

*Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou  
Faculté de Génie Electrique et d'Informatique  
Département Automatique*



## *Projet*

*De fin d'études  
en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état  
En Automatique*

### *THEME*

**Conception d'un automatisme programmé  
pour le contrôle d'humidité du séchoir de la  
briqueterie d'IRDJEN.**

**Proposé par :**

**Melle. F. OUKFIF  
(Eurl briqueterie Irdjen)**

**Présenté par :**

**Mr.AIT ABDERRAHMANE MOHAMED**

**Dirigé par :**

**Mr. S. DJENNOUNE**

Promotion 2007-2008

# SOMMAIRE

|                                   |          |
|-----------------------------------|----------|
| <b>INTRODUCTION GENERALE.....</b> | <b>1</b> |
|-----------------------------------|----------|

|                     |  |
|---------------------|--|
| <b>Chapitre I :</b> | <b>Etude du processus de fabrication</b> |
|---------------------|--|

|   |           |
|---|-----------|
| <b>I. Introduction .....</b>  | <b>3</b>  |
| <b>II. Présentation de l'entreprise d'accueil .....</b>                       | <b>3</b>  |
| <b>II.1. situation géographique et administrative.....</b>                    | <b>3</b>  |
| <b>II.2. Description de la ligne technologique de fabrication .....</b>       | <b>4</b>  |
| <b>II.2.1. type d'équipement constituant la chaîne de fabrication .....</b>   | <b>4</b>  |
| <b>II.2.2. Fonctionnement des équipements.....</b>                            | <b>5</b>  |
| <b>a) Laminoirs à cylindres : .....</b>                                       | <b>5</b>  |
| <b>b) Les broyeurs et concasseurs :.....</b>                                  | <b>5</b>  |
| <b>c) Les doseurs-alimentateurs : .....</b>                                   | <b>6</b>  |
| <b>d) Les transporteurs-convoyeurs : .....</b>                                | <b>6</b>  |
| <b>e) Les transporteurs et navettes :.....</b>                                | <b>6</b>  |
| <b>f) Les turbines et ventilateurs :.....</b>                                 | <b>6</b>  |
| <b>g) Les brûleurs et chambres de combustion à gaz : .....</b>                | <b>6</b>  |
| <b>h) Les pompes hydrauliques et pneumatiques :.....</b>                      | <b>7</b>  |
| <b>i) Les mouilleurs et malaxeurs : .....</b>                                 | <b>7</b>  |
| <b>j) Les tables tournantes : .....</b>                                       | <b>7</b>  |
| <b>k) La mouleuse étireuse :.....</b>   | <b>7</b>  |
| <b>l) Les impulseurs et entraîneurs :.....</b>                                | <b>7</b>  |
| <b>m) Les armoires et automates électriques de commande :.....</b>            | <b>8</b>  |
| <b>n) Le coupeur :.....</b>   | <b>8</b>  |
| <b>o) Les tables de transfert :.....</b>                                      | <b>8</b>  |
| <b>p) Les engins roulants :.....</b>  | <b>8</b>  |
| <b>q) Les circuits électriques :.....</b>                                     | <b>8</b>  |
| <b>r) Les circuits de conduites de fluides (huiles, air, gaz, eau) :.....</b> | <b>8</b>  |
| <b>s) Les générateurs d'énergie (électrique, pneumatique,...) :.....</b>      | <b>9</b>  |
| <b>t) Wagons et chariots : .....</b>  | <b>9</b>  |
| <b>u) Equipements annexes :.....</b>  | <b>9</b>  |
| <b>II.2.3. Les étapes de fabrication.....</b>                                 | <b>9</b>  |
| <b>II.2.3.1 La préparation.....</b>   | <b>12</b> |
| <b>1. Le pourrissage .....</b>  | <b>12</b> |

# SOMMAIRE

|   |    |
|---|----|
| 2. Elimination des impuretés.....   | 12 |
| 3. Fragmentation des terres .....   | 13 |
| 4. Formation des mélanges.....  | 13 |
| 5. Homogénéisation et humidification .....  | 13 |
| 6. Stockage des matières préparées .....  | 13 |
| II.2.3.2 La fabrication ou le façonnage.....  | 14 |
| 1. Le broyage et le malaxage .....  | 14 |
| 2. L'étirage .....  | 14 |
| II.2.3.3 Le séchage.....  | 14 |
| II.2.3.4 La cuisson .....   | 15 |
| III. Description du procédé de séchage (séchoir tunnel semi continu TERAM-20) ..... | 16 |
| III.1. caractéristiques du séchoir.....   | 16 |
| III.2. équipements constituant le séchoir .....                                     | 17 |
| III.2.1 Régulateur de température .....   | 17 |
| III.2.2 Générateurs d'air chaud .....   | 18 |
| III.2.3 Ventilateurs d'air chaud.....   | 18 |
| III.2.4 Ventilateurs d'air d'échappements .....                                     | 18 |
| III.2.5 Ventilateurs de brassage.....   | 19 |
| III.2.6 Moteurs asynchrones .....   | 19 |
| III.2.6.1 Présentation.....   | 19 |
| III.2.6.2 Démarrage.....  | 20 |
| III.2.7 Pompes .....  | 20 |
| III.2.8 Capteurs de mesures.....  | 20 |
| III.2.8.1 Les capteurs digitaux .....   | 22 |
| III.2.8.2 Les capteurs analogiques .....  | 22 |
| III.3. Fonctionnement .....   | 22 |
| III.3.1 Description du processus de séchage.....                                    | 22 |
| III.3.2 Paramètres de fonctionnements .....   | 25 |
| III.3.3 Système de commande et réglage du séchoir tunnel.....                       | 25 |
| IV. problématique de l'entreprise .....   | 26 |
| IV.1 Cahier des charges.....  | 26 |
| IV.2 Contraintes spécifiques rencontrées : .....                                    | 27 |
| V. Conclusion :.....  | 27 |

# SOMMAIRE

|                     |   |
|---------------------|---|
| <b>Chapitre II:</b> | <b>Identification du comportement du système</b>            |
| <b>I.</b>           | <b>Introduction .....28</b>                                 |
| <b>II.</b>          | <b>Notions générales en céramique .....29</b>               |
| <b>II.1.</b>        | <b>historique et caractéristiques de l'argile .....29</b>   |
| <b>II.2.</b>        | <b>classification des produits céramiques .....29</b>       |
| <b>II.2.1</b>       | <b>D'après la destination .....29</b>                       |
| <b>II.2.2</b>       | <b>D'après la Porosité .....29</b>                          |
| <b>II.2.3</b>       | <b>D'après l'état de surface .....30</b>                    |
| <b>II.3.</b>        | <b>composition de la matière première .....30</b>           |
| <b>II.3.1</b>       | <b>Composition minéralogique .....30</b>                    |
| <b>II.3.1.1</b>     | <b>La kaolinite .....30</b>                                 |
| <b>II.3.1.2</b>     | <b>Montmorillonite.....30</b>                               |
| <b>II.3.2</b>       | <b>Composition chimique.....31</b>                          |
| <b>II.3.3</b>       | <b>Composition granulométrique .....32</b>                  |
| <b>II.4.</b>        | <b>Propriétés principales de l'argile.....32</b>            |
| <b>II.4.1</b>       | <b>propriétés hydro physiques.....32</b>                    |
| <b>II.4.2</b>       | <b>propriétés mécaniques.....32</b>                         |
| <b>a)</b>           | <b>État fragile .....32</b>                                 |
| <b>b)</b>           | <b>État plastique.....32</b>                                |
| <b>c)</b>           | <b>État visco-fluide.....32</b>                             |
| <b>II.4.3</b>       | <b>propriétés de séchage (retrait sur sec) .....33</b>      |
| <b>II.4.3.1</b>     | <b>L'eau hygroscopique (eau liée mécaniquement).....34</b>  |
| <b>II.4.3.2</b>     | <b>L'eau zéolitique .....34</b>                             |
| <b>II.4.3.3</b>     | <b>L'eau de constitution (eau liée chimiquement).....34</b> |
| <b>II.5.</b>        | <b>Calcul de l'humidité des argiles .....34</b>             |
| <b>II.5.1</b>       | <b>Humidité absolue.....35</b>                              |
| <b>II.5.2</b>       | <b>Humidité relative.....35</b>                             |
| <b>III.</b>         | <b>Analyse du procédé de séchage.....37</b>                 |
| <b>III.1.</b>       | <b>concept actuel d'admission d'air chaud.....37</b>        |
| <b>III.2.</b>       | <b>relevés et essais menés sur le procédé .....39</b>       |
| <b>III.2.1</b>      | <b>Essai de séchage (retrait en %) .....40</b>              |
| <b>III.2.2</b>      | <b>Calcul de l'humidité.....42</b>                          |
| <b>III.2.2.1</b>    | <b>Calcul d'humidité de façonnage .....42</b>               |

# SOMMAIRE

|   |    |
|---|----|
| III.2.2.2 Calcul de l'humidité relative (résiduelle) du produit à la sortie du séchoir..... | 43 |
| III.2.2.3 Calcul de l'humidité absolue de l'air.....  | 44 |
| III.2.3 le point critique du système .....  | 46 |
| III.2.4 évolution de la température au sein du procédé de séchage.....                      | 47 |
| III.2.4.1 évolution nominale .....  | 47 |
| III.2.4.2 évolution des températures moyennes au sein du tunnel.....                        | 51 |
| III.3. Perspectives sur un nouveau concept d'admission d'air chaud.....                     | 52 |
| III.1.1 Choix des variables (commande/commandée).....                                       | 52 |
| III.1.2 la boucle de régulation.....  | 53 |
| III.3. sensibilité aux paramètres de séchage.....   | 53 |
| III.3.1 Effet de la température de l'air séchant.....                                       | 53 |
| III.3.2 Effet de la vitesse de l'air séchant .....  | 53 |
| III.3.2 Effet de la cadence de chargement de chariots irrégulière.....                      | 54 |
| IV. Conclusion .....  | 54 |

## Chapitre III :        Implantation du graphe séquentiel de chargement dans l'API S7-300

|  |    |
|--|----|
| I. Introduction .....  | 55 |
| II. Les systèmes de commande.....  | 55 |
| II.1 Les solutions câblées .....   | 55 |
| II.1.1 Inconvénients des solutions câblées .....                             | 55 |
| II.1.1 Avantages des solutions câblées .....                                 | 56 |
| II.2 Les solutions programmées (utilisation d'un automate programmable)..... | 56 |
| II.2.1 Inconvénients des solutions programmées .....                         | 56 |
| II.2.2 Avantages des solutions programmées .....                             | 56 |
| III. Automates Programmables Industriels (API).....                          | 58 |
| III.1 Historique et définition.....  | 58 |
| III.2 Structure d'un automate programmable .....                             | 59 |
| III.2.1 Structure externe .....  | 59 |
| III.2.1.1 De type compact .....  | 59 |
| III.2.1.2 De type modulaire .....  | 59 |
| III.2.2 Structure interne.....   | 60 |
| III.3 Langages de programmation .....  | 61 |

# SOMMAIRE

|  |           |
|--|-----------|
| <b>III.3.1 Les langages normalisés.....</b>  | <b>61</b> |
| <b>III.3.1.1 Liste d'instructions (LIST) .....</b>   | <b>61</b> |
| <b>III.3.1.2 Langage littéral structuré .....</b>  | <b>61</b> |
| <b>III.3.1.3 Langage à contact (CONT).....</b>   | <b>61</b> |
| <b>III.3.1.4 Langage logigramme (LOG).....</b>   | <b>61</b> |
| <b>III.3.2 Le langages GRAFCET (GRAPhe Fonctionnel de Commande Etapes Transitions) .....</b> | <b>61</b> |
| <b>III.3.2.1 Le Grafcet autant qu'outil de modélisation .....</b>                            | <b>61</b> |
| <b>III.3.2.2 Le Grafcet autant que langage de programmation.....</b>                         | <b>62</b> |
| <b>III.4 Critère de choix d'un automate programmable.....</b>                                | <b>63</b> |
| <b>III.5 L'Automate Programmable Industriel S7-300.....</b>                                  | <b>63</b> |
| <b>III.5.1 Présentation globale.....</b>   | <b>63</b> |
| <b>III.5.2 Programmation de la commande séquentielle .....</b>                               | <b>64</b> |
| <b>III.5.2.1 Logiciels de programmation .....</b>  | <b>64</b> |
| <b>1. Présentation du logiciel de base STEP7 .....</b>                                       | <b>65</b> |
| <b>2. Présentation du logiciel optionnel S7-GRAPH .....</b>                                  | <b>65</b> |
| <b>III.5.2.2 Enoncé technologique du problème.....</b>                                       | <b>65</b> |
| <b>1. Vue technologique de la station.....</b>   | <b>65</b> |
| <b>2. Etat de la station au repos .....</b>  | <b>65</b> |
| <b>3. Diagramme fonctionnel de l'opération de chargement .....</b>                           | <b>68</b> |
| <b>III.5.2.3 Structure du programme développé.....</b>                                       | <b>70</b> |
| <b>III.5.2.4 Graphe séquentielle (Manutention_cahriots) .....</b>                            | <b>71</b> |
| <b>1. Création du Graphe.....</b>  | <b>71</b> |
| <b>2. Programmation des actions d'étapes et de transitions.....</b>                          | <b>71</b> |
| <b>2.1 Programmation des actions associées aux étapes.....</b>                               | <b>71</b> |
| <b>2.2 Programmation des transitions.....</b>  | <b>72</b> |
| <b>3. Traitement du programme par l'automate .....</b>                                       | <b>72</b> |
| <b>4. Le Grafcet de la station ; partie commande (PC) : .....</b>                            | <b>73</b> |
| <b>III.5.3 Simulation et validation du Programme avec S7-PLCSIM .....</b>                    | <b>74</b> |
| <b>III.5.3.1 Présentation du S7 PLCSIM .....</b>   | <b>74</b> |
| <b>III.5.3.2 Chargement du programme dans la CPU et test du graphe séquentiel .....</b>      | <b>74</b> |
| <b>III.5.3.3 Extraits simulés du graphe séquentiel Mantention_Chariots .....</b>             | <b>74</b> |

# SOMMAIRE

|   |    |
|---|----|
| 1. L'étape initiale du graphe séquentiel..... | 74 |
| 2. Rôle du compteur Z0 .....                  | 75 |
| IV. Conclusion .....                          | 76 |
| <br>  |    |
| CONCLUSION GENERALE.....                      | 77 |
| Annexe.....                                   |    |
| Bibliographie .....                           |    |

# INTRODUCTION GENERALE

Aujourd'hui, l'automatisation de tâches industrielles ardues et répétitives, se développe dans la majorité des entreprises.

L'automatisation d'un processus industriel demande une approche originale réunissant à la fois une connaissance polyvalente des techniques disponibles sur le marché industriel, et une méthodologie distinguée pour adapter une solution tenant compte des caractéristiques dynamiques des différents éléments composants le système.

Dans le cadre de ma scolarité à l'université **Mouloud Mammeri Tizi Ouzou**, j'ai été amené à finaliser ma spécialisation de la cinquième année en automatique par un stage de fin d'étude de durée de 4 mois, ce dernier est alors l'occasion de mettre en application les acquis de l'enseignement théorique avec des problématiques plus propres au fonctionnement de l'entreprise d'accueil.

Le stage s'est déroulé au sein de l'usine " **EURL Briqueterie IRDJEN** ".

La mission qui m'a été confiée est l'étude d'une solution automatisée pour un procédé de la chaîne de fabrication (**Séchoir**), qui a un problème au niveau du contrôle de l'humidité du produit en sortie, ce qui se répercute sur la phase de cuisson par des fissurations longitudinales des produits, ce qui explique la quantité de produit rebuté.

En effet, dans un environnement concurrentiel de plus en plus complexe, exigeant et instable, l'entreprise doit faire preuve de souplesse, de réactivité et de capacité d'adaptation. Ces aptitudes s'obtiennent à travers une connaissance pointue et la plus complète possible des éléments qui constituent son environnement interne et externe, ses clients et concurrents, mais aussi ses employés et leurs propres métiers.

Dans ce contexte, ce modeste travail propose de mettre en parallèle les différentes mesures et observations prises sur les produits depuis son entrée au séchoir avec une humidité de façonnage de 20%, jusqu'à sa sortie qui doit être égale à 3 ÷ 4%, et l'utilisation d'un API (Automate Programmable Industriel), ce qui est indispensable afin d'assurer au mieux cette tâche.

Etant donné un ensemble de spécifications de fonctionnement du séchoir, dans un premier chapitre, nous présentons la ligne technologique globale de l'usine, puis définissons le procédé de séchage afin de nous situer dans le milieu évolutif des terres cuites.

La contribution de ce chapitre a porté sur plusieurs aspects. Dans un premier temps, on a pu comprendre les paramètres de fonctionnement. Dans le second, de fixer la démarche à suivre en tenant compte du cahier des charges.

Dans le deuxième chapitre, notre étude a consisté à mettre en évidence les défaillances du séchoir et les contraintes rencontrées, en se basant sur des essais menés au sein de ce dernier, et de proposer la réalisation d'un nouveau concept d'admission d'air chaud dans le séchoir.

Le troisième chapitre consiste en notre contribution principale. Il traite l'un des paramètres influant sur l'humidité de sortie "le cycle de séchage". Alors, on propose une solution automatisée pour la station de chargement/déchargement. Enfin, nous terminerons notre mémoire par une conclusion générale et les perspectives de ce travail.

## I. Introduction

L'évolution du secteur de la construction, qui a enregistré un essor important dans notre pays, constitue l'un des principaux facteurs d'influence sur la production des industries du secteur de la céramique de construction.

Au cours de ces dernières années, ce phénomène a fait de ce secteur l'un des plus importants en termes de production.

En outre, ce secteur compte un grand nombre d'entreprises familiales, en évolution constante, et dont l'objectif est de s'adapter aux nouveaux besoins du marché. Ces entreprises requièrent pour cela l'incorporation de nouvelles technologies et doivent se maintenir à l'écoute des exigences toujours plus sévères.

