour moteur à courant continu, cette fonction sera assurée en connectant une résistance aux bornes de l'induit.

### II.4.7. Protections intégrées

Les variateurs modernes assurent en général la protection thermique des moteurs et leur propre protection. A partir de la mesure du courant et d'une information sur la vitesse (si la ventilation du moteur dépend de sa vitesse de rotation), un microprocesseur calcule l'élévation de température du moteur et fournit un signal d'alarme ou de déclenchement en cas d'échauffement excessif.

Les variateurs, et notamment les convertisseurs de fréquence, sont d'autre part fréquemment équipés de protections contre :

- les courts-circuits entre phases et entre phase et terre,
- les surtensions et les chutes de tension,
- les déséquilibres de phases,
- la marche en monophasé.

## III. Les principaux modes de fonctionnement et principaux types de variateurs électroniques

Les variateurs de vitesse peuvent, selon le convertisseur électronique, soit faire fonctionner un moteur dans un seul sens de rotation, ils sont alors dits « unidirectionnels », soit commander les deux sens de rotation, ils sont alors dits « bidirectionnels ».

Les variateurs peuvent être « réversibles » lorsqu'ils peuvent récupérer l'énergie du moteur fonctionnant en générateur (mode freinage). La réversibilité est obtenue soit par un renvoi d'énergie sur le réseau (pont d'entrée réversible), soit en dissipant l'énergie récupérée dans une résistance avec un hacheur de freinage [23].

A noter que lorsque la machine fonctionne en générateur elle doit bénéficier d'une force d'entraînement. Cet état est notamment exploité pour le freinage. L'énergie cinétique alors présente sur l'arbre de la machine est soit transférée au réseau d'alimentation, soit dissipée dans des résistances ou, pour les petites puissances, dans les pertes de la machine.

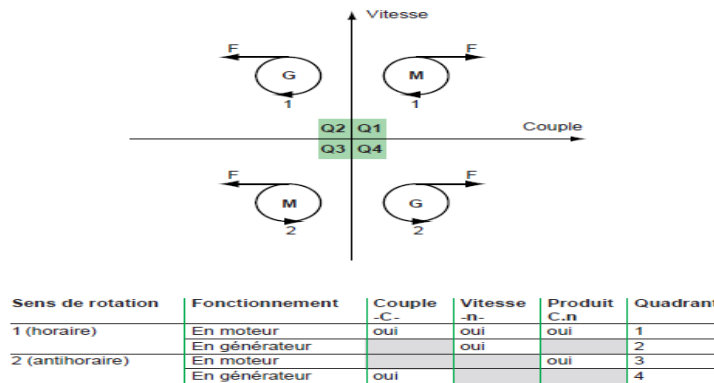


Figure.III.7. Quatre situations possibles d'une machine dans son diagramme couple-vitesse.

### III.1. Variateur unidirectionnel

Ce type de variateur le plus souvent non réversible est réalisé pour :

- un moteur CC, avec un convertisseur direct (CA => CC) comportant un pont mixte à diodes et thyristors
- un moteur AC, avec un convertisseur indirect (avec transformation intermédiaire en CC) comportant en entrée un pont de diodes suivi d'un convertisseur de fréquence qui fait fonctionner la machine dans le quadrant 1. Dans certains cas ce montage peut être exploité en bidirectionnel (quadrants 1 et 3).

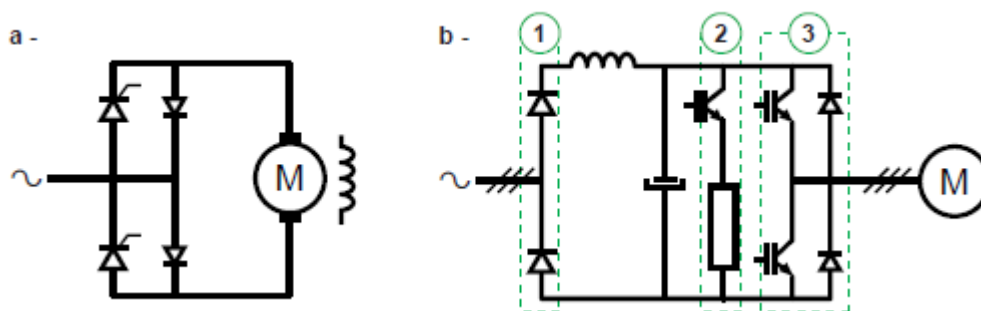


Figure.III.8. Schémas de principe

- [a] convertisseur direct à pont mixte
- [b] convertisseur indirect avec (1) pont de diodes en entrée (2) dispositif de freinage (résistance et hacheur) (3) convertisseur de fréquence

Un convertisseur indirect comportant un hacheur de freinage et une résistance correctement dimensionnée convient parfaitement pour un freinage momentané (ralentissement ou sur un engin de levage quand le moteur doit développer un couple de freinage en descente pour retenir la charge) [25].

En cas de fonctionnement prolongé avec une charge entraînante, un convertisseur réversible est indispensable car la charge est alors négative comme, par exemple, avec un moteur utilisé en frein sur un banc d'essai.

### **III.2. Variateur bidirectionnel**

Ce type de variateur peut être un convertisseur réversible ou non réversible. S'il est réversible, la machine fonctionne dans les quatre quadrants et peut permettre un freinage important. S'il est non réversible, la machine ne fonctionne que dans les quadrants 1 et 3.

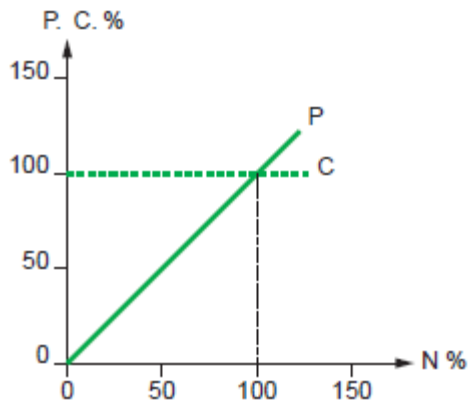
### **III.3. Fonctionnement à couple constant**

Le fonctionnement est dit à couple constant quand les caractéristiques de la charge sont telles qu'en régime établi, le couple demandé est sensiblement le même quelle que soit la vitesse

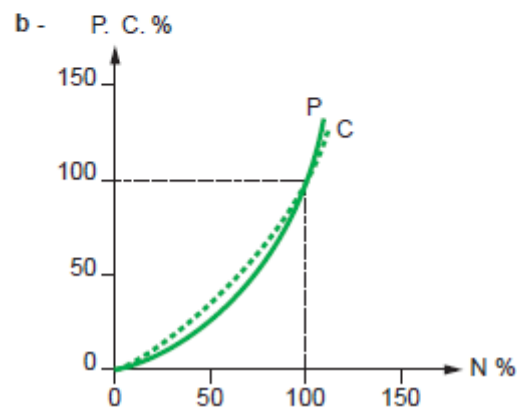
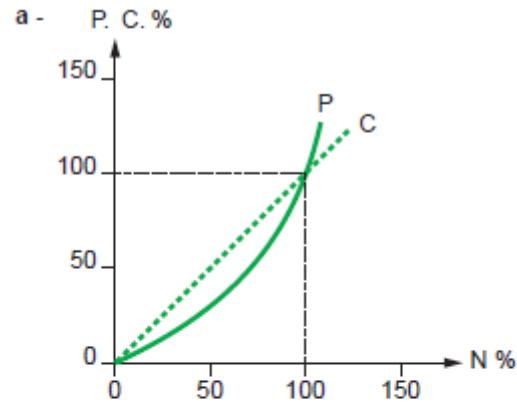
Ce mode de fonctionnement se retrouve sur des machines de type convoyeur ou malaxeur. Pour ce type d'applications le variateur doit avoir la capacité de fournir un couple de démarrage important (1,5 fois ou plus le couple nominal) pour vaincre les frottements statiques et pour accélérer la machine (inertie) [2].

### **III.4. Fonctionnement à couple variable**

Le fonctionnement est dit à couple variable quand les caractéristiques de la charge sont telles qu'en régime établi, le couple demandé varie avec la vitesse. C'est en particulier le cas des pompes volumétriques à vis d'Archimède dont le couple croît linéairement avec la vitesse ou les machines centrifuges (pompes et ventilateurs) dont le couple varie comme le carré de la vitesse .



**Figure.III.9.** Courbes de fonctionnement à couple variable



**Figure.III.10.** Courbe de fonctionnement à couple constant.

Pour un variateur destiné à ce type d'application, un couple de démarrage plus faible (en général 1,2 fois le couple nominal du moteur) est suffisant. Il dispose le plus souvent de fonctions complémentaires comme la possibilité d'occulter des fréquences de résonance correspondant à des vibrations indésirables de la machine. Le fonctionnement au-delà de la fréquence nominale de la machine est impossible en raison de la surcharge qui serait imposée au moteur et au variateur [15].

### III.5. Fonctionnement à puissance constante

C'est un cas particulier du couple variable. Le fonctionnement est dit à puissance constante quand le moteur fournit un couple inversement proportionnel à la vitesse angulaire. C'est le cas, par exemple, pour un enrouleur dont la vitesse angulaire doit diminuer au fur et à mesure que croît le diamètre d'enroulement par accumulation du matériau. C'est également le cas des moteurs de broche des machines-outils. La plage de fonctionnement à puissance constante est par nature limitée :

En basse vitesse par le courant fourni par le variateur et en grande vitesse par le couple disponible du moteur. En conséquence, le couple moteur disponible avec les moteurs asynchrones et la capacité de commutation des machines à courant continu doivent être bien vérifiés.

#### **IV. Principaux types de variateurs**

Seuls les variateurs les plus courants et les réalisations technologiques usuelles sont cités dans ce chapitre. Il existe de nombreux schémas de variateurs de vitesse électronique : cascade hyposynchrone, cycloconvertisseurs, commutateurs de courant, hacheurs...

##### **IV.1. Redresseur contrôlé pour moteur à courant continu**

Il fournit, à partir d'un réseau alternatif monophasé ou triphasé, un courant continu avec un contrôle de la valeur moyenne de la tension.

Les semi-conducteurs de puissance sont assemblés en pont de Graëtz, monophasé ou triphasé. Le pont peut être mixte (diodes / thyristors) ou complet (tout thyristor). Cette dernière solution est la plus fréquente car elle permet un meilleur facteur de forme du courant délivré.

Le moteur à courant continu est le plus souvent à excitation séparée, sauf dans les petites puissances où les moteurs à aimants permanents sont assez fréquents [13].

L'utilisation de ce type de variateur de vitesse est bien adaptée pour toute application. Les seules limites sont imposées par le moteur à courant continu, en particulier la difficulté d'obtention de vitesses élevées et la nécessité de maintenance (remplacement des balais). Les moteurs à courant continu et leurs variateurs associés ont été les premières solutions industrielles. Depuis plus d'une décennie, leur usage est en constante diminution au profit des convertisseurs de fréquence. En effet, le moteur asynchrone est à la fois plus robuste et plus économique qu'un moteur à courant continu. Contrairement aux moteurs à courant continu, standardisés en enveloppe IP55, il est aussi pratiquement insensible à l'environnement (ruissellement, poussières, ambiances dangereuses...).

##### **IV.2. Convertisseur de fréquence pour moteur asynchrone**

Il fournit, à partir d'un réseau alternatif à fréquence fixe, une tension alternative triphasée de valeur efficace et de fréquence variable. L'alimentation du variateur pourra être monophasée pour les faibles puissances (ordre de grandeur de quelques kW) et triphasée au-delà. Certains variateurs de petite puissance acceptent indifféremment des tensions



d'alimentation mono et triphasées. La tension de sortie du variateur est toujours triphasée. De fait, les moteurs asynchrones monophasés sont mal adaptés à l'alimentation par convertisseur de fréquence.