## II. Présentation de l'entreprise d'accueil

### II.1. situation géographique et administrative

La briqueterie d'IRDJEN est située sur la route nationale n° 15, en allant vers Larbaa Nath Irathen à proximité de la zone industrielle d'Oued Aissi, à la sortie est de Tizi Ouzou. Elle dépendait de la filiale ALTEC (Algérienne des Terres Cuites) qui, elle-même est affiliée en EPRC (Entreprise des Produits rouge de Centre), avant d'être privatisée il y a environ deux ans. Son activité a débuté en 1998, et couvre une surface de 16750 m<sup>2</sup>.

Son principal domaine d'activité est la fabrication et la commercialisation des pièces à base de terre cuite, argile et ajouts qui subissent un processus de transformation physico-chimique. Elle a une capacité théorique de 100000 T/an.

La structure de l'usine est en ateliers selon le schéma commun à toute briqueterie :

- Carrière ; extraction des argiles
- Atelier de préparation
- Atelier de fabrication
- **Atelier de séchage**
- Atelier de cuisson

Les équipements installés sont de fabrication Espagnole (AGEMAC) et Algérienne (ENCC).

Notons que la plus part ces machines et équipements constituant la chaîne de fabrication des produits rouges sont dépendants entre eux, et pour une production continue et en tenant compte de la surveillance constante des produits, alors, il est essentiel que l'usine fonctionne en deux équipes (jour/nuit).

De part la diversité et la complexité des tâches nécessaires pour la réalisation des objectifs assignés, il est primordial de faire appel à un personnel de compétences avérées et aux qualifications diversifiées, au 10/07/2008 la briqueterie d'Irdjen a un effectif de 126 personnes réparti sur les différents domaines d'activité suivants :

- Production
- Maintenance
- Administration
- Hygiène/Sécurité
- Commercial

## **II.2. Description de la ligne technologique de fabrication**

### **II.2.1. type d'équipement constituant la chaîne de fabrication**

Chaque atelier dispose d'un certain nombre de machines de fonctions diverses et réparties par famille selon la classification suivante :

- Les laminoirs à cylindres
- Les broyeurs et concasseurs
- Les doseurs-alimentateurs
- Les transporteurs et convoyeurs
- Les transbordeurs et navettes
- Les turbines et ventilateurs
- Les brûleurs et chambres de combustion à gaz
- Les pompes hydrauliques et pneumatiques
- Les mouilleurs et malaxeurs
- Les tables tournantes
- La mouleuse-étireuse
- Les impulseurs et entraîneurs
- Les armoires et automates électriques de commande
- Le coupeur

- Les tables de transfert
- Les engins roulants
- Les circuits électriques
- Les circuits et conduites de fluides (huile, air, eau, gaz)
- Générateurs d'énergie (électrique, pneumatique,...etc.)
- Wagons et chariots
- Equipements annexes

Ces équipements sont conçus et réalisés à base de :

- Systèmes mécaniques statiques (bâtis, charpentes, boulonnerie,... etc.)
- Systèmes mécaniques dynamiques (arbres, transmissions,... etc.)
- Electromécanique (moteurs, contacteurs, transformateurs, vérins, détecteurs, électrovannes,... etc.)
- Electronique (armoires d'automates, servomécanismes, ... etc.)

### II.2.2. Fonctionnement des équipements

Nous avons jugé utile de procéder à une description succincte pour chaque groupe d'équipements, en nous limitons volontairement aux fonctions assurées et aux modes de travail de chaque groupe nécessaire dans le processus de fabrication des terres cuites.

#### a) Laminoirs à cylindres :

Le matériau est écrasé et broyé entre deux cylindres tournants en sens inverse. La finesse de broyage dépend de l'écartement des deux cylindres. Le débit d'un laminoir à cylindre est proportionnel à sa vitesse périphérique, à l'écartement entre cylindre et à leurs diamètres. Débit horaire =  $40T/H$ .

#### b) Les broyeurs et concasseurs :

La chaîne dispose d'un brise-mottes qui sert à fragmenter les grosses mottes de terres. La matière dure passe entre deux arbres munis de disques porte-couteaux tournants à certaines vitesses et permettent ainsi l'écrasement des mottes à la granulométrie voulue.

#### c) Les doseurs-alimentateurs :

Il y a de deux types de doseurs linéaires, ceux à tablier métalliques et ceux à bande en caoutchouc. Le mouvement linéaire du tablier permet de transporter les terres de manière régulière, qui tombent à une extrémité à l'inflexion du tablier. Les piocheurs permettent

d'assurer une constante tombée des terres. Pour régler le débit, on agit sur le variateur de vitesse et/ou sur une trappe.

**d) Les transporteurs-convoyeurs :**

Le matériau est disposé sur une bande en caoutchouc sans fin, en mouvement linéaire, transporté puis jeté au moment de l'inflexion de la bande. La quantité de matière transportée dépend de la vitesse et de la qualité des matériaux par unité de longueur de la bande.

**e) Les transporteurs et navettes :**

Ce sont des équipements qui exécutent un mouvement linéaire de va et vient transportant des charges. Ces charges peuvent être des wagons, des chariots (transbordeurs fours et séchoirs) ou même d'autres équipements (batteries de ventilateurs du séchoir tunnel).

**f) Les turbines et ventilateurs :**

Ils permettent soit, l'extraction ou l'impulsion d'air ou de fumées. Le débit dépend du diamètre de la turbine ou du ventilateur, de la vitesse de rotation et des registres de réglage d'ouverture des canalisations qui sont réglés manuellement.

**g) Les brûleurs et chambres de combustion à gaz :**

Ce sont les lieux de combustions du mélange d'air et de gaz. Les brûleurs QRT-9 sont constitués d'une chambre de combustion, d'un tube pour la conduction de l'air de combustion, d'un stabilisateur de flamme, de deux supports électrode, d'une base brûleur, d'une électrode d'allumage, d'une électrode d'ionisation, d'un tuyau d'air, d'un tuyau de gaz, d'une vanne d'air et d'une vanne de gaz. Ils sont alimentés en air et en gaz à partir d'un réseau mini de régulateurs de pression et de débit.

**h) Les pompes hydrauliques et pneumatiques :**

C'est des dispositifs destinés à aspirer des fluides (gaz ou liquide), puis les refouler. Ainsi, il transforme une énergie mécanique (couple et vitesse de rotation de l'arbre) en énergie hydraulique ou pneumatique (débit et pression).

**i) Les mouilleurs et malaxeurs :**

Pour rendre la pâte plus homogène et plastique, il est nécessaire de la pétrir, de la mélanger et de la malaxer en l'humidifiant. Le mouilleur est doté de pales inclinées entraînées

en rotation en sens inverse par deux arbres parallèles, associés à la cuve. Ces pales malaxent la terre en assurant sa progression vers l'extrémité ouverte de la cuve.

Le malaxeur obéit au même principe que le mouilleur, sauf qu'il est muni de deux hélices de propulsion en bout d'arbres qui propulsent la matière dans la cuve de la mouleuse.

**j) Les tables tournantes :**

Ce sont les plateaux tournant sur un axe giratoire. Elles servent à changer de direction aux chariots lors de leur manipulation sur les voies.

**k) La mouleuse étireuse :**

Cet équipement permet de compresser au continu la pâte plastique contre une filière afin de lui faire prendre la forme désirée.

La compression est obtenue par un jeu d'hélices de pas divers centrées sur un arbre central en rotation à l'intérieur d'une enveloppe- guide de forme appropriée, empêchant la pâte de tourner autour d'elle même.

**l) Les impulseurs et entraîneurs :**

Ces équipements permettent le mouvement des chariots et des wagons sur leurs voies au sol, soit en traction (entraîneurs), soit en impulsion (impulseurs).

**m) Les armoires et automates électriques de commande :**

Par des programmes en logique câblée dans des cartes mémoires, ils alimentent en énergie électrique, commandent quelques séquences et protègent contre les anomalies, tous les équipements.

**n) Le coupeur :**

Le boudin plastique à la sortie de la mouleuse est coupé pour obtenir des produits de longueur égale quelque soit la vitesse du boudin. La coupe est faite par plusieurs fils d'aciers tendus pouvant se déplacer verticalement.

**o) Les tables de transfert :**

Elles assurent la manutention automatique des packs de briques, vertes ou sèches. Les briques sont transférées d'un endroit vers un autre grâce à une succession de tables mitoyennes l'une de l'autre.

Le mouvement linéaire des packs de briques est assuré, soit par la rotation des rouleaux sur le plan horizontal de chaque table, soit par le mouvement linéaire de courroies.

**p) Les engins roulants :**

Ce sont les véhicules mécaniques, de travaux publics et de grande capacité. Ils sont utilisés surtout dans la carrière et le transport des terres. Par leurs actions, ils contribuent à la réussite du processus de fabrication.

**q) Les circuits électriques :**

Il s'agit des réseaux électriques internes de l'usine, distribution, protection et canalisation. Ils alimentent toutes les armoires électriques principales et secondaires de l'usine via une câblerie dense et diverse.

**r) Les circuits de conduites de fluides (huiles, air, gaz, eau) :**

C'est les réseaux d'utilités, d'énergie pneumatique, hydraulique, d'eau et d'alimentation en gaz.

**s) Les générateurs d'énergie (électrique, pneumatique,...) :**

Ce sont le groupe électrogène et le groupe pneumatique. Le groupe électrogène est composé d'une génératrice synchrone entraînée par un moteur à combustion. Il fournit de l'énergie électrique lorsque le réseau fournisseur est défaillant. Le groupe pneumatique est composé d'un compresseur entraîné par un moteur électrique. Il alimente le réseau d'air comprimé de l'usine.

**t) Wagons et chariots :**

Ce sont des équipements mobiles sur lesquels sont transportés les briques, empruntent des voies à rails et mis en mouvement par des systèmes électromécaniques. Un wagon est constitué d'une structure métallique sur laquelle vient s'imbriquer des matériaux réfractaires et isolants.

Un chariot est également composé d'un support bâti avec des profilés d'acier, soudés, avec une grande robustesse et résistance. Il comporte 14 étages à grilles, où viennent se déposer les briques, également bâties avec des profilés d'acier soudés.

**u) Equipements annexes :**

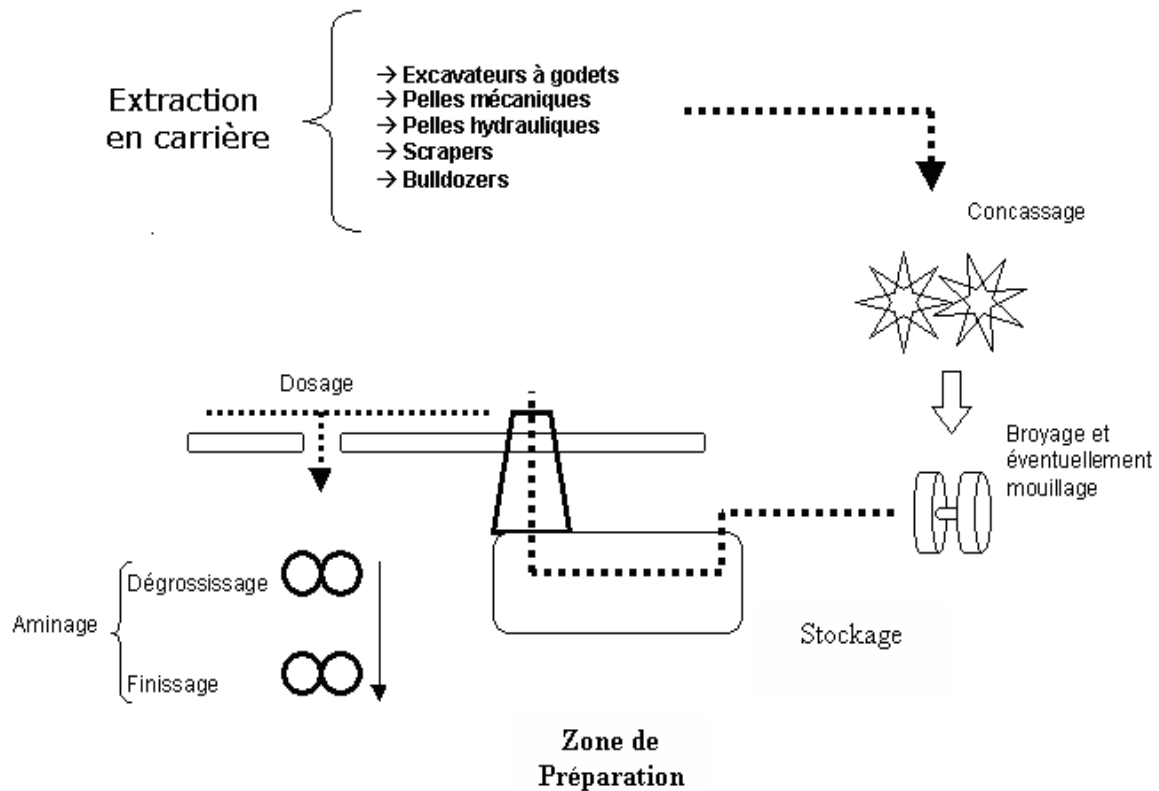
Il s'agit des équipements (rectifieuses, filières,...) qui contribuent à assurer les fonctions des machines principales. Pour assurer un broyage constant des laminoirs à cylindres, il faut

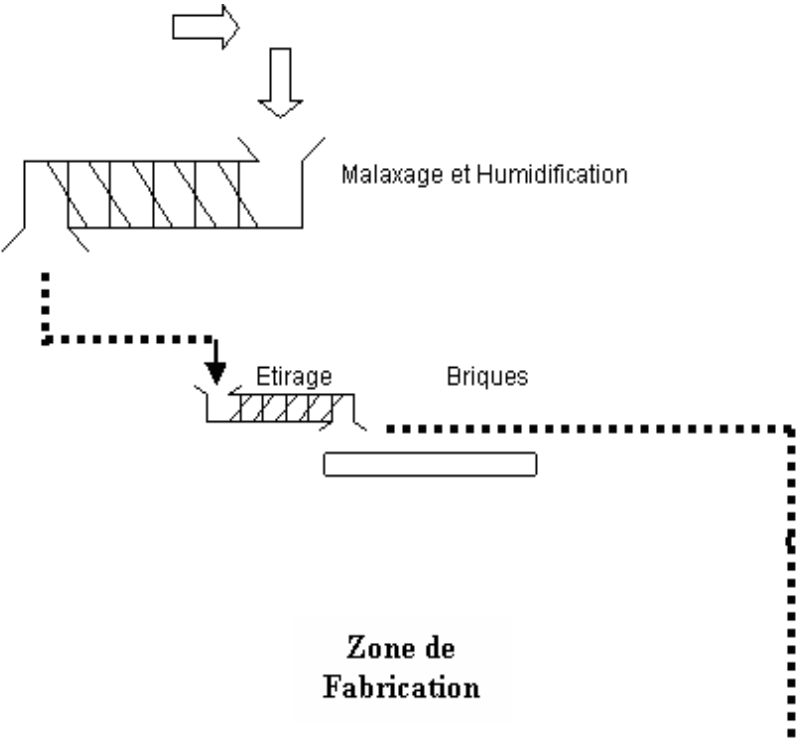
assurer un entretien constant de la surface des cylindres et éviter que se forment des gorges ou des usures anormales. Les outils des rectifieuses se déplacent sur un bâti parallèle à la génératrice des cylindres et agissent par prélèvement de matière.

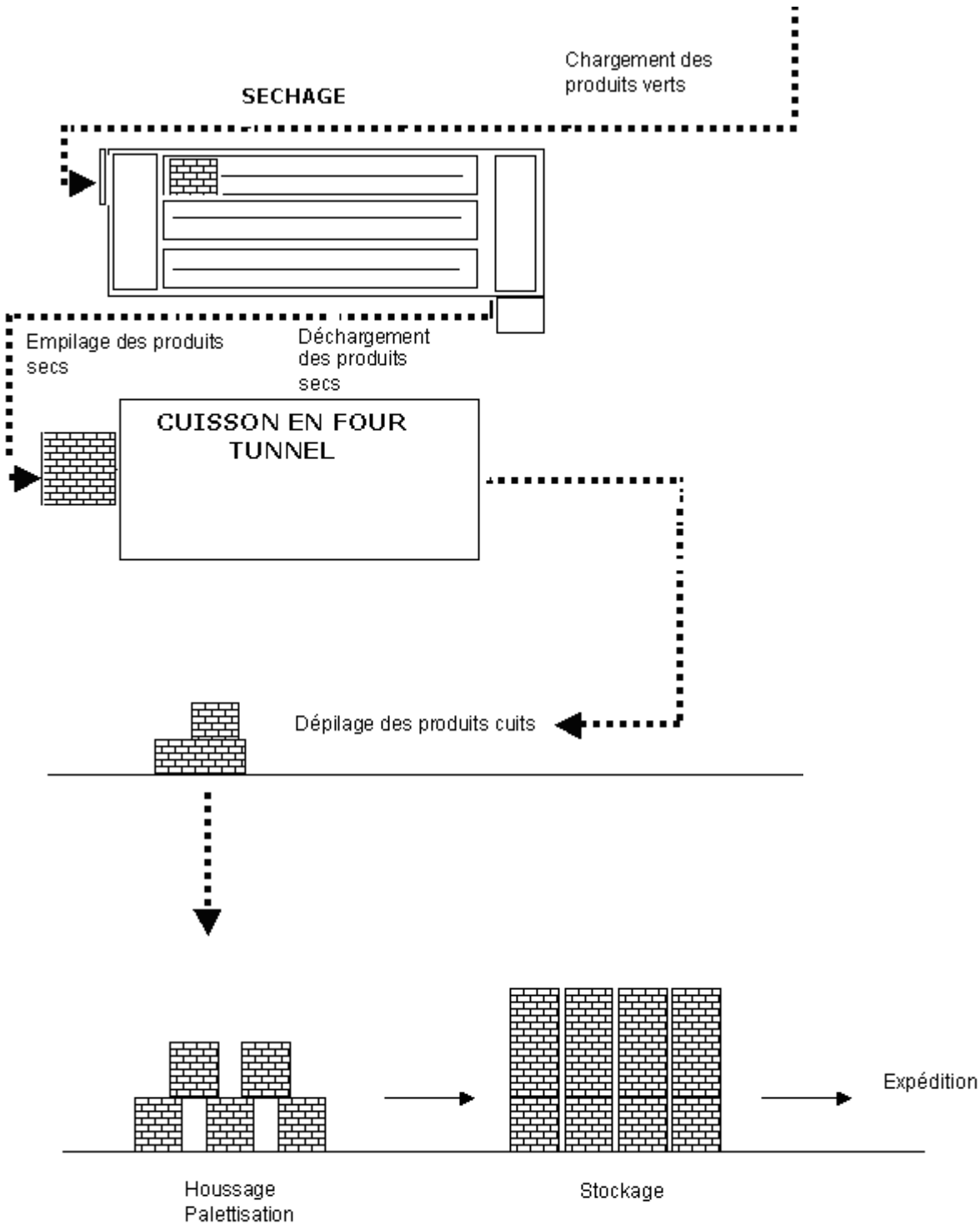
**II.2.3. Les étapes de fabrication**

La ligne technologique est constituée de quatre principaux ateliers ou les matières premières subissent un long processus de transformation et chaque étape est effectuée par un groupe de machine, ce que nous examinerons successivement dans les titres qui suivent.