Les convertisseurs de fréquence alimentent des moteurs à cage standard avec tous les avantages liés à ces moteurs : standardisation, faible coût, robustesse, étanchéité, aucun entretien. Ces moteurs étant auto-ventilés, leur seule limite d'emploi est leur utilisation prolongée à basse vitesse en raison de la réduction de cette ventilation. Si un tel fonctionnement est souhaité, il faut prévoir un moteur spécial équipé d'une ventilation forcée indépendante.

### IV.3. Gradateur de tension pour le démarrage des moteurs asynchrones

Il fournit, à partir d'un réseau alternatif, un courant alternatif de fréquence fixe égale à celle du réseau avec un contrôle de la valeur efficace de la tension par modification de l'angle de retard  $\alpha$  à l'amorçage des semi-conducteurs de puissance, deux thyristors montés tête-bêche dans chaque phase du moteur.

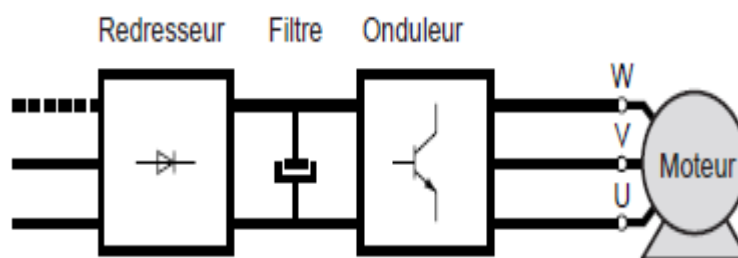


Figure.III.11. Schéma de principe d'un convertisseur de fréquence.

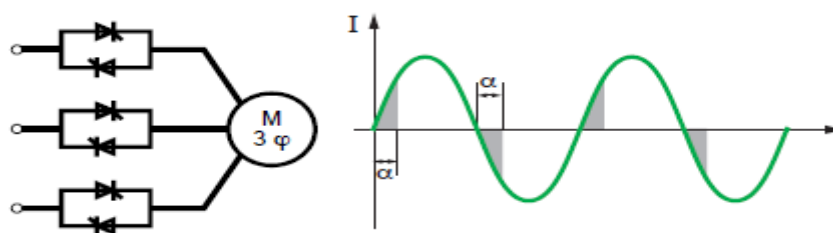


Figure.III.12. Démarrateur de moteurs asynchrones et forme du courant d'alimentation.

## V. Structure et composants des démarreurs et variateurs électroniques

### V.1. Structure

Les démarreurs et les variateurs de vitesse électroniques sont composés de deux modules généralement regroupés dans une même enveloppe :

- un module de contrôle qui gère le fonctionnement de l'appareil,
- un module de puissance qui alimente le moteur en énergie électrique.

#### V.1.1. Le module de contrôle

Sur les démarreurs et les variateurs modernes, toutes les fonctions sont commandées par un microprocesseur qui exploite les réglages, les ordres transmis par un opérateur ou par une unité de traitement, et les résultats de mesures comme la vitesse, le courant, etc.

Les capacités de calcul des microprocesseurs ainsi que des circuits dédiés (ASIC) ont permis de réaliser des algorithmes de commandes extrêmement performants et, en particulier, la reconnaissance des paramètres de la machine entraînée. A partir de ces informations, le microprocesseur gère les rampes d'accélération et de décélération, l'asservissement de vitesse, la limitation de courant, et génère la commande des composants de puissance. Les protections et les sécurités sont traitées par des circuits spécialisés (ASIC) ou intégrés dans les modules de puissance (IPM) [16].

Les réglages (limites de vitesse, rampes, limitation de courant...) se font soit par claviers intégrés, soit à partir d'automates par des bus de terrain ou de PC pour charger des réglages standard. De même, les différents ordres (marche, arrêt, freinage...) peuvent être donnés à partir d'interfaces de dialogue homme / machine, par des automates programmables ou par des PC.

Les paramètres de fonctionnement et les informations d'alarme et de défauts peuvent être visualisés par des voyants, des diodes électroluminescentes, des afficheurs à segments ou à cristaux liquides, ou déportés vers des superviseurs par des bus de terrains.

Des relais, souvent programmables, donnent des informations de :

- défaut (réseau, thermique, produit, séquence, surcharge...),
- surveillance (seuil de vitesse, pré alarme, fin de démarrage).

Les tensions nécessaires pour l'ensemble des circuits de mesure et de contrôle sont fournies par une alimentation intégrée au variateur et séparée galvaniquement du réseau [20].

### V.1.2. Module de puissance

Le module de puissance est principalement constitué de :

- composants de puissance (diodes, thyristors, IGBT...);
- interfaces de mesure des tensions et/ou des courants ;
- fréquemment d'un ensemble de ventilation.

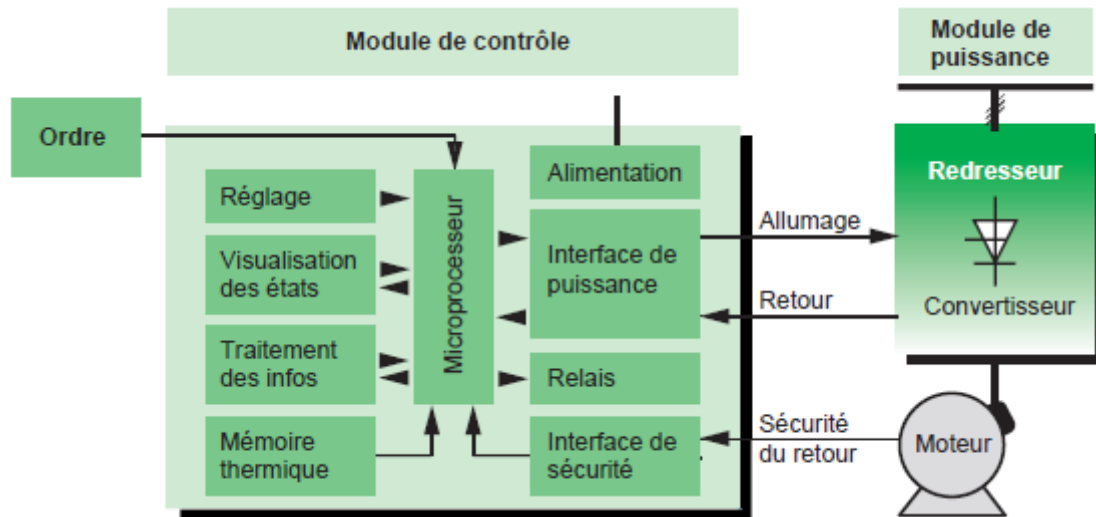


Figure.III.13. Structure générale d'un variateur de vitesse électronique.

### V.2. Composants

Les composants de puissance sont des semi-conducteurs fonctionnant en tout ou rien, donc comparables à des interrupteurs statiques pouvant prendre les deux états : passant ou bloqué. Ces composants, associés dans un module de puissance, constituent un convertisseur qui alimente, à partir du réseau à tension et fréquence fixes, un moteur électrique sous une tension et / ou une fréquence variable.

Les composants de puissance sont la clef de voûte de la variation de vitesse et les progrès réalisés ces dernières années ont permis la réalisation de variateurs de vitesse économiques [23].

- ✓ La diode
- ✓ Le thyristor
- ✓ Le transistor
- ✓ L'IGBT
- ✓ Le transistor MOS
- ✓ L'IPM (Intelligent Power Module)

## **Partie 2 : les convertisseurs de fréquence et la commande en cas du machine asynchrone**

### **VI. Principe général :**

Le convertisseur de fréquence, alimenté en tension et fréquence fixes par le réseau, assure au moteur, en fonction des exigences de vitesse, son alimentation en courant alternatif à tension et fréquence variables. Pour alimenter convenablement un moteur asynchrone à couple constant quelle que soit la vitesse, il est nécessaire de maintenir le flux constant. Ceci nécessite que la tension et la fréquence évoluent simultanément et dans les mêmes proportions.

#### **VI.1. Constitution**

Le circuit de puissance est constitué par un redresseur et un onduleur qui, à partir de la tension redressée, produit une tension d'amplitude et fréquence variables. Pour respecter les normes, un filtre « réseau » est placé en amont du pont redresseur. Le redresseur est en général équipé d'un pont redresseur à diodes et d'un circuit de filtrage constitué d'un ou plusieurs condensateurs en fonction de la puissance. Un circuit de limitation contrôle l'intensité à la mise sous tension du variateur. Certains convertisseurs utilisent un pont à thyristors pour limiter le courant d'appel de ces condensateurs de filtrage qui sont chargés à une valeur sensiblement égale à la valeur crête de la sinusoïde réseau (environ 560 V en 400 V triphasé) [18].

Le pont onduleur, connecté à ces condensateurs, utilise six semi-conducteurs de puissance (en général des IGBT) et des diodes de roue libre associées.

Ce type de variateur est destiné à l'alimentation des moteurs asynchrones à cage. Ainsi l'Altivar, de la Marque Telemecanique, permet de créer un mini-réseau électrique à tension et fréquence variables capable d'alimenter un moteur unique ou plusieurs moteurs en parallèle.

Il comporte :

- un redresseur avec condensateurs de filtrage ;
- un onduleur à 6 IGBT et 6 diodes ;
- un hacheur qui est connecté à une résistance de freinage (en général extérieure au produit); les circuits de commande des transistors IGBT ;
- une unité de contrôle organisée autour d'un microprocesseur, lequel assure la commande de l'onduleur ;

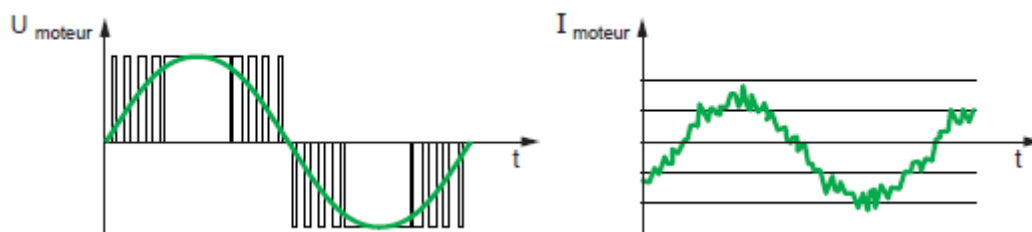
- des capteurs internes pour mesurer le courant moteur, la tension continue présente aux bornes ;

Des condensateurs et dans certains cas les tensions présentes aux bornes du pont redresseur et du moteur ainsi que toutes les grandeurs nécessaires au contrôle et à la protection de l'ensemble moto-variateur ;

- une alimentation pour les circuits électronique bas niveau. Cette alimentation est réalisée par un circuit à découpage connecté aux bornes des condensateurs de filtrage pour bénéficier de cette réserve d'énergie. Cette disposition permet à l'Altivar de s'affranchir des fluctuations réseau et des disparitions de tension de courte durée, ce qui lui confère de remarquables performances en présence de réseaux fortement perturbés.

## VI.2. Variation de vitesse

La génération de la tension de sortie est obtenue par découpage de la tension redressée au moyen d'impulsions dont la durée, donc la largeur, est modulée de telle manière que le courant alternatif résultant soit aussi sinusoïdal que possible



**Figure.III.14.** Modulation de largeur d'impulsions.

Cette technique connue sous le nom de MLI (Modulation de Largeur d'Impulsions ou PWM en anglais) conditionne la rotation régulière à basse vitesse et limite les échauffements. La fréquence de modulation retenue est un compromis : elle doit être suffisamment élevée pour réduire l'ondulation de courant et le bruit acoustique dans le moteur sans augmenter notablement les pertes dans le pont onduleur et dans les semi-conducteurs. Deux rampes règlent l'accélération et le ralentissement.