La figure (I.1) qui suit nous situe les différents ateliers et les étapes de fabrication affectées à chacun d’entre eux.







**Figure (I.1)**

### II.2.3.1 La préparation

Le processus de fabrication de la brique commence dès l'extraction de l'argile au niveau des carrières. Ces argiles extraites ne peuvent évidemment pas être utilisées à l'état brute immédiatement pour constituer une pâte propre à la fabrication, elles doivent donc être traitées et subir au préalable les opérations suivantes :

- Le pourrissage ;
- Elimination des impuretés ;
- Fragmentation des terres ;
- Formation des mélanges ;
- Homogénéisation et humidification ;
- Stockage des matières premières.

#### 1. Le pourrissage

Cette opération améliore quelque peu la plasticité de l'argile et cela par simple repos et dépôt de cette dernière à l'air libre.

#### 2. Elimination des impuretés

- Les cailloux : leur élimination totale est indispensable, à moins de les broyer finement, le cas échéant on observe les incidents suivants :
  - Les grains durs notamment en silex, ne parvenant pas à être évacués par les cylindres des broyeurs finissent par user, en rayant la surface de ceux-ci ;
  - En se logeant au niveau de la filière, les grains peuvent générer le phénomène dit de crochets pouvant entraîner une coupe dans le boudin d'argile ;
  - Pendant le séchage, les grains inertes autour desquels se fait le retrait d'argile, favorisant les amorces de rupture et fissure ;

On élimine généralement les pierres soit manuellement, en surveillant l'argile défilant sur les bandes, soit à l'aide d'épierreur.

- Les racines : en passant partout, les racines finissent par se bloquer au niveau des grilles de la mouleuse et de la filière, entraînant ainsi des perturbations.

- *Les déchets métalliques* : afin d'éviter toute détérioration plus ou moins grave des équipements due au passage de ces fragments, il est recommandé de les détecter et de les éliminer à temps à l'aide d'un dispositif magnétique.
- *Le calcaire* : sous forme de pierres, grains ou de fossiles et de consistances friables, il faudrait les réduire absolument en grains fins pour qu'ils n'entraînent pas d'éclatement après cuisson.

### 3. Fragmentation des terres

La fragmentation a pour but principal la réduction des dimensions des mottes de terres afin d'offrir une plus grande surface de contact aux constituants de la pâte. La fragmentation est une opération préliminaire pour l'humidification et la préparation des mélanges, et elle est obtenue par l'action mécanique d'équipement tels que, le brise-mottes, les broyeurs et les désagréateurs.

### 4. Formation des mélanges

Souvent les argiles naturelles présentent une zone plastique, ce qui entraîne des difficultés de fabrication. Il est alors nécessaire d'ajouter des éléments inertes, des dégraissants qui donnent aux produits une texture moins compacte, facilitant ainsi l'évacuation de l'eau au cours du séchage et les dégagements gazeux durant la cuisson. Les dosages sont effectués à partir des distributeurs ou doseurs dans des proportions édictées par la caractéristique même des terres mélangées.

Les éléments dégraissants les plus couramment utilisés sont :

- Le sable ou le tuf de granulométrie 0.2 à 1mm (jusqu'à 30%) ;
- La chamotte résultant du broyage des déchets de cuisson.

### 5. Homogénéisation et humidification

Cette étape a pour finalité d'achever le mélange des constituants, de donner au produit une consistance plastique optimale par humidification à teneur en eau voulue et enfin, évacuer partiellement l'air incorporé à la pâte. Cette opération est réalisée par le mouilleur-mélangeur.

### 6. Stockage des matières préparées

Les matières ainsi préparées et prêtes à être façonnées dans l'atelier de fabrication sont déposées et stockées dans les boxes de stockage.

### II.2.3.2 La fabrication ou le façonnage

Après un séjour plus au moins long dans les boxes de stockage, les terres préparées sont injectées dans le circuit dit de fabrication. Une pelle mécanique alimente en terres à partir des boxes, un doseur à bande se trouvant en amont du circuit de fabrication.

Au niveau du broyeur finisseur, les terres subissent un autre broyage par laminage pour l'obtention d'une matière fine, l'écartement du cylindre en général, est de l'ordre de 1mm.

#### 1. Le broyage et le malaxage

Ont pour but de rendre la masse d'argile bien homogène et de lui apporter la plasticité nécessaire au moulage. Cette opération a également pour but de réduire les inclusions solides incompatibles avec une structure cohérente du produit fini, et d'en répartir finement les débris dans la masse.

#### 2. L'étirage

La brique dite ordinaire ou creuse est fabriquée par étirage. Dans la mouleuse, la masse d'argile est extrudée sous forme de boudin continue à section rectangulaire. Ce boudin est alors coupé à distances régulières par un coupeur à colonnes, chaque section formant une brique qui présente quatre faces assez lisses par suite du coulissement dans la filière, et deux faces de sectionnement.

Pour faciliter cette opération, l'argile doit être relativement ductile (et humide par conséquent), évitant ainsi à la mouleuse de devoir exercer un effort important.

Le façonnage a essentiellement deux rôles : rendre la face d'argile bien homogène et de lui conférer la plasticité nécessaire au moulage.

### II.2.3.3 Le séchage

Le façonnage des produits à la mouleuse demande une certaine plasticité qui, ne peut être obtenue qu'avec un degré d'humidité suffisant.

Cette humidité est apportée en partie par l'argile venant de la carrière et en partie par un ajout d'eau.

Donc, le séchage a pour but d'éliminer cette eau de façonnage pour donner aux produits une résistance mécanique leurs permettant l'empilage pour la cuisson.

On distingue le séchage par *ébullition* et par *entraînement*. On parle de séchage par ébullition quand le produit atteint la température d'ébullition de l'eau. Lors du séchage par entraînement, le produit à sécher est mis en contact avec un courant d'air plus ou moins chaud.

Ce dernier transmet une part de sa chaleur au produit qui développe une pression partielle en eau à sa surface supérieure à la pression partielle de l'eau dans l'air utilisé pour le séchage. Cette différence de pression entraîne un transfert de matière de la surface du solide vers l'agent séchant.

Dans l'unité d'IRDJEN, cette opération est effectuée par voie, dite de séchage thermique par entraînement. Elle consiste à transformer l'eau contenue dans les briques, par apport de chaleur et entraînement des chariots sur lesquels se trouve le produit vers la sortie du séchoir en vapeur qui sera évacuée par l'intermédiaire d'extracteurs placés au bout de chaque tunnel. L'air chaud est introduit le long du tunnel de séchage par soufflage des turbines qui aspirent l'air ambiant et le mélange avec celui de la récupération du four dans la chambre de dilution, puis refoulent le tous a travers des carnaux ou se trouvent des générateur de chaleur, dont le brûleur est équipé d'un régulateur de débit de gaz.

Ainsi, l'air s'introduit à travers des registres d'échange thermique de façon progressive et proportionnelle à leurs surfaces qui sont ouvertes et fixe de telle sorte à obtenir une courbe de séchage adéquate (voir courbe de Bigot).

L'air dans le séchoir est également brassé par des ventilateurs de circulation.

#### **II.2.3.4 La cuisson**

C'est la dernière opération que doit subir le bloc d'argile façonné et séché pour devenir à proprement parler une 'brique en terre cuite', soit un matériau de construction. C'est donc une phase extrêmement importante qui doit se dérouler progressivement, c à d que la fournée est soumise à un échauffement régulièrement croissant jusqu'à la température de cuisson (comprise entre 850 et 1200°C selon l'espèce d'argile utilisée), et ensuite doit se refroidir tout aussi graduellement. Pour chaque type de composition de la matière première, il existe ainsi une courbe de cuisson qui lui est propre.

L'entreprise d'IRDJEN dispose d'un four-tunnel de type continu **HTP-08 GPO** qui peut contenir jusqu'à 30 wagons. Dans un four de ce type, le feu ne s'éteint jamais, et c'est le chargement qui est introduit et extrait du four suivant un cycle régulier et ininterrompu.

Le processus de cuisson dans ce four est divisé en trois parties fondamentales : chauffage, cuisson et refroidissement.

Les pièces sèches sont disposées sur wagon et transférées jusqu'à l'entrée du four.

La porte d'entrée s'ouvre pour permettre l'accès du wagon plein dans la préchambre, espace compris entre deux portes. Une fois la porte intermédiaire traversée, les produits verts se trouvent déjà dans le tunnel de cuisson. En allant vers la sortie, les produits verts atteignent la zone de refroidissement et franchissent ainsi la dernière porte.

### **III. Description du procédé de séchage (séchoir tunnel semi continu TERAM-20)**

#### **III.1. caractéristiques du séchoir**

En raison des caractéristiques de l'argile, le séchoir a été projeté et a été construit pour répondre à toutes les variations de production. Ainsi, sa construction a été faite avec une structure de béton et murs de briques.

Le séchoir de la briqueterie d'IRDJEN est de type semi continue (c à d que les produits chargés sur les rails des galeries n'aboutissent pas directement à la porte de sortie) **TERAM-20**, Il a 3 galeries avec 2 voies de circulation de chariots dans chaque galerie (voir la figure (I.5) et plan séchoir en annexe).on peut citer Ses caractéristiques comme suite :

- |  |                 |
|--|-----------------|
| • Type :                               | <b>TERAM-20</b> |
| • Longueur entre axes de transbordeurs | 74.53 m         |
| • Longueur totale approximative        | 80.63 m         |
| • Nombre de tunnels                    | 3               |
| • Nombre de vois dans chaque tunnel    | 2               |

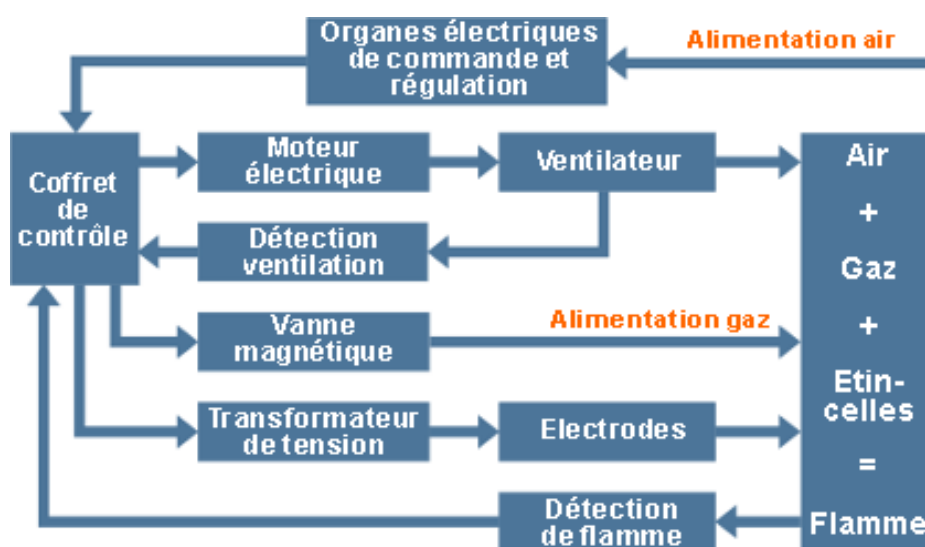
- Largeur totale 18.00 m
- Hauteur totale sans conduite 5 m
- Nombre de chariots sur chaque voie 32
- Nombre de chariots sur le circuit extérieur 18
- Cycle de séchage 48h

### III.2. équipements constituant le séchoir

#### III.2.1 Régulateur de température

Le séchoir est équipé de 3 régulateurs de température de référence **PHILIPS KS40-407** qui se trouvent installés au bout de chaque carneau au dessus du séchoir (voir plan séchoir dans l'annexe).

Ils fonctionnent à base d'un PID (régulateur à action **Proportionnelle Intégrale Dérivée**), contrôlant le débit de gaz injecté au brûleur en agissant sur un servomoteur qui actionne l'ouverture et la fermeture de la vanne d'admission de gaz. La figure (I.2) montre le principe de fonctionnement d'un brûleur à gaz.



**Figure (I.2)**

#### III.2.2 Générateurs d'air chaud

- Type *direct pour gaz naturel*
- Capacité calorifique  $3 \times 6.28 \text{ GJ/h}$
- Température du gaz chaud  $100 \div 160^\circ\text{C}$
- Constructeur *Flamenco*

- Puissance *ventilateurs d'air chaud = 60 KW*
- Nombre *3*
- Poids  *$3 \times 0.5 To$*

**Remarque :**

- 25 % de la chaleur utilisée provient du four et 75 % est générée par les brûleurs.
- Le débit approximatif est de 234000 m<sup>3</sup>/h, la capacité thermique totale requise est de 5025000 Kcal/h.

**III.2.3 Ventilateurs d'air chaud**

- Type *air chaud*
- Débit  *$3 \times 88400 m^3/h$*
- Pression *760 Pa*
- Montage *radial*
- Commande *moteur électrique*
- Transmission *courroies trapézoïdale*
- Constructeur *EVG*
- Poids  *$3 \times 2.137 To$*

**III.2.4 Ventilateurs d'air d'échappements**

- Type *air d'échappement*
- Débit  *$3 \times 45800 m^3/h$*
- Pression *150 Pa*
- Montage *axial*
- Commande *moteur électrique*
- Transmission *courroies trapézoïdale*
- Constructeur *SOUNLE*
- Poids  *$3 \times 0.347 To$*

**III.2.5 Ventilateurs de brassage**

- Type *brassage*
- Débit  *$36 \times 150000 m^3/h$*
- Pression *40 Pa*
- Montage *axial*
- Commande *moteur électrique*

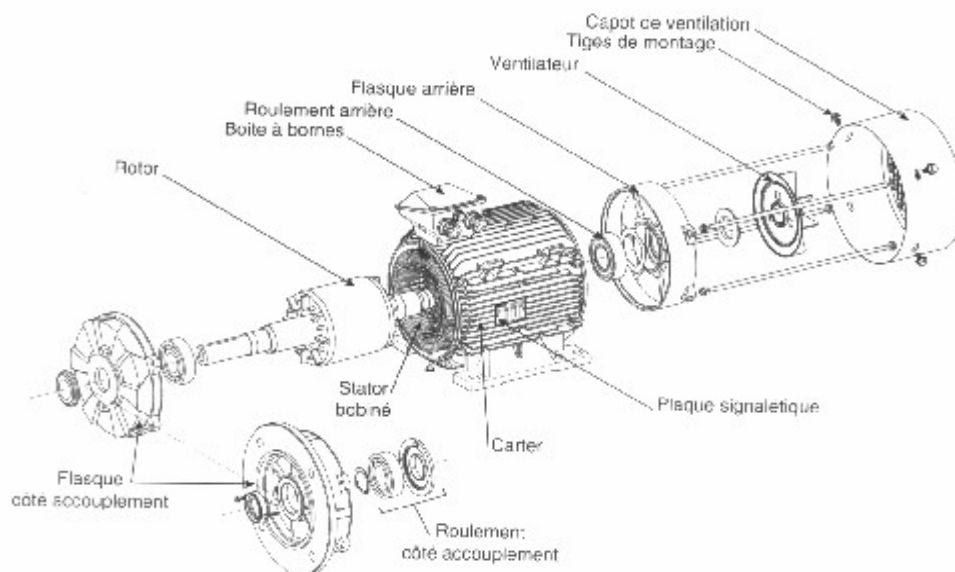
- Transmission *moteur électrique*
- Constructeur *SIEMENS*
- Poids total *environ 20 To*

### III.2.6 Moteurs asynchrones

#### III.2.6.1 Présentation

Dans notre procédé de séchage, ce type de moteur est utilisé dans un contexte d'entraînement, (ventilateur, pompes, convoyeurs). En effet, sur le plan constructif, il est le plus simple et le plus robuste des moteurs électriques. Il est constitué d'un *stator* et d'un *rotor*.

Le stator (inducteur) alimenté en tension alternative triphasée et le rotor (induit) bobiné, tel que les spires aboutissent à 3 bagues, et leurs mises en court circuit est réalisé à l'extérieur du moteur.



**Figure (I.3)**

#### III.2.6.2 Démarrage

Si l'on connecte soudainement un moteur asynchrone à une alimentation triphasée, le courant électrique qu'il absorbe est 4 à 6 fois plus important que le courant nominal du moteur, alors que le couple mécanique disponible n'est que de 40% du couple nominale et il est suffisant pour accélérer le moteur de l'arrêt jusqu'à son point de fonctionnement.

Ce type de démarrage provoque une pointe de courant engendrant des chutes de tensions pour les autres utilisateurs du réseau électrique. Parmi les différentes manières possibles de résoudre ce problème, on a opté pour un démarrage étoile-triangle.

En effet, les moteurs asynchrones sont généralement prévus pour fonctionner avec leurs 3 phases en triangle, il est alors possible de modifier le couplage pour les mettre en étoile, ce qui divise par 3 le courant qui les traverse et réduit le couple de démarrage. Le moteur étant alors lancé, il suffit de commuter à nouveau en triangle et le courant nécessaire qui en résulte pour atteindre son régime nominal est acceptable.

Les moteurs utilisés dans notre station sont à deux sens de rotation pour le mouvement des transbordeurs et des batteries des ventilateurs de brassage, et un sens de rotation pour le reste de l'équipement.

### **III.2.7 Pompes**

Les pompes utilisées dans notre station sont hydrauliques et pneumatiques. Hydraulique pour les mouvements requérant des forces très élevées à faibles vitesses, et pneumatiques pour des mouvements qui nécessitent de faibles forces. Dans les transbordeurs les pompes utilisées sont des pompes centrifuges.

### **III.2.8 Capteurs de mesures**

Les capteurs sont des éléments qui transforment une grandeur physique (position, distance, vitesse, température, pression, etc.) d'une machine ou d'un processus en une grandeur nommée, généralement électrique, qui peut être interprétée par un dispositif de contrôle commande.

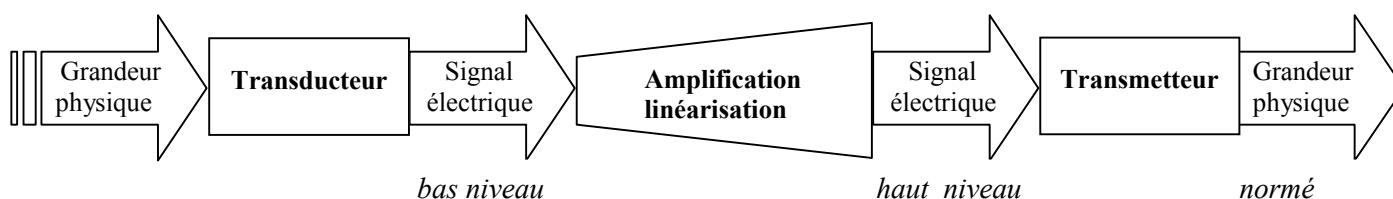
Un capteur est caractérisé par :

- Son étendue de mesure qui correspond aux limites de la variation de la grandeur à mesurer ;
- Sa précision qui est l'incertitude absolue sur la grandeur mesurée ;
- Sa sensibilité qui est la plus petite variation de la grandeur à mesurer qu'il est capable de détecter ;
- Sa linéarité qui représente l'écart de sensibilité sur l'étendue de mesure.

La plus part des capteurs industriels comportent 3 parties :

- Un transducteur de mesure : qui exploite un effet physique de la modification des propriétés d'un corps (fréquence d'oscillation, résistivité, luminosité, piézo-électricité, déformation mécanique,...etc.) pour transformer la grandeur à mesurée en un signal bas niveau (mV,  $\mu$ A).
- Un circuit électronique de mise en forme : il amplifie le signal à un niveau exploitable (V, mV) et, si nécessaire, le linéarise et corrige sa valeur en fonction d'autres grandeurs (variation de la température ambiante notamment). Cette opération est souvent effectuée par traitement numérique avec un microprocesseur.
- Un transmetteur : qui est le circuit d'interface transformant le signal en une tension ou un courant normé ( $\pm 10$ V, 0..20mA, 4..20mA) interprétable par le dispositif contrôle commande.

Ces parties peuvent être schématisées dans la figure (I.3) qui suit :



**Figure (I.4)**

On peut distinguer deux catégories de capteurs :

### III.2.8.1 Les capteurs digitaux

Appelés également détecteurs, donnent une information binaire, tout ou rien (TOR) : "1" ou "0", vrai ou faux, présent ou absent. Ils ont deux états stables : si la valeur de la grandeur est supérieure à un seuil le signal de sortie vaut "1", si elle est inférieure le signal vaut "0".

### III.2.8.2 Les capteurs analogiques

Donnent un signal de mesure proportionnel à la grandeur physique mesurée (distance, vitesse, intensité, température, pression,...etc.) pour une plage de mesure donnée et dans des conditions données. Au delà de ces limites le capteur ne donne plus un signal linéaire, il

sature ou n'a plus une sensibilité suffisante. Si les limites sont largement dépassées le capteur peut être détruit.

Dans notre procédé, ces deux catégories de capteurs sont utilisées. Pour la température, on utilise thermocouple dont le principe de mesure se résume à l'effet thermoélectrique. Et des capteurs de pression qu'on peut différencier par leurs unité de mesure (bar, mmH<sub>2</sub>O...etc.), permettant d'observer constamment les paramètres de fonctionnement nominal fixés par le constructeur, ainsi détecter le moindre changement de ces derniers et agir le plus vite possible sur la consigne du brûleur généralement comprise entre 50 ÷ 60C° (pour la température), ou sur les registres d'impulsion/extraction d'air (soit chaud et sec, soit chaud et humide).

Mais aussi des capteurs magnétiques, de fin de course, indiquant la présences des chariots devant les portes d'entrée/sortie, sur les tables tournantes, et sur les transbordeurs, et la position des portes (fermées/ouvertes), des tables tournantes (rotation maximum/minimum), et le positionnement des transbordeurs (entrée/sortie) sur les différentes voies du séchoirs.

### III.3. Fonctionnement

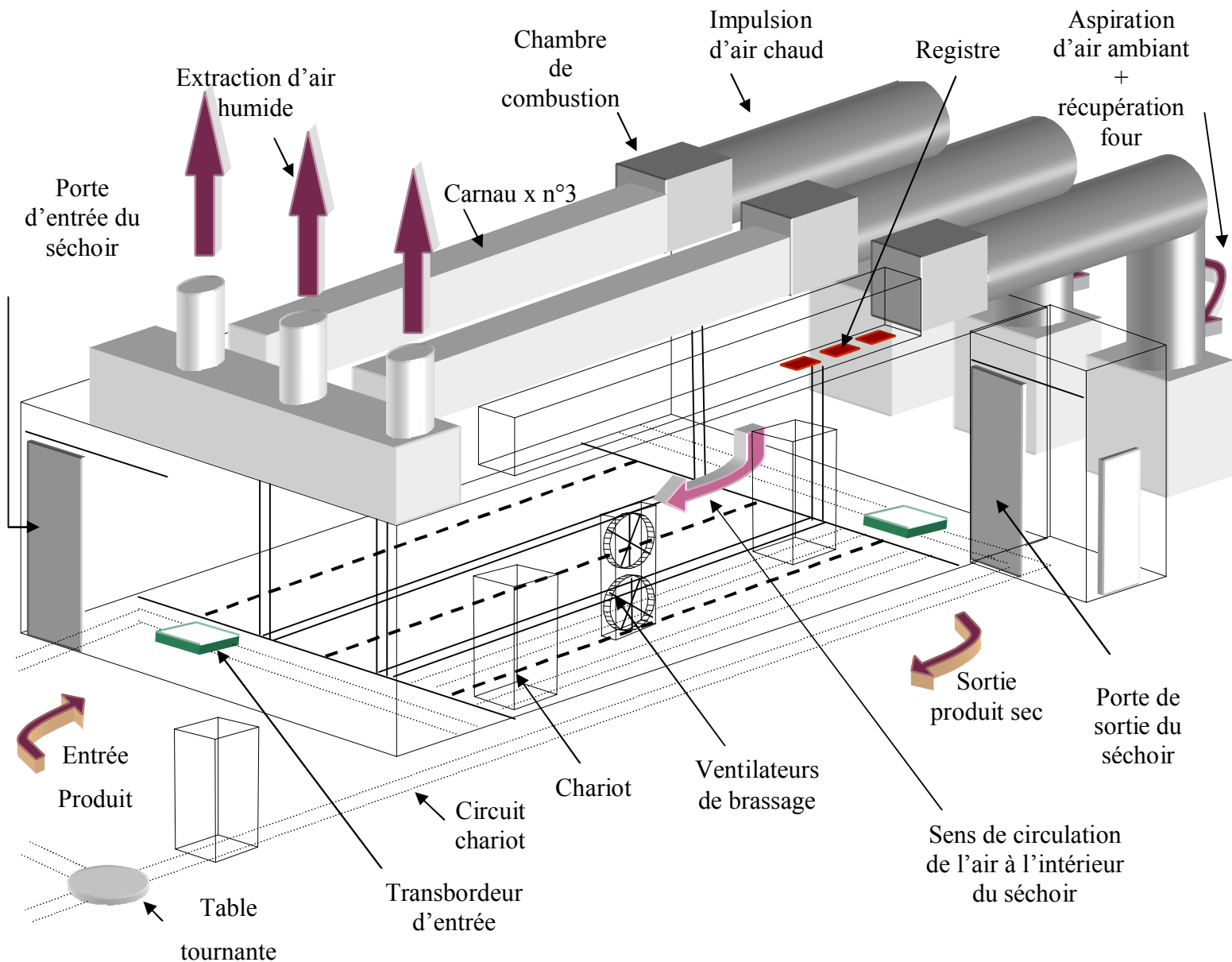
#### III.3.1 Description du processus de séchage

Comme on l'a décrit précédemment, le séchoir semi-continu "TERAM-20" contient 3 tunnels, chacun de ces derniers reçoit une charge de produits humides à sécher selon un temps prédéterminé lié à la cadence de travail (en générale le cycle de séchage ne doit pas dépasser 48 heures pour notre système).

Ces produits sont disposés sur des chariots qui sont eux même posés sur des rails à l'entrée du séchoir. Les chariots avancent par poussée à chaque fois qu'un autre chariot est chargé dans une voie. Ainsi, en roulant vers la sortie du séchoir, il y a contre courant grâce à la chaleur fournie par le brûleur et à la récupération du four. Cette dernière est propagé a travers les 37 registres se trouvant a l'intérieur des carnaux au dessus du séchoir (voir figure (I.3) et plan séchoir dans l'annexe), qui sont ouvert graduellement, et fixés pour des conditions données (manuellement) à partir de l'entrée, centimètre par centimètre afin de respecter les températures imposées dans les 6 compartiments pour reconstituer la courbe de séchage propre au type d'argile utilisée.

Les ventilateurs de brassage (batteries) se chargent de l'homogénéisation de l'air dans chaque tunnel, et le sens de ventilation peut être inversé régulièrement pour éviter un déséquilibre trop important entre la vitesse de séchage des produits proches de la porte.

Pour garder une pression adéquate au séchage optimal des produits vert, à chaque volume d'air introduit dans le séchoir correspond un volume d'air égal extrait qui s'échappe soit par l'orifice "extraction de l'air humide" au début du séchage, soit par l'orifice "recyclage" en fin de séchage.



**Figure (I.5)****Remarque :**

➤ L'opération de séchage s'effectue portes fermées. Mais comme le 3<sup>ème</sup> tunnel est en face de la porte d'entrée, et le 1<sup>er</sup> à côté de la porte de sortie des produits, alors les températures d'impulsion des brûleurs sont légèrement différentes étant donné que le premier tunnel reçoit plus d'humidité que les deux autres.

**III.3.2 Paramètres de fonctionnements**

Notre système étant un procédé d'évaporation d'eau, les paramètres distingués sont ;

- Paramètres concernant le flux séchant, air neuf, air récupéré, et air recyclé qui nous donnent : Air chaud après passage dans l'équipement de chauffe ;
- Paramètres concernant l'air humide extrait ;
- Paramètres concernant le temps de séchage ;

Alors on peut noter les paramètres suivants :

- La température de l'air chaud et sec à l'admission est maintenue constante grâce au régulateur du brûleur. (la température de l'air récupéré du four est de 150°C) ;
- La pression dans les tunnels (en mmH<sub>2</sub>O) ;

Par principe, la température de l'air à l'intérieur du séchoir (dans chacun des trois tunnels) est variable tout au long du cycle de séchage. Et la quantité d'air chaud et sec introduite dans les chambres dépend de la surface d'échange thermique des registres.

**III.3.3 Système de commande et réglage du séchoir tunnel**

Le séchoir est équipé d'armoires de commande (automate) d'ancienne génération qui fonctionne à base de mini *CPU* et de cartes mémoires *EPROM*. Sur sa façade se trouve un tableau de commande constitué de plusieurs boutons poussoir (marche/arrêt), lampes de signalisation d'état de l'équipement commandé...etc.

Ils permettent de gérer quelques fonctionnalités automatiques comme :

- L'ouverture et fermeture des portes d'entrée/sortie séchoir.
- la translation appelés batteries (par **OMRON SYSDRIVE**) et ventilation (par **OMRON SYSMAC C200 H**).
- Impulseur de chariots.

Et semi-automatique comme :

- le déplacement des deux transbordeurs (entrée/sortie séchoir).

Le réglage du séchoir peut se résumer au réglage de l'aération :

- 1) réglage d'aération → % d'humidité.
- 2) Réglage de quantité d'air chaud → pression.
- 3) Réglage pour le générateur d'air chaud → température.
- 4) Réglage pour la quantité d'air frais → dépression.

#### IV. problématique de l'entreprise

Mon projet de fin d'étude s'inscrit dans un objectif d'amélioration du rendement du séchoir en étudiant le problème et y remédié par une solution plus fiable. En effet le système de commande actuel offre 50 % du rendement nominal du séchoir qui est de **100000T/an** (en théorie). Aussi, qu'est ce que le rendement ?

Dans notre contexte d'étude, on le définit comme suite :



**Figure (I.6)**

$$rendement = \frac{Q_{sa}}{Q_e} \tag{I.1}$$

## IV.1 Cahier des charges

L'entreprise veut améliorer la qualité de ces produits en limitant les rebuts qui parfois dépassent 10%.

Le directeur de l'entreprise affirme que le rendement est mieux en été. Étant donné que la température ambiante est déjà élevée, la récupération du four suffit pour aboutir à un séchage satisfaisant. Mais tenir compte uniquement de la saison rend le système dépendant du climat.

Pour y remédier à ce problème, il est nécessaire de maîtriser l'humidité du produit. En effet, la qualité du produit est caractérisée principalement par son l'hygrométrie en sortie qui ne doit pas dépasser 4%.

Donc on peut citer les besoins de l'entreprise comme suite :

- ❖ Nécessité de maîtrise de l'hygrométrie du produit sec.
- ❖ Dans un contexte d'automate programmable :
  - Besoin d'une solution programmée fiable.

## IV.2 Contraintes spécifiques rencontrées :

Le pourcentage de rebut n'est pas seulement lié au système de commande actuel et au climat, mais aussi à un certain nombre de contraintes que je cite :

- ✚ Mesure physique délicate (humidité).
- ✚ Instrumentation insuffisante (capteurs de pression, humidité).
- ✚ Le débit de produit doit rester dans une plage pour des raisons techniques de fonctionnement et de cadence de production.
- ✚ Hygrométrie du produit en sortie n'est pas homogène (diffère d'un tunnel à un autre).

## V. Conclusion :

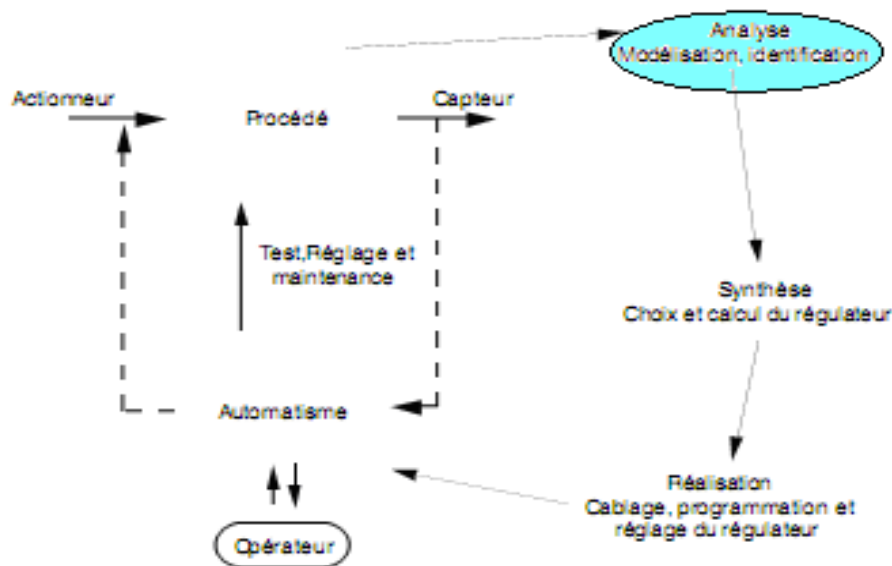
Ce premier chapitre a été consacré à la description de la ligne technologique de l'usine, essentiellement, le procédé de séchage. Aussi, dans la description du fonctionnement de ce dernier et en lisant le cahier des charges on a pu comprendre les attentes de l'entreprise et de fixer la priorité des objectifs attendus comme suite ;

- Analyse permettant d'approcher le comportement du système afin de proposer une implantation d'une boucle de régulation de température locale, adéquate.
- Solution programmée pour l'entrée/sortie des chariots pour maintenir le débit nominal du produit constant, ainsi un cycle de séchage respecté.

Ces deux solutions envisagées peuvent être indépendantes, mais leur réalisation simultanée aboutira au rendement optimal.

## I. Introduction

Dans la conception d'un système d'exploitation industriel, on accorde une grande importance à l'identification des processus. En effet, pour procéder à la commande du système, il est nécessaire de disposer d'un modèle mathématique caractérisant le système réel avec une bonne approximation mais suffisamment simple pour faciliter l'étude. La figure suivante nous montre la méthodologie générale que mène l'automaticien :



**Figure (II.1)**

Une simplicité qu'on ne trouve pas dans notre procédé de séchage !

En effet, les contraintes que l'on vient de voir dans le premier chapitre, en particulier la mesure indirecte de l'hygrométrie du produit, et le mode opératoire du système (convection forcée) qui fait de ce dernier le siège de transfert de chaleur et de masse en milieu poreux, incluant un beaux nombre de paramètres absents sur la chaîne des capteurs (hygrométrie de l'air), font du séchoir tunnel un système très complexe.