### VI.3. Protections intégrées

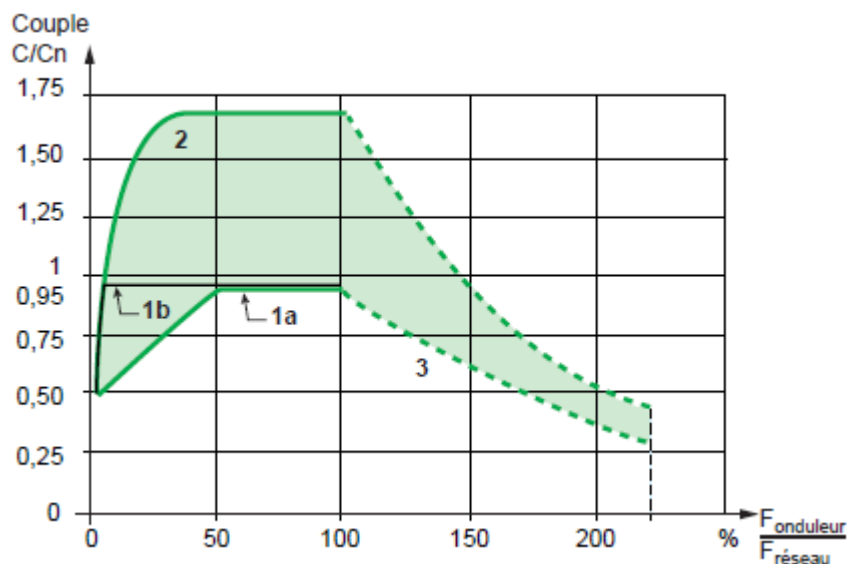
Le variateur s'auto-protège et protège le moteur contre les échauffements excessifs, en se verrouillant jusqu'au retour à une température acceptable.

Il en est de même pour toute perturbation ou anomalie pouvant altérer le fonctionnement de l'ensemble, comme les surtensions ou sous tension, la disparition d'une phase d'entrée ou de sortie.

Dans certains calibres le redresseur, l'onduleur, le hacheur, la commande et les protections contre les courts-circuits sont intégrés dans un unique module IPM - Intelligent Power Module.

### VI.4. Fonctionnement en U/f

Dans ce type de fonctionnement, la référence vitesse impose une fréquence à l'onduleur et par voie de conséquence au moteur, ce qui détermine la vitesse de rotation. La tension d'alimentation est en relation directe avec la fréquence. Ce fonctionnement est souvent nommé fonctionnement à U/f constant ou fonctionnement scalaire. Si aucune compensation n'est effectuée, la vitesse réelle varie avec la charge ce qui limite la plage de fonctionnement. Une compensation sommaire peut être utilisée pour tenir compte de l'impédance interne du moteur et limiter la chute de vitesse en charge [16].



**Figure.III.15.** Caractéristiques de couple d'un variateur (Altivar 66 – Télémécanique).

- 1** – couple utile permanent moteur auto-ventilé (**a**) et moteur moto-ventilé (**b**),
- 2** – sur couple transitoire (< 1,7 Cn pendant 60 s),
- 3** – couple en survitesse à puissance constante.

## VII. Commande vectorielle

Les performances sont grandement augmentées par une électronique de commande faisant appel au contrôle vectoriel de flux - CVF - La plupart des variateurs modernes intègrent cette fonction en standard. La connaissance ou l'estimation des paramètres de la machine permet de se passer de capteur de vitesse pour la majorité des applications. Dans ce cas un moteur standard peut être utilisé avec la limitation usuelle de fonctionnement prolongé à basse vitesse.

Le variateur élabore les informations à partir des grandeurs mesurées aux bornes de la machine (tension et courant). Ce mode de contrôle apporte des performances acceptables sans augmentation de coût.

Pour obtenir ces performances, certains paramètres de la machine doivent être connus. A la mise en service, le metteur au point de la machine doit notamment introduire les caractéristiques plaquées sur le moteur dans les paramètres de réglage du variateur telles que :

UNS : tension nominale moteur,

FRS : fréquence nominale stator,

NCR : courant nominal stator,

NSP : vitesse nominale,

COS : cosinus moteur.

A partir de ces valeurs, le variateur calcule les caractéristiques du rotor :  $L_m$ ,  $T_r$ . ( $L_m$  : inductance magnétisante,  $T_r$  : moment du couple).

### VII.1. Variateur avec contrôle vectoriel de flux sans capteur

A la mise sous tension, un variateur avec contrôle vectoriel de flux sans capteur (type ATV58F – Telemecanique) pratique un autoréglage qui lui permet de déterminer les paramètres statoriques  $R_s$ ,  $L_f$ . Cette mesure peut se faire moteur accouplé à la mécanique. La durée varie en fonction de la puissance moteur (1 à 10 s). Ces valeurs sont mémorisées et permettent au produit d'élaborer les lois de commande.

L'oscillogramme de la page suivante représente la mise en vitesse d'un moteur, chargé à son couple nominal alimenté par un variateur sans capteur. On remarquera que le couple nominal est obtenu rapidement (moins de 0,2 s) et la linéarité de la mise en vitesse. La vitesse nominale est obtenue en 0,8 seconde [14].





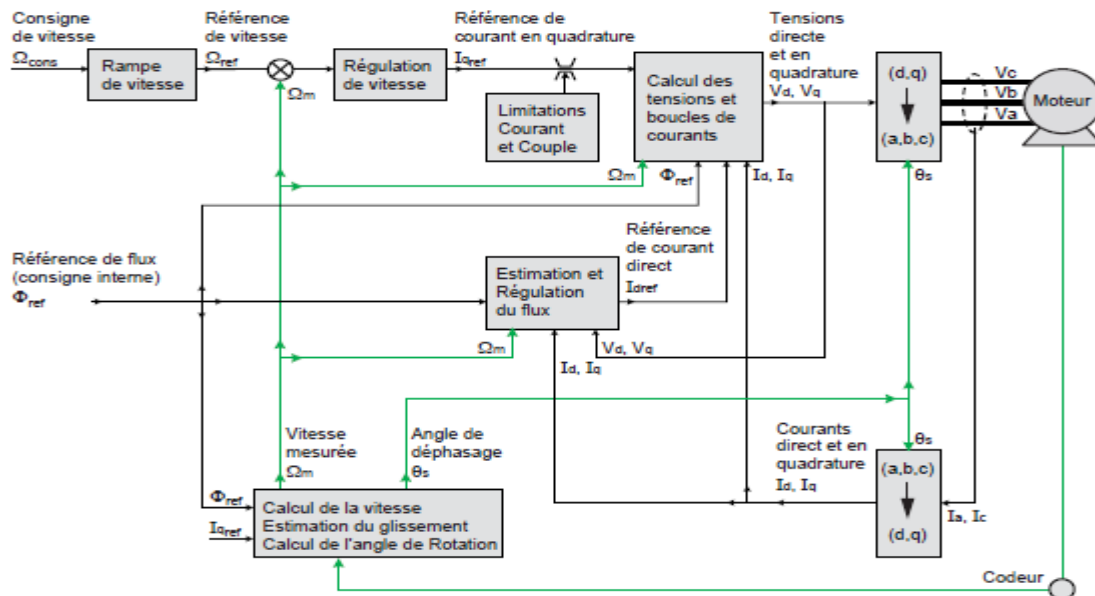


Figure.III.17. Schéma de principe d'un variateur avec contrôle vectoriel de flux avec capteur.

### VII.3. Inversion du sens de marche et freinage

Pour inverser le sens de marche, un ordre externe (soit sur une entrée dédiée à cet effet, soit pour un signal circulant sur un bus de communication) entraîne l'inversion dans l'ordre de fonctionnement des composants de l'onduleur, donc du sens de rotation du moteur. Plusieurs fonctionnements sont possibles.

#### ❖ 1er cas : inversion immédiate du sens de commande des semi-conducteurs

Si le moteur est toujours en rotation au moment de l'inversion de sens de marche, cela se traduit par un glissement important et le courant dans le variateur est alors égal au maximum possible (limitation interne). Le couple de freinage est faible en raison du fort glissement et la régulation interne ramène la consigne de vitesse à une faible valeur. Quand le moteur atteint la vitesse nulle, la vitesse s'inverse en suivant la rampe. L'excédent d'énergie non absorbée par le couple résistant et les frottements est dissipé dans le rotor.

#### ❖ 2e cas : inversion du sens de commande des semi-conducteurs précédée d'une décélération avec ou sans rampe

Si le couple résistant de la machine est tel que la décélération naturelle est plus rapide que la rampe fixée par le variateur, celui-ci continue à fournir de l'énergie au moteur. La vitesse diminue progressivement et s'inverse.

Par contre, si le couple résistant de la machine est tel que la décélération naturelle est plus faible que la rampe fixée par le variateur, le moteur se comporte comme une génératrice hyper

Synchrone et restitue de l'énergie au variateur ; mais la présence du pont de diodes interdisant le renvoi de l'énergie vers le réseau, les condensateurs de filtrage se chargent, la tension augmente et le variateur se verrouille. Pour éviter cela, il faut disposer d'une résistance qui est connectée aux bornes des condensateurs par un hacheur de façon à limiter la tension à une valeur convenable. Le couple de freinage n'est plus limité que par les capacités du variateur de vitesse : la vitesse diminue progressivement et s'inverse.

Pour cette utilisation, le fabricant du variateur fournit des résistances de freinage dimensionnées en fonction de la puissance du moteur et des énergies à dissiper. Le hacheur étant dans la majorité des cas inclus d'origine dans le variateur, seule la présence d'une résistance de freinage distingue un variateur capable d'assurer un freinage contrôlé. Ce mode de freinage est donc particulièrement économique. Il va de soi que ce mode de fonctionnement permet de ralentir un moteur jusqu'à l'arrêt sans nécessairement inverser le sens de rotation.

#### **VII.4. Freinage de ralentissement par injection de courant continu**

Un freinage économique peut être facilement réalisé en faisant fonctionner l'étage de sortie du variateur en hacheur qui injecte ainsi un courant continu dans les enroulements. Le couple de freinage n'est pas contrôlé. Il est assez peu efficace, surtout à grande vitesse, et de ce fait la rampe de décélération n'est pas contrôlée. Néanmoins c'est une solution pratique pour diminuer le temps d'arrêt naturel de la machine. L'énergie étant dissipée dans le rotor, ce mode de fonctionnement est, par nature, occasionnel.

#### **VIII. Modes de fonctionnement possibles**

- ✓ Fonctionnement dit à « couple constant » Tant que la tension délivrée par le variateur peut évoluer et dans la mesure où le flux dans la machine est constant (rapport  $U/f$  constant ou mieux encore avec contrôle vectoriel de flux), le couple moteur sera grossièrement proportionnel au courant et le couple nominal de la machine pourra être obtenu sur toute la plage de vitesse. Cependant le fonctionnement prolongé au couple nominal à basse vitesse n'est possible que si une ventilation forcée du moteur est prévue, ce qui nécessite un moteur spécial. Les variateurs modernes disposent de circuits de protection qui établissent une image thermique du moteur en fonction du courant, des cycles de fonctionnement et de la vitesse de rotation : la protection du moteur est donc assurée [18].

- ✓ Fonctionnement dit à « puissance constante » Lorsque la machine est alimentée sous sa tension nominale, il est encore possible d'augmenter sa vitesse en l'alimentant à une fréquence supérieure à celle du réseau de distribution. Toutefois, la tension de sortie du convertisseur ne pouvant pas dépasser celle du réseau, le couple disponible décroît en proportion inverse de l'accroissement de la nominale, le moteur fonctionne non plus à couple constant mais à puissance constante

( $P = Cw$ ), tant que la caractéristique naturelle du moteur l'autorise.

La vitesse maximale est limitée par deux paramètres :

- ✓ la limite mécanique liée au rotor,
- ✓ la réserve de couple disponible.