Aussi, soulignons que notre système est en cours de production, alors une identification proprement parlée est quasi impossible car elle inclura une étude étendue (complexité des équations de transfert de chaleur) et des essais long et coûteux.

Donc, la procédure à suivre dans ce second chapitre est de faire une série d'essais et de mesures expérimentales sans avoir recours à arrêter la production, afin de nous approcher le

plus près possible d'une solution réalisable dans un contexte de régulation automatique. Pour ce faire, une connaissance minimale en céramique est indispensable ;

## **II. Notions générales en céramique**

### **II.1. Historique et caractéristiques de l'argile**

Pour la majorité, la céramique désigne des articles de fantaisie en terre cuite de décoration, or la céramique est l'une des plus anciennes des activités humaines, au temps des égyptiens, en orient,...etc. en langue grecque KERAMICAS, signifie argile, les produits sont obtenus par façonnage, séchage et cuisson de manière à obtenir des produits durs insensibles à l'action de l'eau. On utilise l'argile comme matière première car il possède des caractéristiques bien distinctes, parmi elles, on peut citer :

- Grande résistance mécanique (résistance la compression peut atteindre 400bars) ;
- Bonne isolation thermique : résiste bien à la propagation de la chaleur et du froid ;
- Bonne isolation acoustique ;
- Résistance élevée aux actions chimiques ;
- Matière première abondante.

D'une autre part, on peut citer les inconvénients suivants :

- Fragilité (mauvaise résistance aux chocs) ;
- Mauvaise résistance à la flexion ;
- Mauvaise résistance aux coups.

### **II.2. Classification des produits céramiques**

Il existe plusieurs classifications des produits céramiques :

#### **II.2.1 D'après la destination**

La céramique est utilisée dans toutes les parties du bâtiment (briques creuses, planché), cloisons (briques creuses), couvertures (tuiles), revêtement des sols (carreaux de faïences), appareils sanitaires...etc.

#### **II.2.2 D'après la Porosité**

Il existe deux types de produits céramiques :

- a) produits céramiques à pâte poreuse dont le coefficient d'absorption d'eau est  $\geq 5\%$

b) produits céramiques à pâte non poreuse dont le coefficient d'absorption d'eau est  $\leq 5\%$

### II.2.3 D'après l'état de surface

On distingue les produits céramiques à surface rugueuse,

Exemple : brique et produits céramiques à surface lisse (faïence).

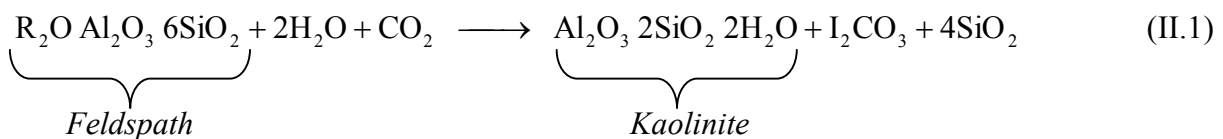
## II.3. composition de la matière première

### II.3.1 Composition minéralogique

L'argile est une roche composée d'un mélange hydro-alumino-silicate qui est formé à travers des siècles à cause de l'érosion des roches éruptives, on distingue l'argile dite *primaire* ; c'est celle qui est restée sur son lieu de formation, et l'argile *secondaire* ; qui s'est formée dans un lieu mais à cause des courants d'eau et de vent s'est empilée dans un autre lieu.

Parmi les minéraux principaux de l'argile on distingue :

#### II.3.1.1 La kaolinite



Le kaolin c'est la roche, mais la kaolinite c'est le minérale, il est le principale composant de l'argile et ses dimensions varient entre  $0.1 \div 10\mu$  et dont l'épaisseur varie entre  $400 \div 1000 \text{ \AA}$ .

#### II.3.1.2 Montmorillonite



Dans cette formule on constate en plus de l'eau, l'eau zéolitique ( $4\text{H}_2\text{O}$ ). C'est celle qui se trouve entre les cristaux de la montmorillonite, on l'appel parfois l'eau cristalline. Elle joue le rôle de lubrifiant qui laisse glisser facilement les deux cristaux empilés.

Par conséquent, l'argile qui contient cette substance est plastique.

En plus de la *Kaolinite* et de la *Montmorillonite*, on trouve d'autres composantes telles que la *Pyrophyllite*, l'*halosite*, l'*Illite*, et l'argile à base de ce dernier est très plastique.

Les argiles ne se trouvent pas à l'état naturel très pur, il y a toujours des impuretés ou des additions, et certains de ces additions agissent sur la température de cuisson (fondants) comme les alcalins, les sels solubles de *Na*, *K*, *Ca* et *Mg* et d'autres diminuent la température de cuisson.

D'autres, influent sur le retrait (dégraissant) comme la Silice, et d'autres qui influent sur la couleur (colorants) comme les sels de fer.

### II.3.2 Composition chimique

Dans le tableau suivant, on a résumé les composantes chimiques de l'argile et leurs tolérances ;

| <i>Nature des éléments</i>  | <i>Formulation</i>                   | <i>Tolérance (%)</i> |
|-----------------------------|--------------------------------------|----------------------|
| <i>Silice</i>               | SiO <sub>2</sub>                     | 35 ÷ 85              |
| <i>Alumine</i>              | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>       | 9 ÷ 35               |
| <i>Chaux</i>                | CaO                                  | 0 ÷ 25               |
| <i>Magnésie</i>             | MgO                                  | 0 ÷ 5                |
| <i>Oxydes alcalins</i>      | Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O | 1 ÷ 5                |
| <i>Sesquioxyde de fer</i>   | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>       | 3 ÷ 9                |
| <i>Oxyde de titane</i>      | TiO <sub>2</sub>                     | 0.3 ÷ 2              |
| <i>Anhydride sulfurique</i> | SO <sub>3</sub>                      | 0 ÷ 3                |
| <i>Gaz carbonique</i>       | CO <sub>2</sub>                      | 0 ÷ 13               |
| <i>Eau de combinaison</i>   | H <sub>2</sub> O                     | 5 ÷ 11               |

**Tableau (II .1)**

### II.3.3 Composition granulométrique

Les particules argileuses ont une dimension < 5μ. Les particules dont les dimensions sont de 5μ ÷ 50μ sont des particules poussiéreuses et celles qui sont de 0.014 ÷ 5mm sont des particules sableuses, celles >5mm sont du gravier.

La composition granulométrique des argiles influe sensiblement sur la capacité de liaison, la plasticité et sur le retrait. Pour la détermination des dimensions des particules qui constituent l'argile il y a plusieurs méthodes ;

- lévigation (lavage) ;
- tamisage (sec ou humide) ;
- microscopie optique ;
- centrifugation.

## II.4. Propriétés principales de l'argile

### II.4.1 propriétés hydro physiques

Quand une particule argileuse chargée négativement, il y a des dipôles d'eau entourant cette particule. Les dipôles sont attirés par la particule argileuse sous l'influence des forces électrostatique et ils sont orientés vers cette particule, d'où la propriété remarquable de l'argile qui est la grande absorption d'eau (60 à 70%).

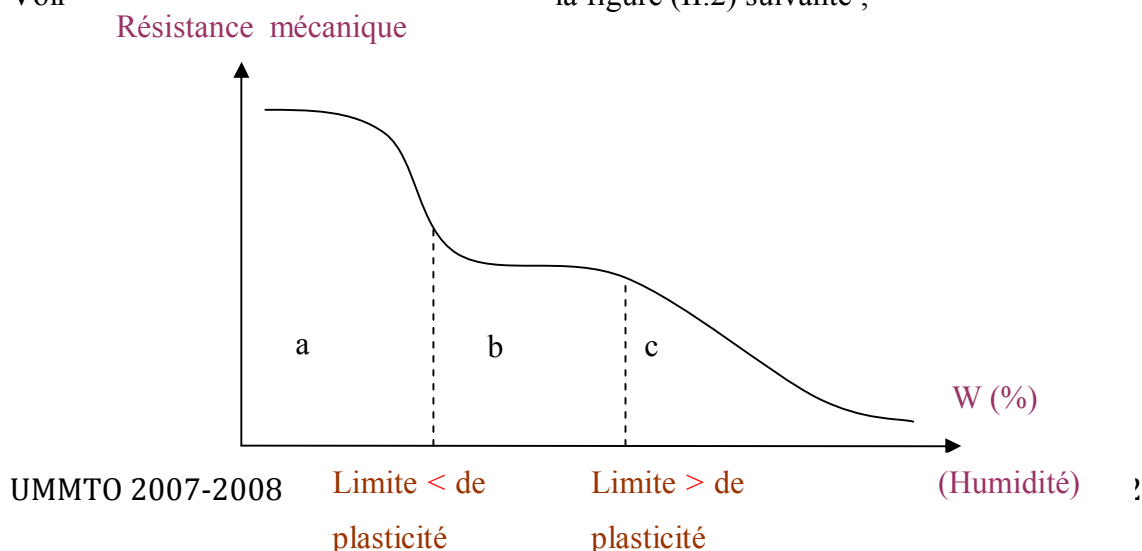
### II.4.2 propriétés mécaniques

La propriété la plus importante est la plasticité et la facilité d'un corps de réagir aux forces extérieures avec les déformations permanentes sans se rompre (la propriété de garder sa forme après l'enlèvement de la charge).

Du point de vue hydromécanique, on distingue trois états de l'argile-eau ;

- a) État fragile
- b) État plastique
- c) État visco-fluide

Voir la figure (II.2) suivante ;



**Figure (II.2)**

La plasticité de l'argile est caractérisée par l'indice de plasticité **P** ;

$$P = W_2 - W_1 \quad (\text{II.3})$$

$P > 25$  : bonne plasticité

$P : 7 \div 25$  : plasticité moyenne

$P < 7$  : mauvaise plasticité

Cette caractéristique dépend de quelques facteurs :

- la finesse des particules et leurs formes;
- la teneur en matière dégraissante qui doit être optimale (plus leur teneur est grande plus leur plasticité diminue) ;
- nature du liquide employé.

**II.4.3 Propriétés de séchage (retrait sur sec)**

C'est le raccourcissement des dimensions d'un corps solide pendant l'évaporation de l'eau sous l'influence des forces capillaires et osmotiques, on distingue :

Le retrait au séchage, a la cuisson et le retrait total.

$$\text{Retrait total} = \text{retrait de séchage} + \text{retrait de cuisson}$$

Retrait linéaire :

$$R_e = \frac{L_0 - L_1}{L_1} \quad (\text{II.4})$$

En théorie, chaque système tend vers l'équilibre. Pendant l'évaporation brusque de l'eau, il y a variation d'équilibre et on aura la fissuration du produit céramique, il faut alors bien suivre le régime de séchage et de cuisson qui doivent être homogènes et uniformes.

Pour diminuer le retrait on ajoute des amaigrissants (sable, chamotte).

Il y a trois types d'eau existants dans l'argile :

#### **II.4.3.1 L'eau hygroscopique (eau liée mécaniquement)**

Elle s'évapore à la température  $100 \div 105^\circ\text{C}$ . Les particules de cette eau sont adhérentes aux particules argileuses avec des forces de Van der Waals. La teneur en cette eau est dite humidité du produit.

#### **II.4.3.2 L'eau zéolitique**

Eau qui forme le réseau cristallin (une partie du réseau cristallin), la température d'évaporation en dépend du réseau lui-même.

#### **II.4.3.3 L'eau de constitution (eau liée chimiquement)**

$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , elle entre dans la combinaison chimique de la matière et sa température d'évaporation dépend de la nature de l'argile :

- Montmorillonite :  $250 \div 400^\circ\text{C}$  ;
- Kaolinite :  $600 \div 650^\circ\text{C}$  ;
- Illite :  $800 \div 900^\circ\text{C}$  ;

Le retrait au séchage est toujours plus important que le retrait à la cuisson, car pendant le séchage  $1 \div 3\%$  jusqu'à  $18\%$  d'humidité s'évapore et pour la cuisson  $0.05\%$  jusqu'à  $1 \div 3\%$ .

## **II.5. Calcul de l'humidité des argiles**

Parallèlement à la température, l'humidité est une grandeur de procédé très importante.

L'humidité relative de l'air ambiant, par exemple, a une influence considérable sur notre bien-être et notre santé.

Au niveau des procédés industriels, le réglage correct de l'humidité est souvent déterminant pour la compétitivité et la qualité des produits. Il est primordial de contrôler l'humidité de l'air là où la vapeur d'eau contenue dans l'air provoque ou influence des réactions chimiques et physiques sur les produits.

Il y a deux sortes d'humidité :

L'humidité absolue et l'humidité relative.

### II.5.1 Humidité absolue

L'humidité absolue ( $W_{abs}$ ) indique la quantité de vapeur d'eau contenue dans un volume d'air déterminé.

L'unité de mesure de l'humidité absolue est  $g/m^3$  en générale. L'avantage de la mesure de l'humidité absolue réside dans le fait qu'elle permet de quantifier, indépendamment de la température, la teneur en eau effective d'un gaz.

$$W_{abs} = \frac{\text{masse de la vapeur d'eau}}{\text{volume d'air}} \quad (\text{II.5})$$

Ou bien pour les matériaux (en %) ;

$$W_{abs} = \frac{m_0 - m_1}{m_1} \times 100\% \quad (\text{II.6})$$

$m_0$ : masse du matériau avant séchage.

$m_1$  : masse du matériau après séchage.

### II.5.2 Humidité relative

On appelle humidité relative le rapport entre la pression partielle de vapeur d'eau contenue dans un gaz ( $P_v$ ) et la pression de vapeur d'eau max. possible, donc la pression de saturation ( $P_s$ ), pour une température donnée.

L'humidité relative est une grandeur sans dimension. C'est un rapport et elle est indiquée en pourcentage. Comme le point de saturation dépend uniquement de la température de l'air, l'humidité relative, varie également en fonction de la température. Elle baisse lorsque la température s'élève et augmente lorsque la température baisse.

Dans le contexte de notre étude, on utilisera la formule (1.6) et (1.) qui nous renseigne sur l'humidité relative du produit.

$$W_r = \frac{P_v}{p_s(T)} \times 100\% \quad (\text{II.7})$$

Ou bien (humidité relative en fin de séchage) qu'on va appeler  $H_r$  ;

$$H_r = \frac{P_s - P_{sc}}{P_s} \times 100\% \quad (\text{II.8})$$

$P_s$  : poids sur sec.

$P_{sc}$  : poids constant après cuisson de 2 ÷ 4h entre 100 ÷ 150 C°.

Aussi :

$$W_r = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \times 100\% \quad (\text{II.9})$$

Il y a aussi l'humidité de façonnage qui est propre au domaine de la céramique qu'on notera  $H_f$  et qui est donnée par la relation suivante :

$$H_f = \frac{P_h - P_s}{P_h} \times 100\% \quad (\text{II.10})$$

$P_h$  : poids humide.

$P_s$  : poids sur sec.

**Remarque:**

$$\triangleright W_{abs} > W_r$$

L'humidité absolue et l'humidité relatives sont reliées par les formules suivantes :

$$W_r = \frac{W_{abs} * 100}{100 \oplus W_{abs}} \quad (\text{II.11})$$

ET aussi;

$$W_{abs} = \frac{W_r * 100}{100 - W_r} \quad (\text{II.12})$$

### III. Analyse du procédé de séchage

L'architecture du séchoir tunnel nous permet facilement de déduire que l'humidité de l'air est plus concentrée dans le tunnel n°1.

**Explication :**

En observant la figure (I.5) illustrée dans le *chapitre I*, on remarque que la porte de sortie des produits secs est proche du tunnel n°1, ce qui permet l'admission d'une certaine quantité d'air frais impliquant une teneur en eau plus ou moins importante que les deux autres tunnels.

De ce fait, l'étude suivante sera menée sur le tunnel n°1, et qu'on peut appliquer sur les deux autres tunnels.

**III.1. Concept actuel d'admission d'air chaud**

Le tunnel est équipé de six zones de mesure de températures (d'où la notion de compartiment, qui ne sont pas séparés physiquement), au dessus duquel un carneau permettant l'admission de chaleur à travers les registres d'échanges thermique (voir figure II.3), qui sont ouvert graduellement afin de séparer les six compartiments par des températures consignées à chaque un de ces derniers, pour permettre le cycle de séchage proposé par le constructeur.