Pour une machine asynchrone alimentée à tension constante, le couple maximum variant comme le carré de la vitesse, le fonctionnement à « puissance constante » n'est possible que dans une plage limitée de vitesse déterminée par la caractéristique de couple propre à la machine.

## VIII.1. Moto-variateurs synchrones

### VIII.1.1. Principe général

Les moto-variateurs synchrones sont une association d'un convertisseur de fréquence et d'un moteur synchrone à aimants permanents équipé d'un capteur.

Ces moto-variateurs sont destinés à des marchés spécifiques, comme les robots ou les machines-outils, pour lesquels sont exigés un faible volume des moteurs, des accélérations rapides et une bande passante étendue.

### VIII.1.2. Moteur

Le rotor du moteur est équipé d'aimants permanents en terre rare pour obtenir un champ élevé dans un volume réduit. Le stator comporte les enroulements triphasés. Ces moteurs peuvent accepter des courants de surcharge importants pour réaliser des accélérations très rapides. Un capteur équipe ces moteurs pour indiquer au variateur la position angulaire des pôles du moteur afin d'assurer la commutation des enroulements [22].

### VIII.1.3. Variateur

Dans sa constitution, le variateur est similaire à un convertisseur de fréquence : il fonctionne de façon analogue.

Il est aussi constitué d'un redresseur et d'un onduleur à transistors à modulation de largeur d'impulsions (MLI) qui restitue un courant de sortie de forme sinusoïdale.

Il est fréquent de trouver plusieurs variateurs de ce type alimentés par une même source de courant continu. Ainsi, sur une machine-outil, chaque variateur commande un des moteurs



**Figure.III.18.** Photographie d'un moto-variateur synchrone (Variateur Lexium + moteur, Schneider Electric).

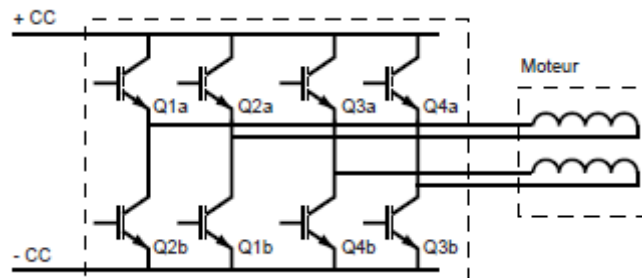
Associés aux axes de la machine. Une source commune à courant continu alimente en parallèle cet ensemble de variateurs. Ce type d'installation permet de mettre à disposition de l'ensemble, l'énergie qui proviendrait du freinage de l'un des axes. Comme dans les convertisseurs de fréquence, une résistance de freinage associée à un hacheur permet d'évacuer l'énergie de freinage en excès.

Les fonctions d'asservissement de l'électronique, les faibles constantes de temps mécaniques et électriques, autorisent des accélérations et plus généralement des bandes passantes très élevées, avec en même temps une très grande dynamique de vitesse.

## VIII.2. Moto-variateurs pas-à-pas

### VIII.2.1. Principe général

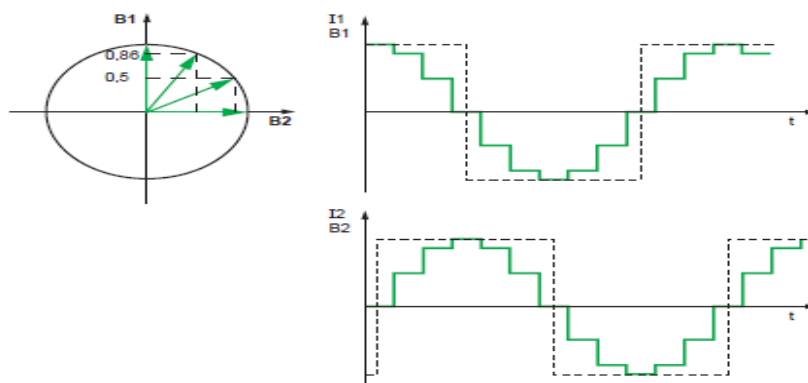
Les moto-variateurs pas-à-pas sont des associations d'une électronique de puissance, similaire dans sa conception à celle d'un convertisseur de fréquence, et d'un moteur pas à pas. Ils fonctionnent en boucle ouverte (sans capteur) et sont destinés à des applications de positionnement. Le moteur peut être à réluctance variable, à aimants permanents ou présenter une combinaison des deux



**Figure.III.19.** Schéma de principe d'un variateur pour moteur bipolaire pas à pas.

Dans sa constitution, le variateur est analogue à un convertisseur de fréquence (redresseur, filtrage et pont constitué de semi-conducteurs de puissance). Cependant son fonctionnement est fondamentalement différent dans la mesure où il a pour objectif d'injecter un courant constant dans les enroulements. Parfois il fait appel à la modulation de largeur d'impulsions (MLI) pour obtenir de meilleures performances, en particulier le temps de montée du courant, ce qui permet d'étendre la plage de fonctionnement.

Le fonctionnement en micro pas permet de multiplier artificiellement le nombre de positions possibles du rotor en générant des échelons successifs dans les bobines durant chaque séquence. Les courants dans les deux bobines ressemblent alors à deux courants alternatifs décalés de  $90^\circ$ . Le champ résultant est la composition vectorielle des champs créés par les 2 bobines. Le rotor prend ainsi toutes les positions intermédiaires possibles. La Figure suivante représente les courants d'alimentation des bobines B1 et B2 ; les positions du rotor sont représentées par le vecteur [16].



**Figure.III.20.** Diagramme, courbes d'intensité et principe d'échelons pour une commande en micro pas d'un moto-variateur pas-à-pas.

### VIII.3. Possibilités de dialogue

Pour pouvoir assurer un fonctionnement correct du moteur, les variateurs intègrent un certain nombre de capteurs pour surveiller la tension, les courants et son état thermique. Ces informations, indispensables pour le variateur, peuvent être utiles pour l'exploitation.

Les variateurs et démarreurs récents intègrent des fonctions de dialogue en tirant profit des bus de terrain. Il est ainsi possible de générer des informations qui sont utilisées par un automate et un superviseur pour la conduite de la machine. De la même façon les informations de contrôle proviennent de l'automate par le même canal.

Parmi les informations qui transitent citons :

- ✓ les consignes de vitesse ;

- ✓ les ordres de marche ou d'arrêt ;
- ✓ les réglages initiaux du variateur ou les modifications de ces réglages en opération ;
- ✓ l'état du variateur (marche, arrêt, surcharge, défaut) ;
- ✓ les alarmes ;
- ✓ l'état du moteur (vitesse, couple, courant, température) ;

Ces possibilités de dialogue sont également utilisées en liaison avec un PC pour pouvoir simplifier les réglages à la mise en route (téléchargement) ou archiver les réglages initiaux.

#### VIII.4. Fonctions intégrées

Pour couvrir efficacement bon nombre d'applications, les variateurs disposent d'un nombre important d'ajustages et de réglages comme :

- ❖ les temps des rampes d'accélération et décélération ;
- ❖ la forme des rampes (linéaires, en S ou en U) ;
- ❖ les commutations de rampes permettant d'obtenir deux rampes d'accélération ou de décélération pour permettre par exemple un accostage en douceur ;
- ❖ la réduction du couple maximum commandée par une entrée logique ou par une consigne ;
- ❖ la marche pas à pas ;
- ❖ la gestion de la commande d'un frein pour les applications de levage ;
- ❖ le choix de vitesses présélectionnées ;
- ❖ la présence d'entrées sommatrices permettant d'additionner des consignes de vitesse ;
- ❖ la commutation des références présentes à l'entrée du variateur ;
- ❖ la présence d'un régulateur PI pour les asservissements simples (vitesse ou débit par exemple) ;
- ❖ l'arrêt automatique suite à une coupure réseau permettant le freinage du moteur ;
- ❖ le rattrapage automatique avec recherche de la vitesse du moteur pour une reprise à la volée ;
- ❖ la protection thermique du moteur à partir d'une image générée dans le variateur ;
- ❖ la possibilité de connexion de sondes PTC intégrées au moteur ;
- ❖ l'occultation de fréquence de résonance de la machine (la vitesse critique est occultée de sorte que le fonctionnement à cette fréquence est rendu impossible) ;
- ❖ le verrouillage temporisé à basse vitesse dans les applications de pompage où le fluide participe à la lubrification de la pompe et évite le grippage. Ces fonctions, sur les variateurs sophistiqués, se trouvent le plus souvent en standard .



**Figure.III.21.** Photographie d'un variateur comportant de nombreuses fonctions intégrées (ATV58H - Telemecanique).

### VIII.5. Cartes optionnelles

Pour des applications plus complexes, les fabricants proposent des cartes optionnelles qui permettent soit des fonctions particulières, par exemple le contrôle vectoriel de flux avec capteur, soit

- ❖ des cartes dédiées à un métier

Particulier. On trouve par exemple :

- ❖ des cartes « commutation de pompes » pour réaliser économiquement une station de pompage comportant un seul variateur alimentant successivement plusieurs moteurs, des cartes « multi-moteurs
- ❖ des cartes « multi-paramètres » permettant de commuter automatiquement des paramètres prédéfinis dans le variateur,
- ❖ des cartes spécifiques développées à la demande d'un utilisateur particulier.

Certains fabricants proposent également des cartes automates intégrées dans le variateur permettant des applications simples. L'opérateur dispose alors d'instructions de programmation et d'entrées et sorties pour la réalisation de petits automatismes, là où la présence d'un automate ne se justifie pas [20].

### **VIII.6. Comment immuniser les variateurs de vitesse contre les creux de tension et les harmoniques**

Une collaboration étroite est essentielle entre les ingénieurs en électricité et les spécialistes des procédés industriels. D'une manière générale, les mesures suivantes contribuent à améliorer l'immunité des variateurs de vitesse :

- Optimiser les protections (fusibles adéquats pour la protection de l'électronique de puissance).
- Choisir judicieusement les réglages (sous-tension, surtension, surintensité, surcharge, redémarrage automatique, temps d'accélération et de décélération, etc.).
- Prévoir des mesures d'atténuation (transformateurs à tension constante, transformateurs d'isolement, réactance de 3 %, alimentation sans coupure [UPS], conditionneurs et régulateurs de tension) et, dans la mesure du possible, réserver des artères distinctes aux variateurs de vitesse.
- Installer des filtres passifs ou actifs pour réduire l'impact des courants et des tensions harmoniques causés par les variateurs de vitesse et limiter leur propagation dans le reste du réseau électrique.
- Consulter des spécialistes dans le cas de variateurs de vitesse de grande puissance ou de charges non linéaires dépassant 20 % de la charge totale de l'usine.

### **VIII.7. Avantages d'un variateur de vitesse correctement utilisé**

Le recours aux variateurs de vitesse offre plusieurs avantages :

- démarrage progressif des moteurs réduisant les chutes de tension dans le réseau et limitant les courants de démarrage ;
- amélioration du facteur de puissance ;
- précision accrue de la régulation de vitesse ;
- prolongement de la durée de service du matériel entraîné ;
- diminution de la consommation d'électricité.

De nouveaux variateurs de vitesse plus performants peuvent éviter l'interruption des procédés en cas de perturbation du réseau de courte durée.



### **VIII.8. Inconvénients d'un variateur de vitesse pour les réseaux électriques**

Tous les variateurs de vitesse intégrant des dispositifs de commutation (diodes, thyristors, IGBT, etc.) forment une charge non linéaire qui engendre des courants harmoniques, sources de distorsion de l'onde (chute ou perturbation de la tension) dans le réseau électrique. Cette dégradation de l'onde peut perturber tant les équipements électriques du client que ceux du réseau électrique si aucune mesure d'immunité n'est prise. Par ailleurs, des résonances harmoniques peuvent également apparaître entre les variateurs de vitesse et les batteries de condensateurs [19].

Les effets néfastes peuvent se manifester par la défaillance prématurée des équipements électriques (surchauffe des moteurs, des câbles et des transformateurs), par la dégradation de l'isolation des moteurs commandés ou par l'interruption des procédés (fusibles brûlés).

### **IX. Conclusion**

Ce chapitre a été consacré à la présentation du variateur de vitesse utilisé dans les procédés industriels actuels ; ainsi que la commande intégrées dans ces variateurs afin de pouvoir commander la machine asynchrone avec le maximum de dynamique.

## I. Introduction

Après avoir fait l'étude détaillée de la machine (mécanique, électrique) et son principe de fonctionnement, aussi l'étude des API (Schneider-Modicon Premium TSX P57 3623 M), ainsi que la partie de régulation de vitesse (variateur de vitesse) .Alor il est devenu très facile de comprendre les programmes qui gèrent tous ses systèmes.

Dans ce chapitre on donnera une présentation du logiciel de programmation utilisé (PL7 pro) ensuite on présentera quelque exemples de programme de cette logiciel.

### Partie 01 : Logicielle PL7 pro

## II. Conception de l'application

### II.1. Création de l'application

La première étape de la création d'une application est le choix du processeur (figure IV.1).

#### II.1.1. Processeur

Le choix du processeur est effectué parmi 2 familles :

- TSX Micro
- TSX Premium

En fonction du type de processeur, il est possible d'ajouter une extension mémoire de différente capacité.

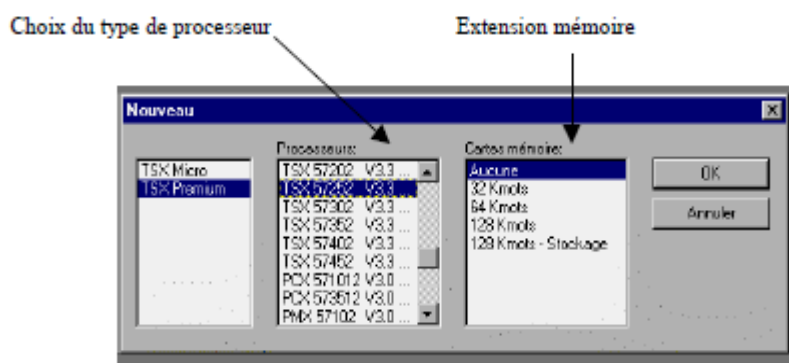


Figure.IV.1. Choix du processeur.

Les automates dont la cellule est équipée ne possèdent pas d'extension mémoire.

### III. Généralité sur l'application

#### III.1. La barre d'outils de PL7

La barre d'outils assure un accès rapide aux fonctions de base du logiciel [5].

- **Eléments et Fonctions**

La signification de chacun des éléments de la barre d'outils est présentée sur le tableau suivant :






















Elément	Fonction	Elément	Fonction
	Nouvelle application		Mode local
	Ouvrir une application		Mode connecté
	Enregistrer l'application		Passage de l'automate en RUN
	Imprimer tout ou partie de l'application		Passage de l'automate en STOP
	Annuler les dernières modifications		Lancer / Stopper l'animation
	Valider les modifications		Organisation des fenêtres en cascade
	Atteindre		Organisation des fenêtres en mosaïque horizontale
	Navigateur application		Organisation des fenêtres en mosaïque verticale
	Références croisées		Aide
	Bibliothèque de fonctions		Qu'est-ce que c'est ?
	Transfert automate <-> console		

Tableau.IV.1. Signification des icônes.

Les différentes fonctions de la barre d'outils sont également accessibles via le menu déroulant de PL7.

#### III.2. La barre d'état de PL7

La barre d'état (Figure. IV.3) positionnée en bas de l'écran présente un ensemble d'informations lié au fonctionnement du logiciel [5].

➤ **Illustration :**

La barre d'état de PL7 se présente ainsi :

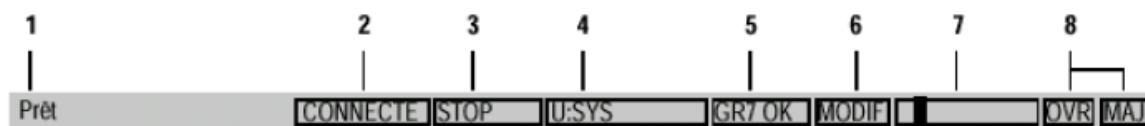



Figure. IV.2. Barre d'état.

### III.3. Navigateur d'aide de PL7

Le navigateur d'aide permet de rechercher l'information souhaitée suivant 3 principes :

- Le sommaire affiche l'ensemble des différents chapitres de l'aide.
- L'index affiche la liste alphabétique de mots clés.
- Le mode Rechercher affiche par ordre alphabétique l'ensemble des mots utilisés dans l'aide en ligne.

L'accès direct au navigateur d'aide est possible via l'icône présente dans la barre d'outils suivante : 

➤ **Illustration :** Le navigateur d'aide se présente ainsi

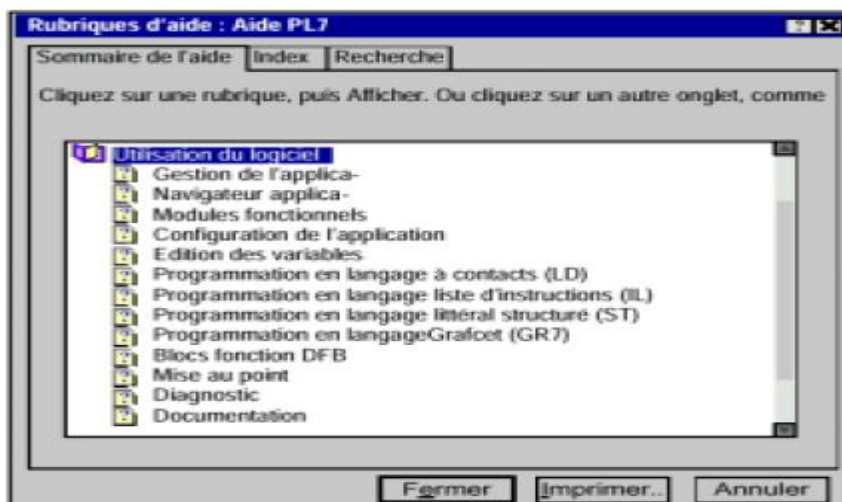


Figure.IV.3. Navigateur d'aide.

## IV. Configuration de l'application

### IV.1. Editeur de configuration

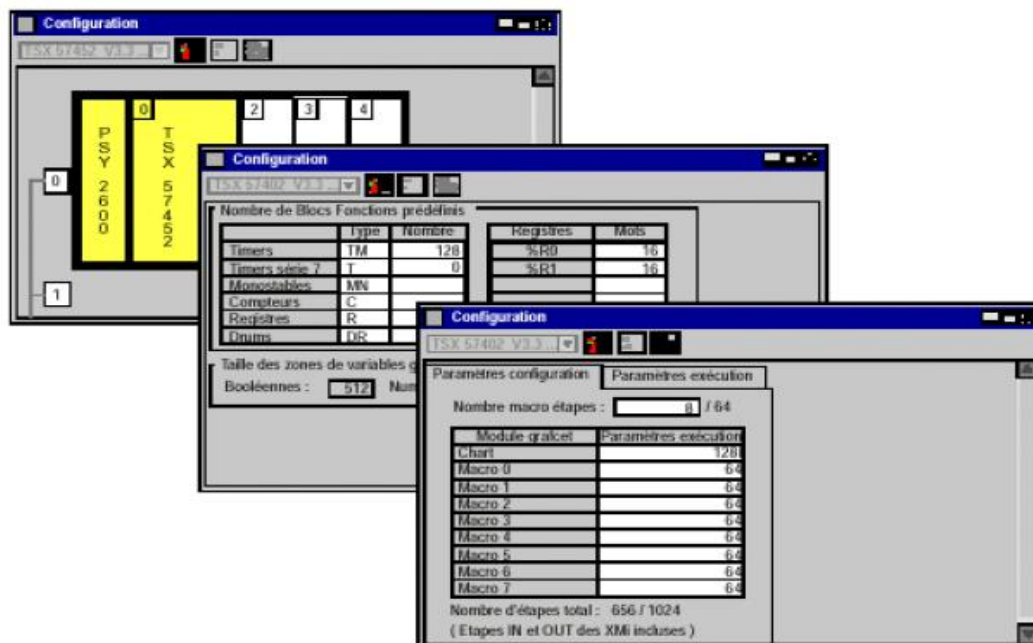
L'éditeur de configuration (**Figure. IV.4**) de PL7 assure pour chaque application les fonctions suivantes :

- la configuration matérielle,
- la configuration logicielle,
- la configuration des objets Grafcet dans le cas de la programmation en langage grafcet.

L'éditeur de configuration assure également, en mode connecté, les fonctions de mise au point, de réglage et de diagnostic.

#### ➤ Illustration

Les configurations matérielles, logicielles et des objets grafcet de l'éditeur de configuration se présente ainsi :



**Figure.IV.4.** Editeur de configuration.

## IV.2. Editeur de configuration des objets grafcet

Dans le cas d'une programmation grafcet, l'éditeur de configuration paramètres d'exécution (nombre d'étapes et de transitions actives) [6].

### ➤ Illustration

La configuration des objets grafcet se présente ainsi :

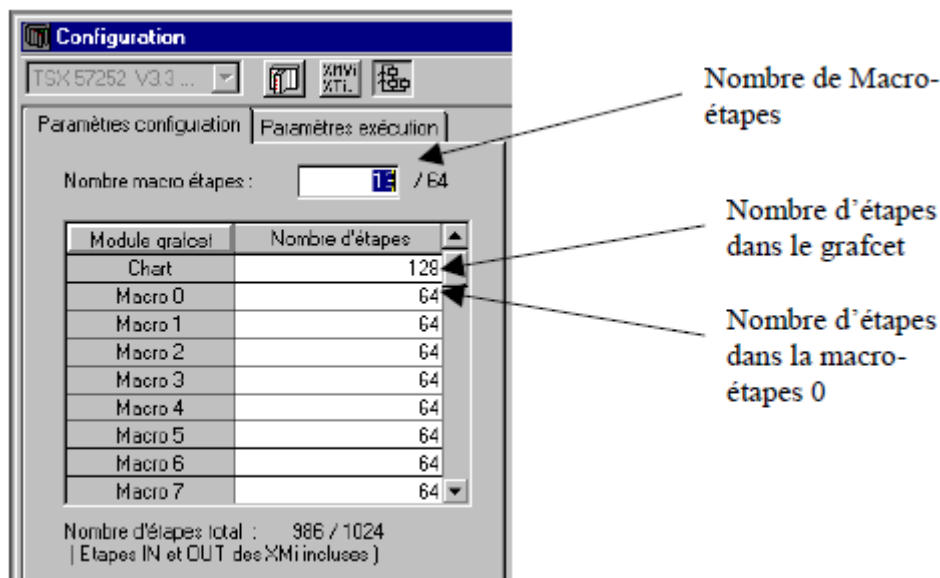


Figure.IV.5. Configuration des objets grafcet.

Les macro-étapes sont utilisées dans l'application pour les commandes de lecture et l'écriture des stations de terrain (réalisant le système d'identification codage).

## V. Edition des variables et fonctions de l'application

### V.1. Editeur des variables

L'éditeur de variables (Figure. IV.6) permet de :

- symboliser les différents objets de l'application (bits, mots, blocs fonctions, modules métiers,...)
- paramétrer les blocs fonctions prédéfinis (temporisateur, compteur,...)
- saisir les valeurs des constantes et choisir la base d'affichage (décimal, binaire, hexadécimal, flottant, message),
- instancier et paramétrer les blocs fonctions utilisateur DFB.