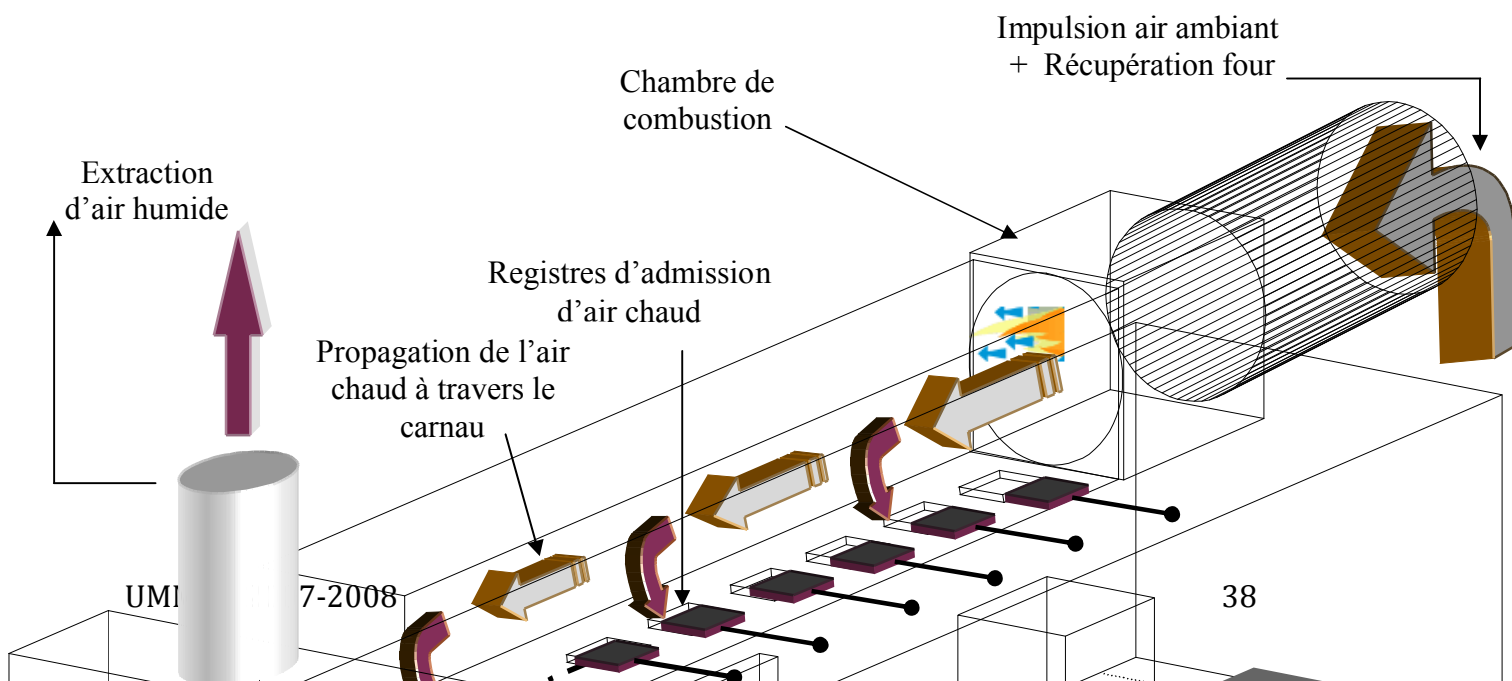
Le plan du séchoir (voir annexe) nous a permis d'extraire les caractéristiques suivantes :

- Longueur du carneau : 66290 mm
- Largeur du carnaux (intérieur) : 1300 mm
- Nombre de registres : 37
- Surface d'un registre :  $300 \times 400 \text{ mm}^2$
- Distance entre deux axes de registres : 1800 mm
- Nombre de point de mesure de température : 6
- Distance entre l'axe du transbordeur d'entrée et le 1<sup>er</sup> point de mesure de température : 8000 mm
- Distance entre deux points de mesure de température à partir du 1<sup>er</sup> point : 12500 mm
- Nombre de registre entre deux points de mesure de température : 7

Il reste 2 registres et ils se trouvent avant le 1<sup>er</sup> point de mesure de température en équidistance avec les autres.

**Remarque :**

- Dans le temps du déroulement du stage, les sept. premiers registres sont complètement fermés pour maintenir la 1<sup>ère</sup> température entre 22 ÷ 26 (plage tolérable de température dans le 1<sup>er</sup> compartiment).



**Figure (II.3)**

### **III.2. Relevés et essais menés sur le procédé**

Comme on l'a vu précédemment, notre système opère dans le mode de convection forcée. C'est à dire, il utilise un calculateur pour assurer l'écoulement d'air chaud, ainsi il permet de modifier les conditions opératoires pour aboutir à un certain cycle de séchage.

Compte tenu de la Complexité des mécanismes que ce mode opératoire engendre, et des contraintes observées, il a été cependant nécessaire d'avoir recours aux hypothèses Simplificatrices suivantes :

- 1er. Pression à l'intérieur de chaque tunnel reste dans le domaine admissible ( $11 \div 14$  mmH<sub>2</sub>O en général).
- 2e. En tenant compte de l'isolation thermique des carnaux, et de la permanence de la Source de chaleur (brûleur), on peut supposer que la variation de température à l'intérieur d'un carneau est négligeable (du moins en temps de fonctionnement).
- 3e. Interconnexion calorifique régit par la conduction thermique de l'air entre deux compartiments de séchage (qui ne sont pas séparés physiquement) est négligeable.

4e. Les ventilateurs de brassage assurent une vitesse nominale pour l'air à l'intérieur de chaque tunnel.

### III.2.1 Essai de séchage (retrait en %)

La première procédure a été d'enfoncer une tige d'une longueur de 80mm (modèle horizontal) dans une unité de produit (brique) dès son façonnage, la trace laissée par la tige nous a permis de suivre l'évolution du retrait à l'intérieur du tunnel (en passant par les six compartiments) en fonction du temps.

#### Remarque :

Notons bien que la cadence de travail n'était pas satisfaisante pendant les essais granulométriques (temps d'entrée d'un chariot dans la même voie n'est pas constant). Donc le produit n'avance pas de 220 cm (longueur du chariot), chaque 1h30 mn, comme il le devrait, ainsi les résultats obtenus peuvent manquer de précision.

Le tableau suivant nous résume l'évolution du retrait (mm) en fonction du temps (h) et de la température (C°) :

|                        |    |     |      |      |      |      |
|------------------------|----|-----|------|------|------|------|
| Température T(C°)      | 27 | 30  | 31   | 40   | 45   | 53   |
| Calcul du Retrait (mm) | 80 | 79  | 77,9 | 75,3 | 74,6 | 74,5 |
| Temps (h)              | 0  | 7,5 | 15   | 27   | 34,5 | 37,5 |

**Tableau (II.2)**

La relation (II.2) nous permet de calculer le retrait linéaire tel que :

$$R = \frac{L_0 - L_1}{L_1} \times 100$$

$$\left. \begin{array}{l} L_0 = 80 \text{ mm} \\ L_1 = 77,9 \text{ mm} \end{array} \right\} \rightarrow R = \frac{80 - 77,9}{77,9} \times 100 = 1,26\%$$

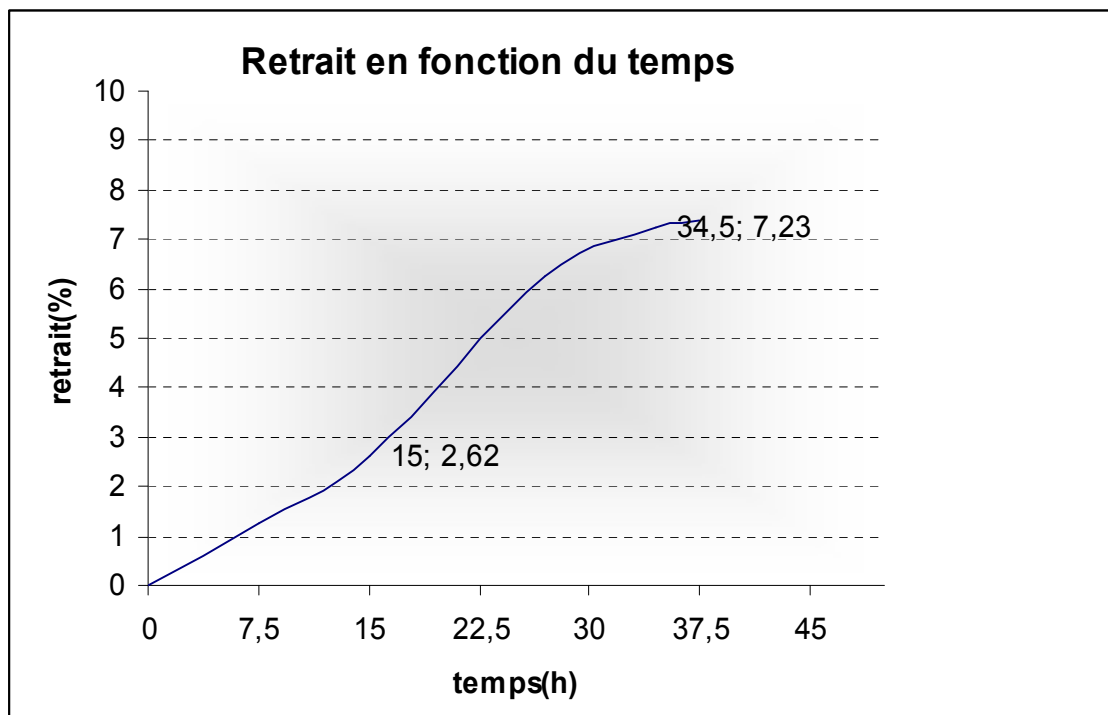
$R = 1,26\%$  à la première mesure.

De la même façon, on évalue le retrait correspondant aux autres points de mesure tout en gardant  $L_0 = 80$  mm. Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau suivant :

|                    |   |      |      |      |      |      |
|--------------------|---|------|------|------|------|------|
| <i>Retrait (%)</i> | 0 | 1,26 | 2,69 | 6,24 | 7,23 | 7,38 |
| <i>Temps (h)</i>   | 0 | 7,5  | 15   | 27   | 34,5 | 37,5 |

**Tableau (II.3)**

La courbe correspondante au retrait en fonction du temps est représentée ci-dessous ;



**Figure (II.4)**○ **Interprétation des résultats :**

En reconstituant la courbe de *Bigot*, on peut délimiter trois phases différentes au cours du cycle de séchage :

○ **1<sup>ère</sup> phase (0 ÷ 15h) :**

Au début de l'opération de séchage à l'entrée du tunnel, la température du fluide (air séchant) évolue progressivement de 27 à 31 C° impliquant l'évaporation linéaire et lente de l'eau dans le produit vert.

Ce comportement nous renseigne sur le fait qu'au début de séchage, l'eau s'évapore à la surface, les forces capillaires et la pression compriment la matière au fur et à mesure. On observe une réduction linéaire du volume. Les pores restent saturés d'eau

○ **2<sup>ème</sup> phase (15 ÷ 30h) :**

Dans cette phase, on constate une évaporation assez importante ce qui nous amène à noter l'existence d'un front de séchage qui se déplace principalement de l'entrée vers la sortie du tunnel. Ce front divise le milieu en deux régions : une région humide et une région sèche. La région sèche s'élargit au cours du temps pour occuper tout le milieu. Au fur et à mesure que l'opération de séchage avance, la teneur en eau du produit et le taux d'évaporation diminuent.

Cette partie est sans doute la plus importante du fait qu'à l'échelle des granulés, les grains commencent à se toucher, ce qui limite la réduction du volume possible à la limite supérieure de cette phase. C'est le point critique.

○ **3<sup>ème</sup> phase (> 30h) :**

Ce temps d'échantillonnage correspond à une longueur dans le tunnel de 53 m environ. Comme on le constate sur la courbe, le retrait a tendance à se stabiliser à partir de cette zone (fin de séchage) qui se trouve juste après le 4<sup>ème</sup> point de mesure (compartiment n°4).

Ce comportement peut s'expliquer par le fait que tous les grains cessent leurs mouvements. L'eau résiduelle est contenue dans les porosités et toute diminution de la concentration d'eau entraîne une augmentation des porosités remplies d'air.

### III.2.2 Calcul de l'humidité

#### III.2.2.1 Calcul d'humidité de façonnage

L'humidité de façonnage s'exprime par la relation (I.7) suivante :

$$H_f = \frac{P_h - P_s}{P_h} \times 100\%$$

Les relevés du poids en fonction du temps de séchage on donnés les résultats organisés dans le tableau (II.2) qui suit ;

|                   |      |      |      |      |      |      |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|
| Poids P (g)       | 6020 | 5865 | 5705 | 5200 | 5190 | 5185 |
| Température T(C°) | 27   | 30   | 31   | 40   | 45   | 53   |
| Temps (h)         | 0    | 7,5  | 15   | 27   | 34,5 | 37,5 |

**Tableau (II.4)**

Pour trouver l'humidité de façonnage, on prend le poids humide  $P_h$  (produit à l'entrée du séchoir), et le poids sec  $P_s$  (produit à la sortie du séchoir).

$$\left. \begin{array}{l} P_h = 6020g \\ P_s = 5185g \end{array} \right\} \longrightarrow H_f = \frac{6020 - 5185}{6020} \times 100\% \approx 14\%$$

$H_f = 14\%$  : humidité de façonnage du produit.

#### **Remarque :**

➤ L'humidité de façonnage doit être comprise entre 18 ÷ 24%, Ce qui nous incite à déclarer un manque flagrant d'ajout d'eau pour l'argile dans l'étape de préparation correspondante qui est sans doute lié à la technologie de façonnage.

#### III.2.2.2 Calcul de l'humidité relative (résiduelle) du produit à la sortie du séchoir

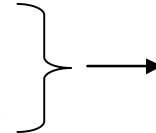
L'humidité résiduelle en sortie s'exprime par la fonction (1.8) si dessous :

$$H_r = \frac{P_s - P_{sc}}{P_s} \times 100$$

On a ;

$P_s = 5185\text{g}$  (poids sec après séchage)

$P_{sc} = 4880\text{g}$  (poids constant après cuisson 2 ÷ 4h entre 100 ÷ 150 C°)



$$H_r = \frac{5185 - 4880}{5185} \times 100 = 5,88\%$$

$H_r = 5,88\%$  : Humidité finale du produit en sortie

**Remarque :**

- L'humidité résiduelle obtenue est supérieure à l'humidité que doit avoir le produit en sortie du séchoir qui est tolérée entre 3 ÷ 4 %.

**III.2.2.3 Calcul de l'humidité absolue de l'air**

L'objectif de cette manipulation est de mettre en évidence le front de séchage.

Mais le manque d'instrumentation d'hygrométrie rend la mesure pratique de ce paramètre indisponible, alors pour ce faire, il fallait trouver une relation liant l'humidité absolue à l'humidité relative pour une température et pression de vapeur d'eau données.

Relation mise en évidence dans le diagramme de *Mollier* (voir annexe).

**Remarque :**

- La méthode de *Mollier* présente des résultats plus précis entre le compartiment 3 et 4, car la pression de la vapeur d'eau est une donnée disponible sur cette longueur du tunnel.
- Le diagramme de *Mollier* nous permet de calculer l'humidité absolue d'un air ayant pour température  $T^\circ$  ( $T < 50\text{ C}^\circ$ ).

En effet, en utilisant les diagrammes de *Mollier*, les températures de mesure résumées dans le tableau (3.1) nous renseignent sur l'humidité de l'air en fonction de la pression observée sur le pycnomètre qui est de **11 mmH<sub>2</sub>O** pendant l'essai.

○ Exemple d'utilisation du diagramme :

Détermination de l'humidité relative de l'air,

Mesures effectuées :

- Température de l'air                    27 C°
- Pression de vapeur d'eau 11mmH<sub>2</sub>O

On recherche les valeurs mesurées dans le diagramme et on détermine le point d'intersection.

L'axe supérieur indique la pression de vapeur d'eau, et l'axe vertical indique la température.

En traçant les deux lignes correspondantes en rouge (voir annexe), on aura une intersection au point **B**. un point qui désigne une humidité relative de 40%.

Dans les généralités sur les produits céramique, on a défini les relations liant l'humidité absolue et l'humidité relative par les formules (II.11) t (II.12) respectivement ;

$$W_r = \frac{W_{abs} * 100}{100 \oplus W_{abs}}$$

$$W_{abs} = \frac{W_r * 100}{100 - W_r}$$

Ainsi, on a pu calculer l'humidité absolue comme suite;

$$W_{abs} = \frac{40 * 100}{100 - 40} = 66,66$$

Alors, pour chaque valeur de l'humidité relative, on peut associer une humidité absolue,

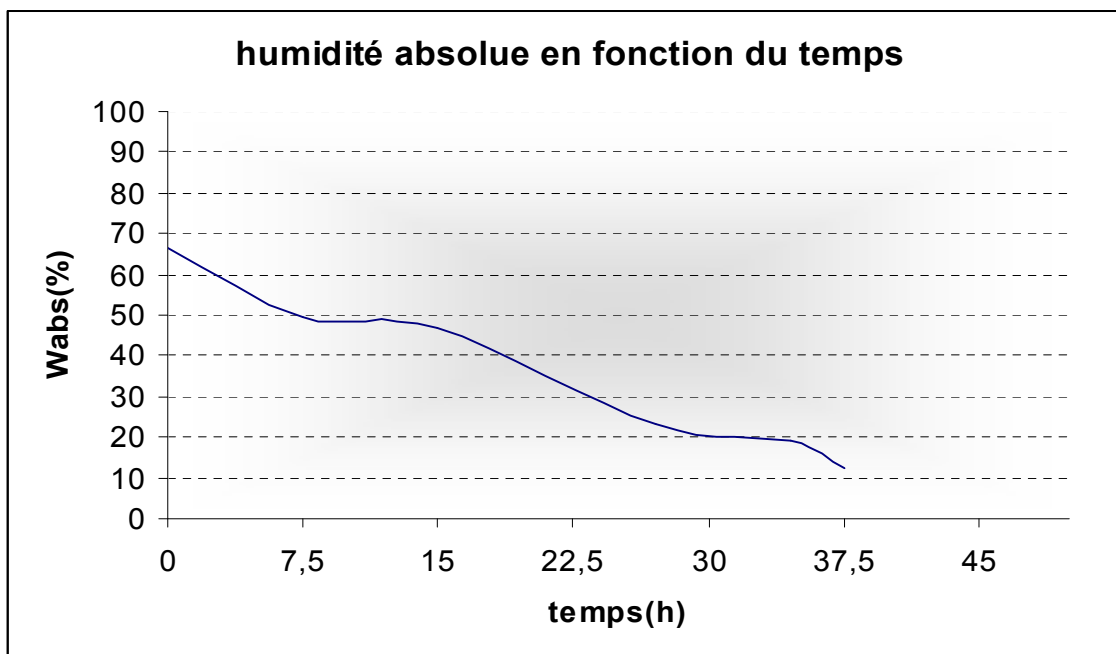
Le tableau (II.3) qui suit nous résume les résultats ;

| Compartment n°        | 1  | 2     | 3  | 4     | 5  | 6     |
|-----------------------|----|-------|----|-------|----|-------|
| Température (C°)      | 27 | 30    | 31 | 40    | 45 | 53    |
| Humidité Relative (%) | 40 | 33    | 32 | 19    | 15 | 11    |
| Humidité              | 66 | 49,25 | 47 | 23,45 | 19 | 12,35 |

|             |   |     |    |    |      |      |
|-------------|---|-----|----|----|------|------|
| absolue (%) |   |     |    |    |      |      |
| Temps (h)   | 0 | 7,5 | 15 | 27 | 34,5 | 37,5 |

**Tableau (II.5)**

A partir de ces données, on a pu tracer la courbe d'évolution de l'humidité absolue de l'air en fonction du temps de séchage (ou de la longueur du tunnel):

**Figure (II.5)**

○ **Interprétation des résultats :**

La courbe de l'humidité absolue de l'air obtenue nous confirme la conclusion de la phase de séchage n°2. Il existe bien un front de séchage se déplaçant de l'entrée du tunnel vers sa sortie.