➤ **Illustration**

L'éditeur de variables se présente ainsi :

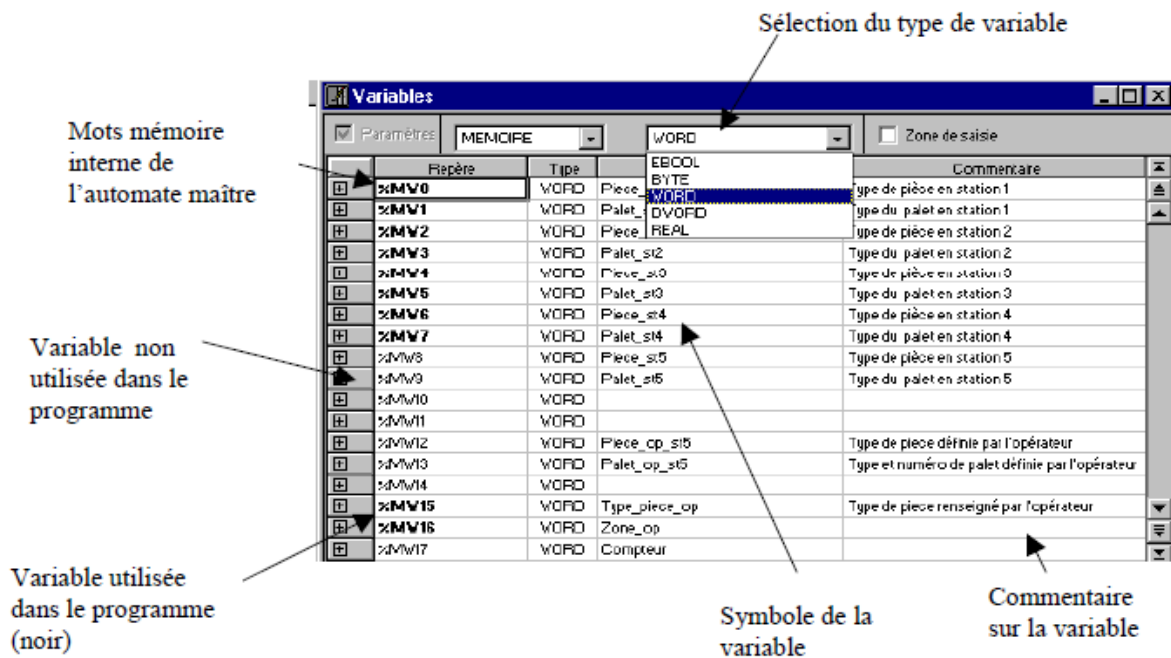


Figure.IV.6. Editeur des variables.

### V.1.1. Fonctionnalités de l'éditeur

L'accès aux variables est facilité par

- un classement par famille et par type,
- des fonctions de tri (tri par symboles ou repères),
- la possibilité de lancer une recherche à l'aide des références croisées,
- l'affichage en gras des variables utilisées dans le programme,
- la possibilité de copier / coller les symboles et commentaires d'une suite de variable.

### V.2. Variables

Les variables sont décomposées en différentes familles :

- les objets mémoire,
- les objets système,
- les constantes,
- les objets Grafcet,
- les FB Prédéfinis,
- les E/S,

- les instances DFB,
- les objets de communication
- **Illustration**

Les variables sont accessibles via l'éditeur de variables du navigateur d'application [8].

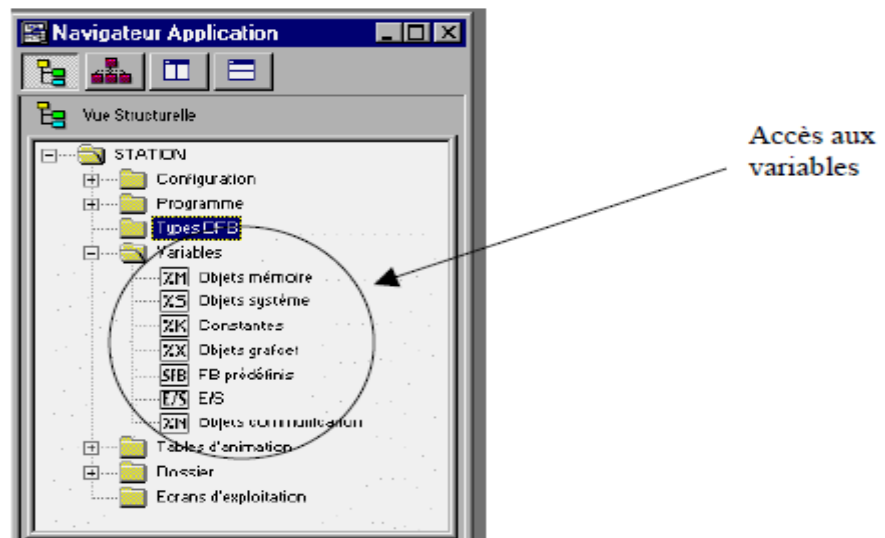


Figure.IV.7. Navigateur d'application.

## VI. Programmation de l'application

### VI.1. Editeur de programme

Les éditeurs de programme (**Figure. IV.8**) permettent la programmation des fonctions et métiers mis en oeuvre dans l'application. Quatre éditeurs programme sont proposés :

- éditeur langage à contact (LD),
- éditeur langage listes d'instructions (IL),
- éditeur langage littéral structuré (ST),
- éditeur langage Grafcet (G7),



➤ **Illustration**

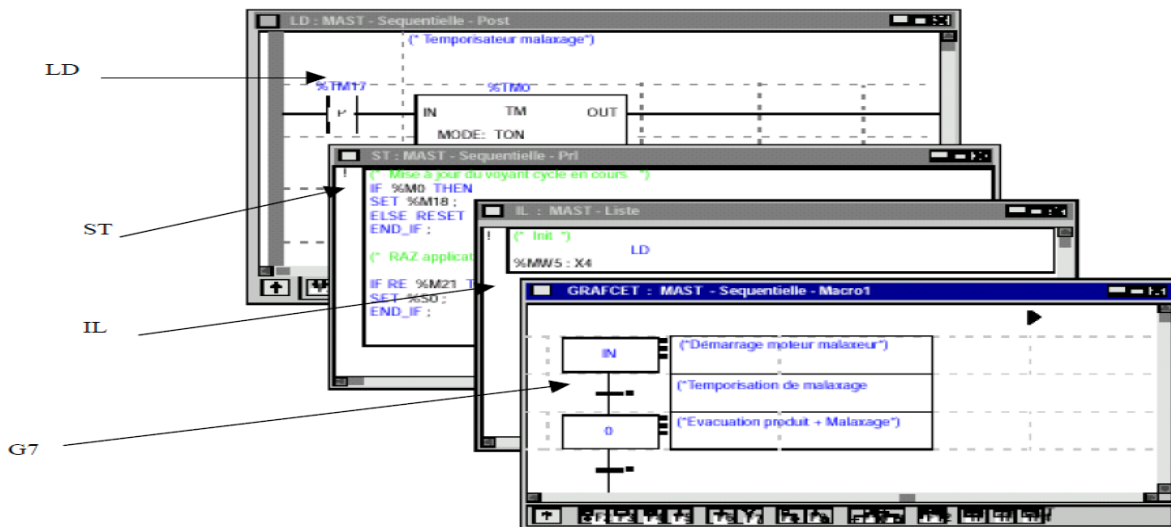


Figure.IV.8. Editeur de programme.

**VI.2. Editeur de langage à contact (LD)**

L'éditeur de langage à contact est un éditeur graphique qui permet la construction de réseaux de contacts (transcription de schéma à relais) [11].

Cet éditeur est structuré en zones et possède des outils et fonctionnalités accessibles directement par la souris ou le clavier tels que :

- des outils de base (contact, fils booléen, bobines, bloc opération,...)
- un appel immédiat à des outils d'aide à la saisie des fonctions en bibliothèque ,
- un accès direct à un sous-programme à partir de fonctions en bibliothèque,
- différents modes de visualisation.

➤ **Illustration**

L'éditeur de langage à contact se présente ainsi :

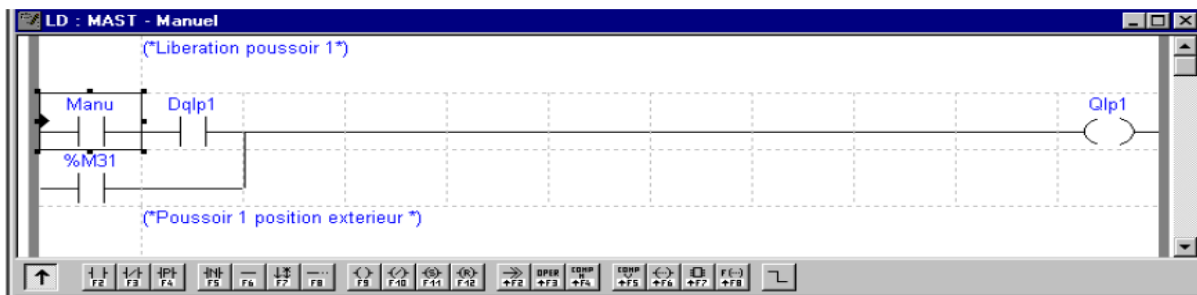


Figure.IV.9. Langage à contact.

La barre d'outils de l'éditeur de langage à contact permet de réaliser les contacts, bobines, bloc opération...etc.

### VI.2.2. Outils de programmation

Les éléments graphiques de l'éditeur de programme du langage à contact sont les suivants :

#### ❖ Contacts







Désignation	Graphisme	Fonctions
Contact à fermeture		Contact passant quand l'objet bit qui le pilote est à l'état 1.
Contact à ouverture		Contact passant quand l'objet bit qui le pilote est à l'état 0.
Contact à détection de front montant		Front montant : détection du passage de 0 à 1 de l'objet bit qui le pilote.
Contact à détection de front descendant		Front descendant : détection du passage de 1 à 0 de l'objet bit qui le pilote.

Front


#### ❖ Eléments de liaisons

Désignation	Graphisme	Fonctions
Connexion horizontale		Permet de relier en série les éléments graphiques de test et d'action entre les deux barres de potentiel.
Connexion verticale de potentiel		Permet de relier en parallèle les éléments graphiques de test et d'action.
Dérivation court-circuit		Permet de relier 2 objets au travers de plusieurs connexions.


❖ Bobines

Désignation	Graphisme	Fonctions
Bobine directe		L'objet bit associé prend la valeur du résultat de la zone test.
Bobine inverse		L'objet bit associé prend la valeur inverse du résultat de la zone test.
Bobine d'enclenchement		L'objet bit associé est mis à 1 lorsque le résultat de la zone test est à 1.
Bobine de déclenchement		L'objet bit associé est mis à 0 lorsque le résultat de la zone test est à 1.
Saut conditionnel à un autre réseau (JUMP)	->>%Li	Permet un branchement à un réseau étiqueté, amont ou aval. Les sauts ne sont effectifs qu'au sein d'une même entité de programmation (programme principal, sous-programme,...). L'exécution d'un saut provoque : <ul style="list-style-type: none"> <li>- l'arrêt de la scrutation du réseau en cours,</li> <li>- l'exécution du réseau étiqueté demandé,</li> <li>- la non scrutation de la partie du programme située entre l'action de saut et le réseau désigné.</li> </ul>
Bobine dièse		Proposée en langage Grafset, utilisée lors de dièse la programmation des réceptivités associées aux transistions provoque le passage à l'étape suivante.
Bobine appel à un sous-programme (CALL)		Permet un branchement en début de sous-programme lorsque le résultat de la zone de test sous-programme est à 1. L'exécution d'un appel à un sous-programme provoque : <ul style="list-style-type: none"> <li>- l'arrêt de la scrutation du réseau en cours,</li> <li>- l'exécution du sous-programme,</li> <li>- la reprise de la scrutation du réseau interrompu.</li> </ul>

❖ Blocs fonctions standard

Désignation	Graphisme	Fonctions
Blocs Temporisateur, Compteur, Monostable, Registre, Programmateur cyclique		Chacun des blocs fonctions standards utilise des entrées, des sorties, des entrées/sorties permettant de les relier aux autres éléments graphiques.

❖ Blocs fonctions DFB

Désignation	Graphisme	Fonctions
Blocs programmables		Chacun des blocs fonctions DFB utilise des entrées, des sorties, des entrées/sorties permettant de les relier aux autres éléments graphiques pour les objets de type bits ou pouvant être affectés à des objets numériques ou tableaux

## ❖ Blocs fonctions FB

Désignation	Graphisme	Fonctions
Bloc comparaison vertical		Permet la comparaison de 2 opérandes, suivant le résultat, la sortie correspondante passe à 1. Dimension : 2 colonnes/4 lignes
Bloc comparaison horizontal		Permet la comparaison de 2 opérandes, la sortie passe à 1 lorsque le résultat est vérifié (un bloc peut contenir jusqu'à 4096 caractères). Dimension : 2 colonnes/1 ligne
Bloc Opération		Réalise les opérations arithmétiques, logiques... fait appel à la syntaxe du langage littéral structuré. (Un bloc peut contenir jusqu'à 4096 caractères). Dimension : 4 colonnes/1 ligne

## VI.3. Editeurs de langage liste d'instruction (IL)

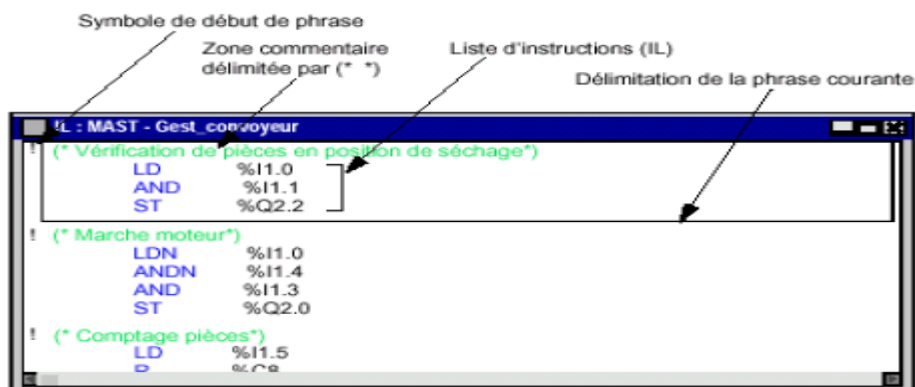
L'éditeur de langage liste d'instruction (**Figure. IV.10**) permet l'écriture de traitements logiques et numériques sous forme booléenne.

Cet éditeur dispose de fonctionnalités telles que :

- la mise en forme automatique,
- les saisies et visualisation des opérandes sous forme de symboles et de repères,
- l'aide à la saisie des instructions sur bloc fonction (%Tmi...) et des fonctions de la bibliothèque,
- l'affichage en couleur des mots clefs du langage et des commentaires [5].

## ➤ Illustration

L'éditeur de programme du langage liste d'instruction (IL) se présente ainsi :



**Figure.IV.10.** Langage liste d'instruction.

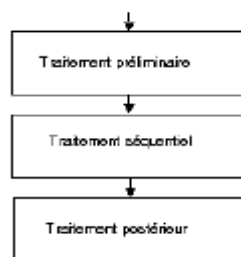
### VI.4. Editeurs de langage grafcet

Une section de programme grafcet comporte 3 parties :

- un traitement préliminaire (Prl) permet de traiter la logique d'entrée et l'initialisation sur reprise secteur ou défaillance ( LD, ST, IL),
- un traitement séquentiel (Chart) gère l'aspect séquentiel de l'application (G7),
- un traitement postérieur (Post) permet de traiter la logique de sortie, la surveillance et les sécurités indirectes spécifiques aux sorties ( LD, ST, IL).

La section grafcet se programme dans la tâche MAST.

L'ordre de scrutation des traitements se présente ainsi :



#### ➤ Editeur graphique

L'éditeur Grafcet permet de représenter graphiquement et de façon structuré le fonctionnement d'un automatisme séquentiel. Cet éditeur se compose de 8 pages de 14 lignes et 11 colonnes qui définissent ainsi des cellules pouvant accueillir chacune un élément graphique.

Il dispose de nombreux outils permettant la saisie de façon conviviale tels que :

- une palette d'objets graphiques accessibles directement par la souris ou le clavier (les étapes, transitions, liaisons, renvois, macro-étapes,...)
- une numérotation automatique des étapes,
- un affichage par page Grafcet avec les lignes d'étapes et de transition,
- une saisie simplifiée des commentaires,
- deux modes de visualisation [6].

### ➤ Illustration

L'éditeur de programme du langage Grafset se présente ainsi :

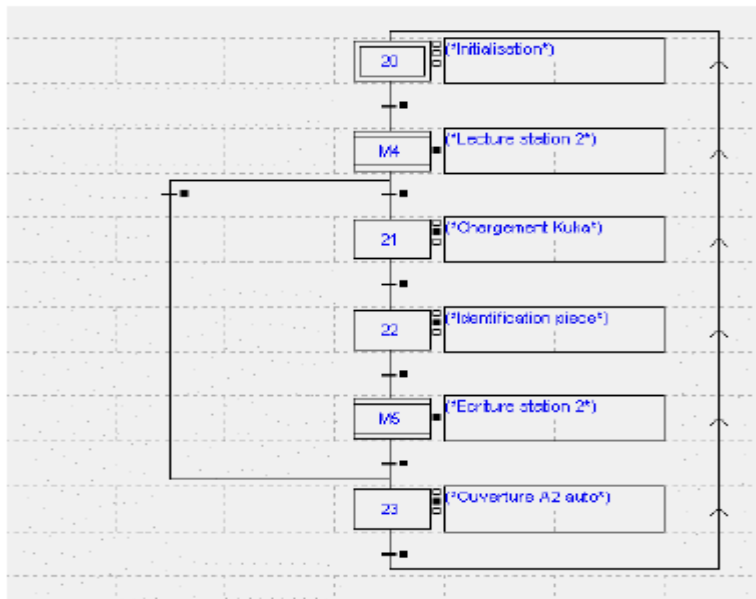


Figure.IV.11. Langage grafset.

La barre d'outils de l'éditeur de programme de langage Grafset permet de représenter les différents objets graphiques (les étapes, les transitions, les macro-étapes, les liaisons...).



## VI.5. Transfert programme PL7

Le transfert de programme (Figure. IV.12) permet d'échanger l'intégralité de l'application (en mode stop) mise à part les écrans d'exploitation. Deux sens de transfert sont possibles :

- Du terminal (PC) vers l'automate,
- De l'automate vers le terminal.

Le transfert de programme est accessible via le sommaire :

AP → Transférer Programme.

### ➤ Illustration

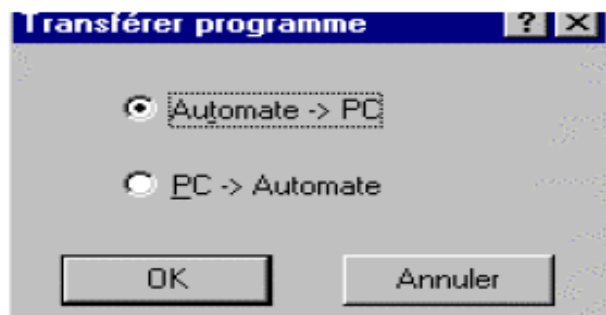


Figure.IV.12. Transfert du programme Automate vers PC

## VI.6. Transfert données PL7

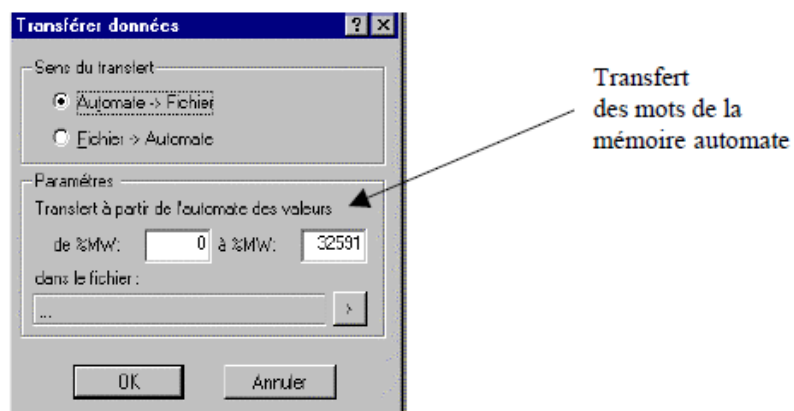
Le transfert de données (**Figure. IV.13**) permet d'échanger les variables, symboles et commentaires de l'application(en mode stop). Deux sens de transfert sont possibles :

- du fichier situé sur le terminal (PC) vers l'automate,
- de l'automate vers le fichier situé sur le terminal.

Le transfert de données est accessible via le sommaire [11] :

**AP → Transférer données**

### ➤ Illustration



**Figure.IV.13.** Transfert de données Automate → Fichier.

## VII. Diagnostic PL7

Le logiciel PL7 permet un diagnostic (**Figure. IV.14**) en mode connecté à différents niveaux de l'application tels que :

- le système
- le process
- l'automate (dernier arrêt d'exécution)
- les modules (défaut classés selon leur catégorie)
- le programme (cause et origine des défauts) Les fonctions de diagnostic de PL7 sont réparties dans les différents éditeurs ou outils logiciel de PL7.

### ➤ Illustration

Les diagnostics peuvent donc dans certain cas mettre en évidence les défauts sur les voies modules déportés.

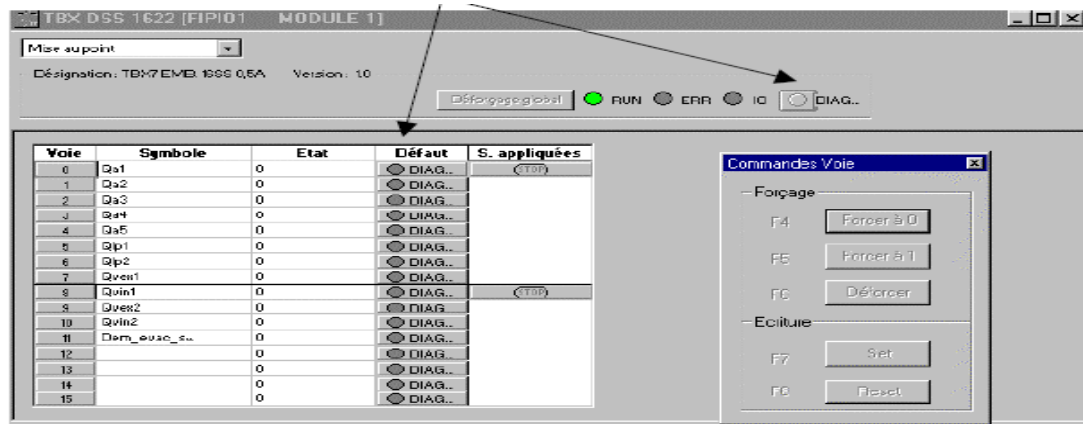


Figure.IV.14. Diagnostic d'un module déporté.

## Partie 02 : Exemples de programmation du variateur

Dans cette partie on présentera deux exemples de programmation sur la zone de paquets essentiellement sur le fonctionnement de la pince D8. Le premier exemple de programme est écrit en langage machine (contact), et le deuxième est écrit en grafcet décrivant un cycle de fonctionnement [6].