### III.2.3 Le point critique du système

Il s'agit du lieu de rencontre des deux graphiques ;

- Humidité absolue en fonction du temps ;
- Retrait en fonction du temps.

Qui sont figurés ci-dessous ;



**Figure (II.6)**

○ **Interprétation des résultats :**

En superposant le tracé obtenu de l'humidité absolue de l'air avec celui du retrait, on est sensé trouver le point critique qui est l'intersection des deux courbes.

Le diagramme de Mollier (voir annexe A) nous permet de calculer l'humidité absolue d'une air ayant pour température  $T^{\circ}$  ( $T < 50\text{ C}^{\circ}$ ), une contrainte qui nous empêche pas de constater un disfonctionnement du système de séchage étant donné que le fonctionnement nominale permet l'intersection des deux courbes dans le compartiment 3 ou 4 (4<sup>ème</sup> point de mesure de température) qui correspond environ à 45÷50m (en longueur du tunnel), ou bien à 28÷32h (en temps de séchage).

Ce disfonctionnement peut être relié à la cadence irrégulière de l'entrée des chariots.

### III.2.4 Evolution de la température au sein du procédé de séchage

#### III.2.4.1 Evolution nominale

Comme on l'a souligné dans le titre III.1, le séchoir tunnel est équipé de 6 points de mesure de température délimitant 5 compartiments de transformation physico-chimique qu'on peut réduire à 3 zones si on parle de phases de séchage propres aux produits verts.

Dans le tableau (II.), on a résumé les plages admissibles de températures désirées en fonction du temps du cycle de séchage nominal (c à d que le produit doit avancer de 2,20m par 1h30mn) ;

**Explication :**

Dans les caractéristiques du séchoir en chapitre I, on vu que chaque voie contient 32 chariots, et la longueur de chaque chariot est de 2,20m, ce qui nous fait une longueur approximative entre les deux extrémités du premier et du dernier chariot de ;

$$32 \times 2,20 = 70,4m \sim \text{longueur des rails.}$$

Aussi, le temps de séchage donné par le constructeur est de 48h,

Posons X, T, V, la longueur des rails, le temps de séchage et la vitesse d'avancement des produits sur les rails respectivement.

On a ;

$$X = V \cdot T \tag{II.13}$$

D'ou ;

$$V = \frac{X}{T}; \text{ La vitesse avec lequel le produit vert avance sur les rails ;}$$

$$V = \frac{70,4}{48} = 1,466m / h$$

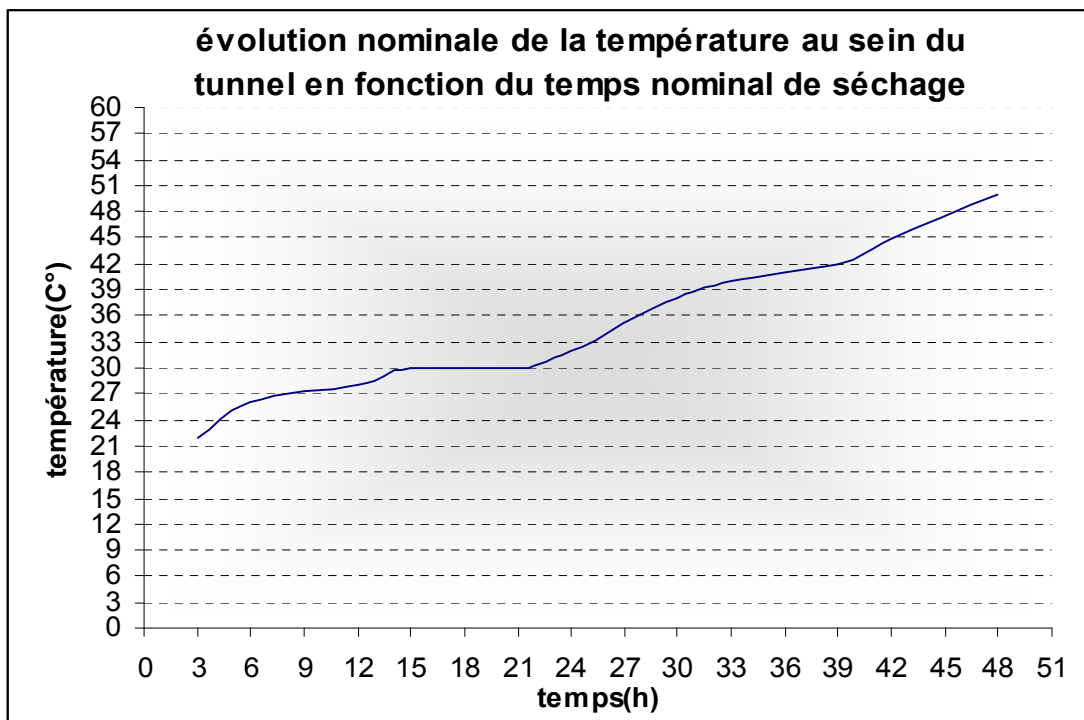
Comme le chargement dans le tunnel se fait en unité de chariot pas en unité de produit (brique), alors par la simple règle de 3, calculons le temps d'avancement d'un chariot de longueur donnée (2,20m) sur les rails qu'on notera  $T_c$ ;

$$\begin{array}{l} \text{Une heure} \longrightarrow 1,46m \\ T_c \longrightarrow 2,20m \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} \text{Une heure} \\ T_c \end{array}} \right\} \longrightarrow T_c = \frac{2,20 \times 1}{1,46} = 1,5$$

$T_c = 1h30mn$  ; le chariot avance de 2,20m chaque 1h30mn, c'est le temps nominal de la cadence de chargement des chariots.

|                    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|--------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Point de mesure n° | 1  |    | 2  |    | 3  |    | 4  |    | 5  |    | 6  |    |    |
| Température (C°)   | 22 | 26 | 28 | 30 | 30 | 32 | 38 | 40 | 42 | 45 | 50 | 51 | 52 |
| Temps (h)          | 3  | 6  | 12 | 15 | 21 | 24 | 30 | 33 | 39 | 42 | 48 | 49 | 50 |

**Tableau (II.6)**

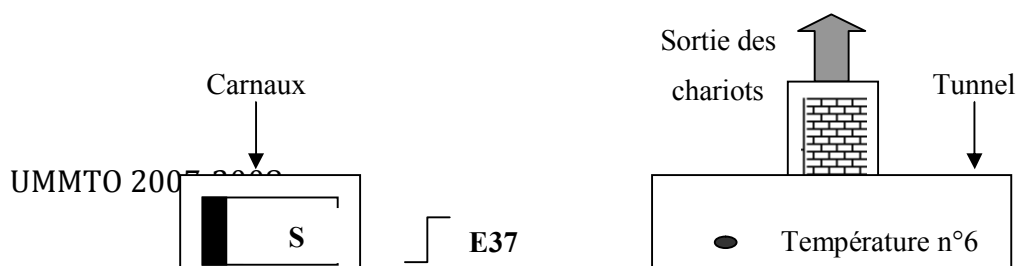


**Figure (II.7)**

○ **Interprétation des résultats :**

La courbe obtenue met en évidence le comportement d'un système excité par des échelons successifs à différents paliers. Ces paliers peuvent être associés aux différentes surfaces d'échange thermique.

Pour mieux comprendre cette évolution de température, on propose dans la figure (II.8) qui suit une illustration théorique et symbolique du concept d'admission d'air chaud :



**Figure (II.8)****Explication :**

Notons  $S$ ; la surface d'échange thermique. Elle varie entre  $30\text{cm} \times 0\text{cm}$  (au 7<sup>ème</sup> registre) ÷  $30\text{cm} \times 40\text{cm}$  (au 37<sup>ème</sup> registre).

Une variation de surface permet d'expliquer la notion d'échelons successifs  $E_0$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) ÷  $E_{37}$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) de flux de température à travers chaque registre (surface d'échange thermique).

La construction du séchoir a été faite spécifiquement aux caractéristiques des produits céramiques, elle permet de maintenir les températures dans leurs plages admissibles pour chaque compartiment de séchage en agissant à temps et judicieusement sur la consigne du brûleur.

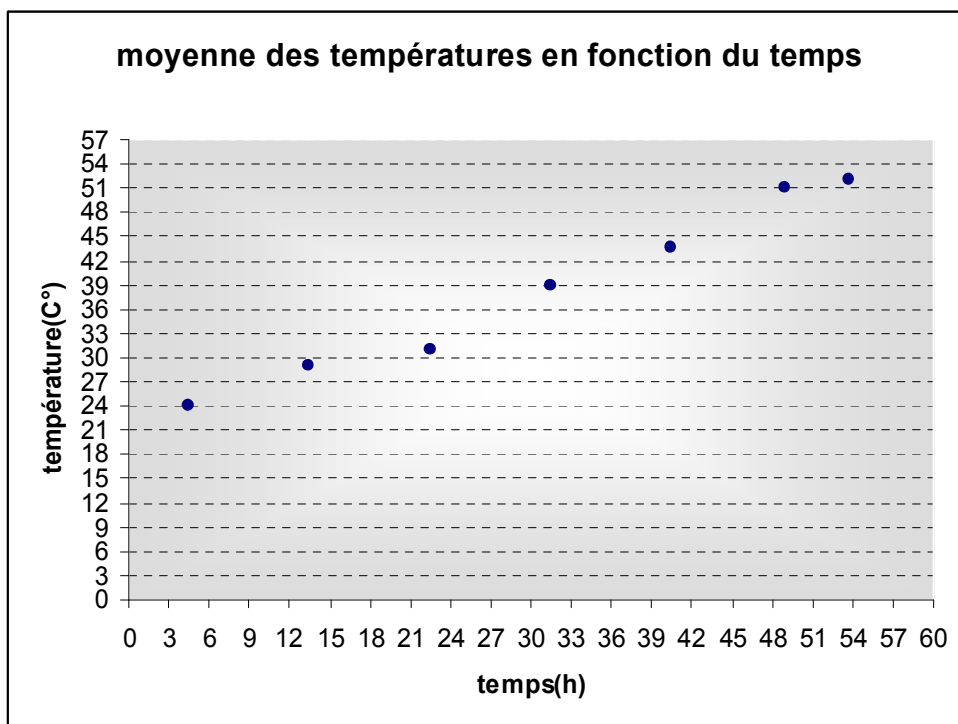
Cette manière d'agir n'apporte pas les résultats attendus en humidité de sortie. C'est du au temps de réaction de l'opérateur sur la consigne du brûleur à l'égard des perturbations climatiques.

**III.2.4.2 Evolution des températures moyennes au sein du tunnel**

En se basant sur les hypothèses précédentes, on peut tracer un graphique qui met en évidence le comportement qu'engendrent les températures moyennes résumés dans le tableau suivant ;

|                           |     |      |      |      |      |    |    |
|---------------------------|-----|------|------|------|------|----|----|
| Températures moyennes(C°) | 24  | 29   | 31   | 39   | 43,5 | 51 | 52 |
| Temps (h)                 | 4,5 | 13,5 | 22,5 | 31,5 | 40,5 | 49 | 53 |

**Tableau (II.7)**



**Figure (II.9)**

○ **Interprétation des résultats :**

En observant le suivi de points, on peut assimiler le comportement du système à celui d'un premier ordre avec retard pur dont la fonction de transfert peut s'écrire sous forme ;

$$G(s) = \frac{K}{1 + \tau p} \cdot e^{-tp} \tag{II.14}$$

Où K, T et  $\tau$  représentent respectivement le gain, le retard pur et la constante de temps du procédé.

Afin de maintenir les températures dans la plage prescrite au sein du tunnel, il faudrait passer par un modèle de connaissance du système {registres + tunnel} pour réaliser un correcteur qui tienne compte effectivement de l'évolution de la température au sein de ce dernier. La difficulté principale est liée ici à la réalisation du modèle. En effet, nous disposons de très peu de connaissances sur le système et l'évolution de la température. Aussi une identification empirique ne peut se faire sans arrêter la production.

Néanmoins, le tracé de la figure (II.) au dessus nous permet d'envisager un correcteur **PID** (Proportionnel Intégral Dérivé) ;

### III.3. Perspectives sur un nouveau concept d'admission d'air chaud

#### III.1.1 Choix des variables (commande/commandée)

Le système est déjà sous l'influence d'une régulation généralisé de température pour les carnaux, mais ce n'est pas pratique pour l'opérateur de maintenir les températures dans les plages admissibles à l'intérieur du tunnel. Pour cette raison, on opte pour le choix des variables et organes de commande suivants ;

- organe de commande : servomoteur
- organe commandée : registre

Ce qui implique les variables suivantes ;

- variable de commande : tension du servomoteur
- variable commandée : surface d'échange thermique → température → humidité

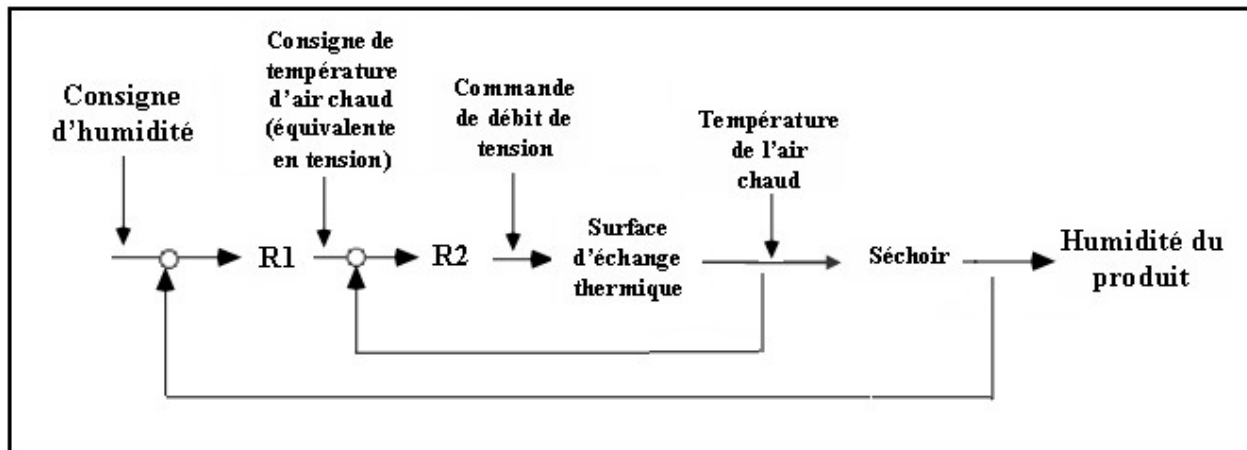
#### Remarque :

➤ Pour effectuer une régulation donnée, trois types d'informations sur le choix de l'instrumentation ;

- technologie de l'actionneur (robustesse, linéarité...etc.)
- type de réponse engendrée (gain, retard...etc.)
- Influence de l'actionneur sur le reste du système.

#### III.1.2 La boucle de régulation

Avec le choix des organes de commandes et des organes commandés, on peut schématiser notre boucle de régulation intermédiaire d'humidité comme suite ;



**Figure (II.10)**

Où R2 est la boucle intermédiaire de régulation.

### III.3. Sensibilité aux paramètres de séchage

#### III.3.1 Effet de la température de l'air séchant

Comme on l'a observé dans l'essai de retrait, le front de séchage se déplace plus rapidement et le milieu sèche plus vite quand on a une température d'entrée plus importante. Néanmoins, si la vitesse d'avancement des chariots n'est pas nominale (assez faible), l'effet de la température n'est pas d'une efficacité optimale même si elles sont dans les plages admissibles.

#### III.3.2 Effet de la vitesse de l'air séchant

La vitesse de l'air joue un rôle important dans le déroulement du séchage. Plus le débit de l'air est élevé, plus vite le front de séchage se forme et se déplace. L'humidité relative de l'air diminue au fur et à mesure que les produits avancent dans le tunnel

#### III.3.2 Effet de la cadence chargement de chariots irrégulière

En effet, le système de commande actuel des transbordeurs de chargement/déchargement est semi-automatique, ce qui ne respecte pas la vitesse consignée avec laquelle doit avancer les chariots. Une vitesse qui est intimement liée au bon déroulement du cycle de séchage des produits, donc de leur qualité.

## IV. Conclusion

L'évolution du champ de température au sein du tunnel n'est pas la seule clef du phénomène de séchage. Elle est reliée à la vitesse de l'air séchant qui est assurée par les ventilateurs de brassage, mais aussi à la cadence de chargements des chariots sur les voies des tunnels, qui doit être stable et régulière afin d'assurer une vitesse nominale d'avancement des produits.

Le cycle de séchage étant respecté, on aura un meilleur rendement.

Pour ce faire, le chapitre qui suit fera l'objet d'une solution automatisée du cycle de chargement/déchargement des chariots.

## I. Introduction

Le chargement des chariots en entrée du séchoir est une fonctionnalité très importante au cours de l'opération de séchage. En effet, les caractéristiques des produits à base de terre cuite font qu'il doit être exposé à différents paliers de température dans un temps bien déterminé afin d'avoir une qualité optimale.

Ce temps est donné par la cadence d'avancement des chariots lesquels, comme ont l'a vu dans le chapitre précédant sont commandés actuellement en semi-automatique et donc, le temps de séchage n'est quasiment jamais respecté. Des retards dus au rythme de travail des opérateurs peuvent s'accumuler et engendrer sur les produits une erreur d'humidité résiduelle non négligeable.