### VII. Définition des tableaux des actions et des transitions

#### ❖ Actions

##### ✓ Translation

- Avant
- Arrière

##### ✓ Rotation

- Plus 90 ^
- Moins 0 ^

##### ✓ Ecartement

- Ecart
- Serre

##### ✓ Levage

- Monte
- Descente

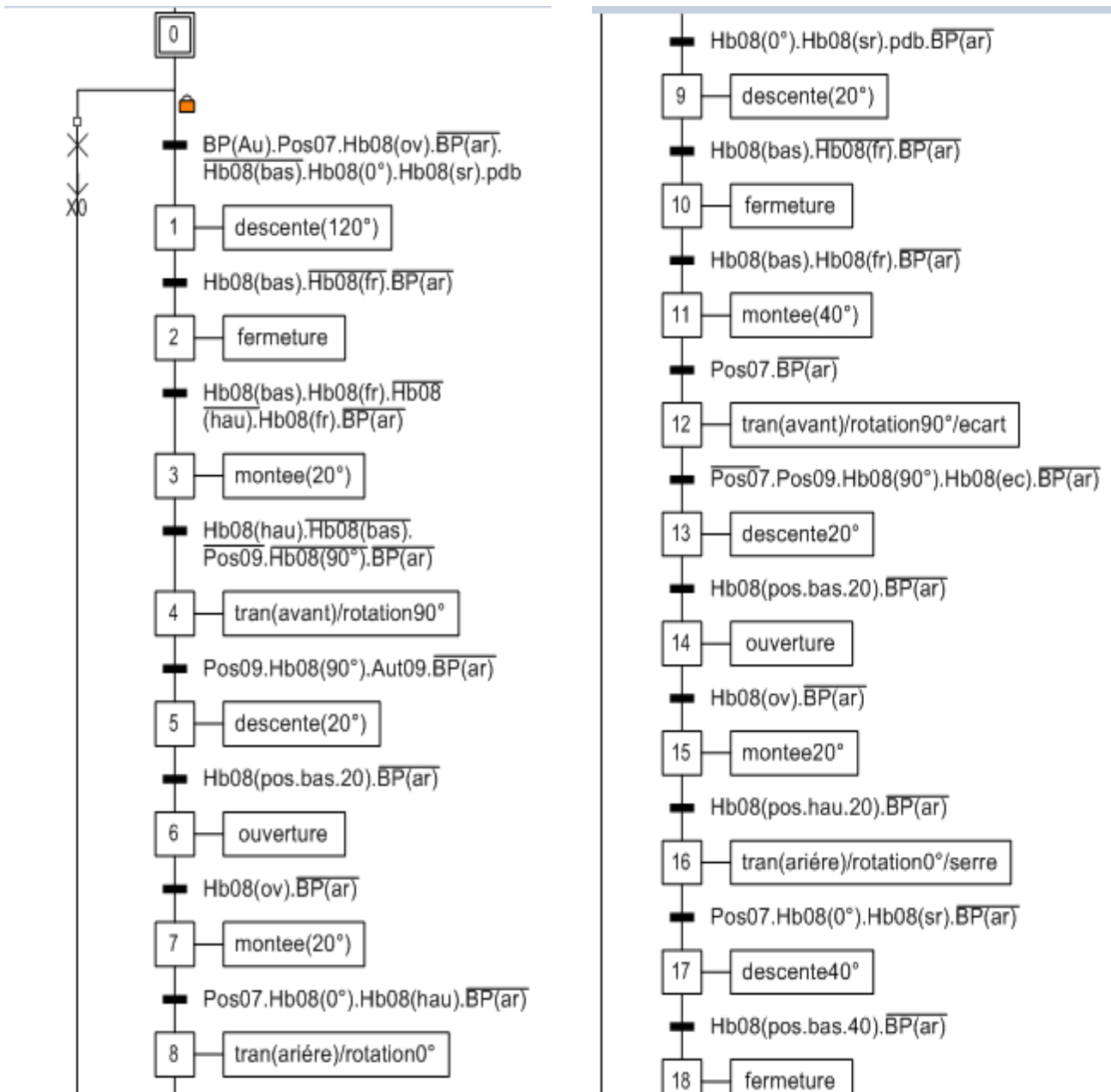


- ✓ Fermeture
- ✓ Ouverture
- ❖ Conditions

<b>Abréviations</b>	<b>Transition</b>
<b>BP(Au)</b>	Boutant poussoir de démarrage automatique de cycle
<b>Pos07</b>	Position de pince est en haut de chaine 07
<b>Hb08(ov)</b>	Le pince Hb08 est ouverte
<b>Hb08(0°)</b>	Le position du pince hb08 est en zéro degré
<b>Hb08(sr)</b>	Le situation du doigts de pince hb08 est serre
<b>Pdb</b>	La présentation de paquet
<b>Hb08(bas)</b>	Le pince hb08 est en position bas
<b>Hb08(fr)</b>	Le situation du doigts de pince hb08 est fermée
<b>BP(ar)</b>	Boutant poussoir arrête de paqueitisation
<b>Hb08(hau)</b>	Le pince hb08 est en position haut
<b>Pos09</b>	Position de pince est en haut de chaine 09
<b>Hb08(90°)</b>	Le position du pince hb08 est en quatre-vingt dix degré
<b>Aut09</b>	Autorisation de la chaine 09
<b>Hb08(pos.bas.20)</b>	Le pince hb08 est en position bas à 20cm
<b>Hb08(ec)</b>	Le situation du doigts de pince hb08 est écart
<b>Hb08(pos.hau.20)</b>	Le pince hb08 est en position haut à 20cm
<b>Hb08(pos.bas.40)</b>	Le pince hb08 est en position bas à 40cm
<b>Hb08(pos.hau.60)</b>	Le pince hb08 est en position haut à 60cm
<b>Hb08(pos.bas.60)</b>	Le pince hb08 est en position bas à 60cm
<b>Hb08(pos.hau.80)</b>	Le pince hb08 est en position haut à 80cm

**Tableau. IV.2** Tableaux de conditions.

**VII.1. Grafset du cycle de pince D8 de paquetisation :**





**VII.2. Langage contact du cycle de pince D8 de paquettisation**

---

# *Chapitre I*

## *Etude de l'unité*

---

## *Chapitre II*

# *Automates programmable industriels*

---

# *Chapitre III*

## *Etude de variation de vitesse*

---

## *Chapitre IV*

# *Programmation de l'automate*

**VIII. Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons présenté une initiation à la programmation avec logiciel PL7 pro et aussi on a donné des exemples de programmations de l'unité étudiée.



---

## *Conclusion générale*

Ce sujet est proposé dans le cadre de l'intégration de l'université dans le domaine industriel.

La **SARL BRIQUETERIE BRANIS DAR AROUS, BRANIS W / BISKRA** est un partenaire industriel à proximité qui offre une grande opportunité aux étudiants de faire connaissance avec les nouvelles technologies industrielles. Autant dans le domaine électrotechnique (machine, électronique de puissance) que dans le domaine de commande et d'automatisation.

Notre travail nous a permis d'avoir une vision pratique de toutes les connaissances théoriques étudiées pendant notre formation.

La machine étudiée (dépiqueur) comporte : deux moteurs asynchrones et deux servomoteurs, un automate Schneider. **Modicon Premium TSX P573623 M** et quatre variateurs de vitesse basés sur la nouvelle technologie de la commande vectorielle (régulation, commande, onduleur).

Aussi nous a permis de s'initier à la programmation avec logiciel PL7 Pro et de présenter quelques exemples de programmes pour la commande de cette machine.

---

## *Bibliographie*

- [1] Documentation technique de la depileur de la sarl Briequeterie branis-biskra (Matériels, Mécanique, électrique).
- [2] CANUDAS DE WIT carlos <<Carlos Modélisation contrôle vectoriel et DTC>> Thèse de doctorat, siemens Revue , 19 juil -2000
- [3] Gareth Pugsley, << Modélisation paramétrique non linéaire des machines asynchrones et démarche d'optimisation associé >>, Thèse de doctorat, INPG, Grenoble, 2004.
- [4] << automatique et informatique industriel >> Pierre Boy, André Bianciotto. Delagrave ,1997
- [5] F.Blaschke, "The principle of field orientation as applied to the new transvector closed-loop control system for rotating-field machines", siemens Revue, 1972.
- [6] << Le grafcet sa pratique et des application >> J.C.Bossy, P.Faujère, C,Merlaud,
- [7] technique de l'ingénieur << spécification et choix de l'équipement industriel >> (R7545). Claud Gailledreau.
- [8] << équipements et installations électriques >> René Bourgeois, 3ém édition, Paris 2000.
- [9] << automatique et informatique industriel >> Pierre Boy, André Bianciotto. Delagrave,1997
- [10] << Projet Space Vector PWM Inverter >> février 2005 ; Réalisé par : Jin-Woo Jung
- [11] Cristian Lascu, Ion Boldea,' Frede Blaabjerg "A Modified Direct Torque Control (DTC) for Induction Motor Sensorless Drive", 0-7803-4943-1/9g510.00 .0 1998 IEEE.
- [12] Ismail Himdi, << observation et commande de moteurs asynchrones >>, Rapport de projet, Ecole nationale supérieure d'ingénieurs, ENSICAEN, caen, 2009.
- [13] Mustapha Messaoudi, Habib Kraiem, Mouna Benhamed, Lassaad Sbity and Mohamed N. Abdelkrim, "A Robust Sensorless Direct Torque control of Induction Motor Based on MRAS and Extended Kalman Filter", Leonardo Journal of Sciences, Issue 12. January-June 2008, p. 35-56.
- [14] Pena Eguiluz, << Commande algorithmique d'un système mono-onduleur bi machine asynchrone destiné à la traction ferroviaire >> , thèse de doctorat, INP, Toulouse. 2002.
- [15] Minh Ta cao, << commande numérique de machines asynchrones par logique floue >>, Thèse de doctorat (ph.D.), université Lavar,euébec, Décembre 1997.
- [16] Nourddine Benbaha, " commande Robuste Tolérante aux Défauts : Application à la Machine à courant Alternatif ", Mémoire de magister, université de Batna, 2009.

- 
- [17] Antoni Arias Pujol, << Improvements in direct torque control of induction Motors >> , thèse de doctorat, université polytechnique, UPC, catalunya, 2000.
- [18] Khelifa Benmansour, << Réalisation d'un banc d'essai pour la commande et l'observation des convertisseurs Multicellulaires série : Approche Hybride >>, Thèse de doctorat, université de gergy pontoise (Spécialité Automatique) 29/06/2009.
- [19] Nabti Khalil, "Stratégies de commande et techniques intelligentes appliquées aux machines de type synchrone", Thèse de doctorat, université Mentouri, constantine. 2010.
- [20] Drit Théodora zahaieva, "Les algorithmes de commande à structure variable appliqués à un moteur synchrone autopiloté pour le contrôle en vitesse et en position ‘’, Thèse de L'INSA de Toulouse, 1998.
- [21] Abed Khoudir, "Techniques de commande avancées appliquées aux machines de type asynchrone", Thèse de doctorat, Université Mentouri, Constantine ,22 Juin2010.
- [22] Ricardo Alvarez Salas, "Développement de lois de commandes avec observateurs pour machine asynchrone, Thèse de doctorat, INPG, 2002.
- [23] Adel Merabet, "commande non linéaire à modèle prédictif pour une machine asynchrone", Thèse de doctorat, Université du Québec, chicoutimi, Mai, 2007.
- [24] François Malfrait, ‘problèmes d'identification et d'observabilité du moteur à induction pour la variation de vitesse industrielle sans capteur, Thèse de doctorat. Ecole Nationale Supérieure des Mines, paris, 2001.
- [25] Romain Delpoux, << contribution à l'identification, l'estimation et la commande de Moteurs Synchrones à Aimants Permanents (MsAp) >>, Thèse de doctorat, Ecole centrale de Lille, 2012.