Un fonctionnement complètement automatique du cycle de chargement de chariots ne peut que résoudre ce problème, et aboutir à une humidité de sortie satisfaisante. Alors une solution d'automatisation du cycle de chargement des chariots dans le séchoir fera l'objet de ce chapitre.

## II. Les systèmes de commande

Pour réaliser un système de commande, nous disposons à l'heure actuelle de deux moyens :

- Les solutions câblées ;
- Les solutions programmées.

Le choix entre les deux solutions étant défini pour répondre au cahier des charges, nous tenons à rappeler qu'à même les avantages et inconvénients de chacune d'elles.

### II.1 Les solutions câblées

Dans les solutions câblées, la mise en œuvre nécessite uniquement l'établissement de liaisons matérielles (câblage) selon un schéma établie à partir de la théorie et/ou de l'expérience.

#### II.1.1 Inconvénients des solutions câblées

- Le poids et le volume des composants non négligeable ;
- La rentabilité financière ;
- La complexité de l'installation ;
- Des risques d'erreurs de câblage ;

- La recherche des pannes.

Et toute modification dans le choix du fonctionnement de l'installation entraîne :

- Une intervention dans le câblage (main d'œuvre) ;
- Une augmentation du nombre de relais et de fils (dimensions de l'armoire à remettre en cause) ;
- Un cout élevé (mains d'œuvre, relais, fils, armoire plus grand si nécessaire) ;
- Le dialogue avec de telles installations est très limité (voyants, synoptique).

### **II.1.1 Avantages des solutions câblées**

- Technologie simple, connue et maîtrisée ;
- Conception, réalisation, mise en service et maintenance de ces installations assurés par un personnel ne nécessitant pas une formation spécifique.

### **II.2 Les solutions programmées (utilisation d'un automate programmable)**

Elles éliminent tous les relais auxiliaires, les relais temporisés, et biens d'autres éléments et la filerie qui assure la liaison entre eux. L'encombrement se trouve réduit et la recherche de pannes et facilité. Il ne reste dans l'armoire électrique que :

- L'automate programmable ;
- Les sectionneurs ;
- Les préactionneurs (contacteurs, discontacteurs) ;
- Les fusibles ;
- Les transformateurs (si commande en 24 V).

### **II.2.1 Inconvénients des solutions programmées**

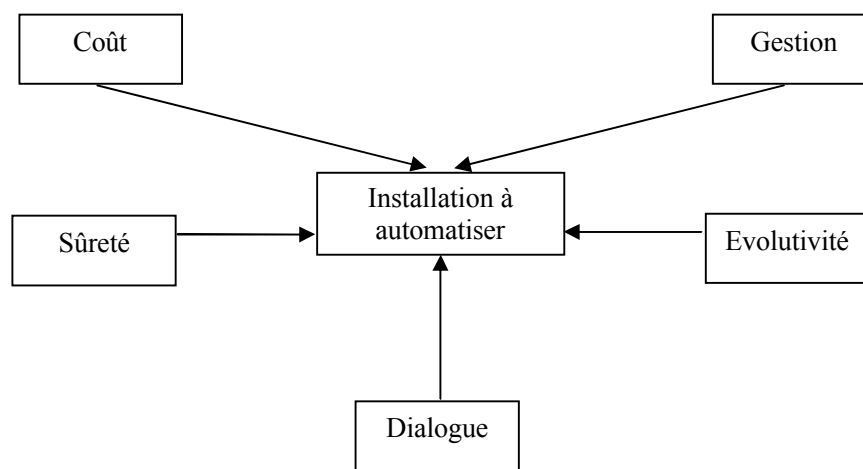
- Utilisation d'un personnel formé à cette technologie ;
- Il ya peu ou pas de gain de place dans l'armoire électrique ; lorsque le fonctionnement est simple (peu de relais).
- Le cout à la réalisation reste élevé même si le fonctionnement est simple.

### **II.2.2 Avantages des solutions programmées**

- L'encombrement de l'armoire électrique réduit lorsque que la complexité de l'installation augmente.

- Main d'œuvre réduite lors du câblage ;
- Terminal de programmation pouvant être commun à plusieurs automates ;
- Modification possible sans intervenir sur le câblage (à partir d'un terminal de programmation) ;
- Dialogue avec l'installation (diodes électroluminescentes, terminal de programmation, imprimante, etc.).

Après avoir défini les avantages et inconvénients des deux solutions, on peut justifier le choix de la solution programmée plutôt que câblée, qui tient compte de nouvelles exigences tel que le montre la figure (III.1).



**Figure (III.1)**

- **Le coût** : extension possible des performances avec un investissement minimum ;
- **La sûreté** : protection de l'installation, des personnes et de l'environnement ;
- **La gestion de l'énergie** : optimisation des performances de l'installation ;
- **L'évolutivité** : modification des conditions de fonctionnement de l'installation (jours, nuit, week-end) ;
- **Le dialogue** : communication avec l'installation (voyants, synoptique, diodes électroluminescentes, terminal de programmation, supervision...etc.).

L'utilisation des automates programmables est une solution pour répondre à ces nouvelles exigences.

### III. Automates Programmables Industriels (API)

#### III.1 Historique et définition

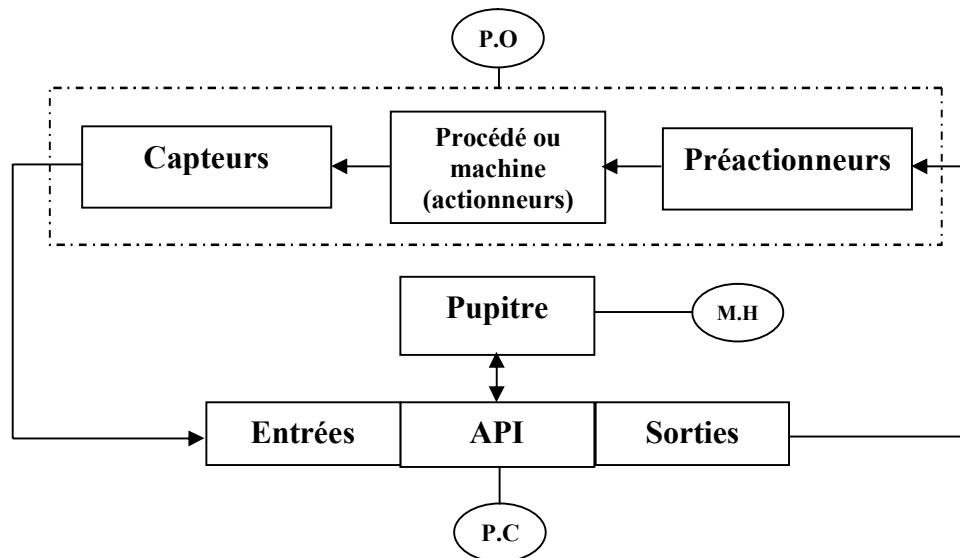
L'automate programmable est un appareil électronique qui comporte une mémoire programmable par un utilisateur automaticien (pas informaticien) à l'aide d'un langage adapté pour le stockage interne des instructions composant les fonctions d'automatisme comme par exemple :

- Logique séquentielle et combinatoire ;
- Temporisation, comptage, comparaison ;
- Calcul arithmétique ;
- Réglage, asservissement, régulation, etc. pour commander, mesurer et contrôler au moyen de modules d'entrées et de sorties (logiques, numériques, ou analogiques) différentes sortes de machines ou de processus en environnement industriel.

Il a pour origine d'apparition, la fin des années soixante à la demande de l'industrie automobile américaine GM (Général Motors), qui réclamait plus d'adaptabilité de leurs systèmes de commande. Depuis, l'automate programmable trouve sa place dans les domaines les plus variés comme, dans les chaînes de fabrication, (usinage, montage, etc.), pour les opérations de manutention (stockage, tri, chargement, etc.) ou encore dans les systèmes de contrôles (installations thermiques, détection des incendies, industrie nucléaire, etc.), car il assure les fonctions les plus complexes dans les conditions les plus extrêmes.

La figure (III.2) présente la liaison entre la machine et l'automate programmable tel que :

- La Partie Opérative (P.O) : c'est les actionneurs (moteurs, vérins) et les capteurs / détecteurs agissent sur la partie mécanique du système ou permettent d'acquérir les divers états du système.
- La Partie Commande (P.C) : elle donne les ordres de fonctionnement à la partie opérative.
- Le Milieu Humain (M.H) : composé des pupitres de commande et de signalisation, il permet à l'opérateur de commander le système (marche, arrêt, départ cycle ...etc.), Il permet également de visualiser les différents états du système à l'aide de voyants, de terminal de dialogue ou d'interface homme-machine (IHM).

**Figure (III.2)**

## III.2 Structure d'un automate programmable

### III.2.1 Structure externe

Les automates peuvent être de type *compact* ou *modulaire*, mais en règle générale ils sont conçus pour être *modulaires*, notamment le nombre d'entrées/sorties peut être augmenté (dans limite de la capacité de l'API).

#### III.2.1.1 De type compact

On distinguera les modules de programmation (LOGO de Siemens, ZELIO de Schneider, MILLENIUM de Crouzet ...) des microautomates.

Il intègre le processeur, l'alimentation, les entrées et les sorties. Selon les modèles et les fabricants, il pourra réaliser certaines fonctions supplémentaires (comptage rapide, E/S analogiques ...) et recevoir des extensions en nombre limité.

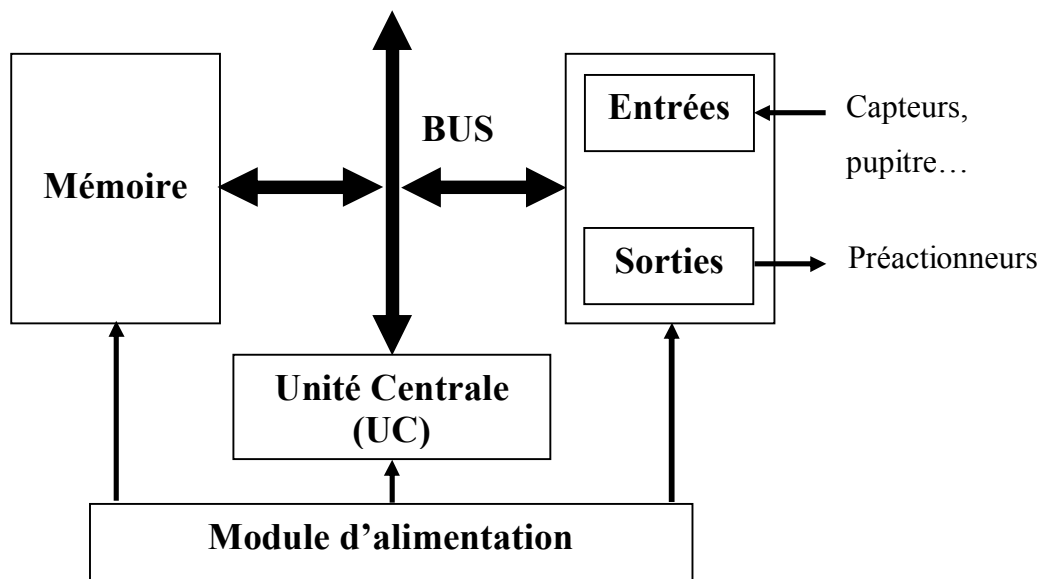
Ces automates, de fonctionnement simple, sont généralement destinés à la commande de petits automatismes.

#### III.2.1.2 De type modulaire

Le processeur, l'alimentation et les interfaces d'entrées / sorties résident dans des unités séparées (modules) et sont fixées sur un ou plusieurs racks contenant le "fond de panier" (bus plus connecteurs).

### III.2.2 Structure interne

La structure interne d'un automate ressemble étrangement à celle d'un micro-ordinateur.



**Figure (III.3)**

- Module d'alimentation : Il assure la distribution d'énergie aux différents modules.
- Unité centrale : elle représente le cœur de la machine et comprend :
  - le ou les microprocesseurs (unité de traitement) : qui assure le contrôle de l'ensemble de la machine et effectue les traitements demandés par les instructions du programme.
  - la mémoire : permet de stocker le système d'exploitation (ROM ou PROM), le programme (EEPROM) et les données système lors du fonctionnement (RAM). Cette dernière est généralement secourue par pile ou batterie. On peut, en règle générale, augmenter la capacité mémoire par adjonction de barrettes mémoires type PCMCIA.
- Le bus interne : il permet la communication de l'ensemble des blocs de l'automate et des éventuelles extensions.
- Interfaces d'entrées / sorties : elles permettent de recevoir les informations du procédé. Ou du pupitre et de mettre en forme (filtrage,...) ce signal (interfaces d'entrées). Aussi, permettent de commander les divers préactionneurs et éléments de signalisation du système automatisé (interfaces de sorties). tout en assurant l'isolement électrique.

### **III.3 Langages de programmation**

#### **III.3.1 Les langages normalisés**

Il existe 4 langages de programmation des automates qui sont normalisés au plan mondial par la norme CEI 61131-3.

Chaque automate se programme via une console de programmation propriétaire ou par un ordinateur équipé du logiciel constructeur spécifique.

##### **III.3.1.1 Liste d'instructions (LIST)**

Langage textuel de même nature que l'assembleur (programmation des microcontrôleurs). Son utilisation est assez répandue par les automaticiens.

##### **III.3.1.2 Langage littéral structuré**

Langage informatique de même nature que le Pascal, il utilise les fonctions comme if ... then ... else ... (si ... alors ... sinon ...). Très peu utilisé par les automaticiens.

##### **III.3.1.3 Langage à contact (CONT)**

Langage graphique développé pour les électriciens. Il utilise les symboles tels que : contacts, relais et blocs fonctionnels et s'organise en réseaux (labels). C'est le plus utilisé par les automaticiens.

##### **III.3.1.4 Langage logigramme (LOG)**

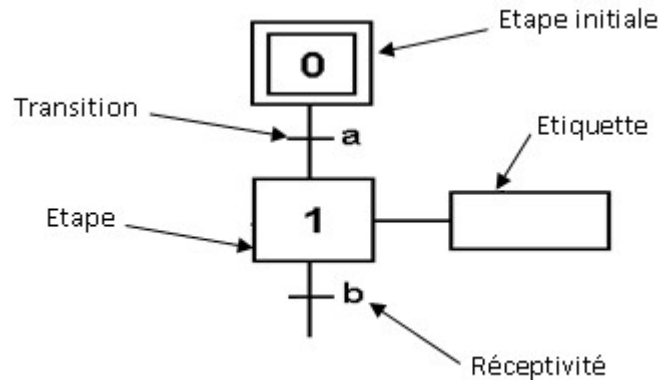
C'est un langage constitué de modules logiques. Chaque sortie porte l'adresse de la variable qu'elle soit interne ou réelle. La programmation est graphique et non littérale. Aussi, très utilisé par les automaticiens.

#### **III.3.2 Le langage GRAFCET (GRAPhe Fonctionnel de Commande Etapes Transitions)**

##### **III.3.2.1 Le Grafcet autant qu'outil de modélisation**

A la base, le Grafcet est un outil de modélisation permettant la description du comportement déterministe de la partie commande d'un système automatisé. Développé par l'AFCET (Association Française pour la Cybernétique Economique et Technique) et l'ADEPA (Agence nationale pour le Développement de la Production Automatisée), il est l'outil le plus répandu pour assurer cette démarche qui précède la programmation.

Il est composé d'étapes associées à un ensemble de conditions (réceptivités). Lorsque ces conditions sont vérifiées, la transition devient active et nous passons à l'étape suivante.



**Figure (III.4)**

Aussi, le Grafcet présente deux niveaux d'élaboration :

- Grafcet niveau I (point de vue Partie Opérative) : il permet de définir le fonctionnement normal de l'installation sous forme littérale.
- Grafcet niveau II (point de vue Partie Commande) : il met en évidence l'aspect technologique de l'installation.

Après avoir élaboré le modèle Grafcet du procédé à automatisé, On le traduit en langage à contacts et on peut l'implanter sur tout type d'automate.

### **III.3.2.2 Le Grafcet autant que langage de programmation**

Il est utilisé par certains constructeurs d'automate (Schneider, Siemens,...) pour la programmation directe.

Souvent associé à un autre langage normalisé, il permet une programmation aisée des systèmes séquentiels tout en facilitant la mise au point des programmes ainsi que le dépannage des systèmes. Certains logiciels permettent une programmation totale en langage GRAFCET et permettent de s'adapter à la plupart des automates existants (logiciels CADEPA ou AUTOMGEN).

## **III.4 Critère de choix d'un automate programmable**

Il revient à l'utilisateur d'établir le cahier des charges de son système, et de regarder sur le marché l'automate le mieux adapté aux besoins, en considérant un certain nombre de critères importants :

- Le nombre d'entrées/sorties et leurs natures ;
- La nature du traitement (temporisation, comptage, etc.) ;
- Le dialogue (la console détermine le langage de programmation) ;
- La communication avec d'autres systèmes ;
- La fiabilité et la robustesse ;
- La documentation (en français ou autres) ;
- La formation...etc.

L'automate choisis pour notre travail est basé sur les points suivants :

- Le nombre d'entrées/sorties : qui est de 52 entrées, 23 sorties de type TOR.
- La nature du traitement : temporisation, comptage...etc.
- Le langage de programmation : permettant l'implantation direct du graphe séquentiel de la station de chargement de chariots pour une meilleure compréhension par l'utilisateur.
- Bloc de régulation intégré (FB41) ou module spécialisé : pour une éventuelle amélioration concernant le nouveau concept d'admission d'air chaud (éviter des investissements supplémentaires).
- La fiabilité et la robustesse : environnement de travail pouvant avoir une plage de température et d'humidité or norme.
- Garantie d'utilisation.
- Formation disponible...etc.

Le SIMATIC **S7-300** du géant SIEMENS (firme Allemande) qui détient plus de 80% du marché national, et offre une garantie d'utilisation dans le monde entier grâce au réseau mondial de SAV SIMATIC dans plus de 190 pays, est de loin l'automate qui convient le mieux pour répondre aux exigences prescrites.

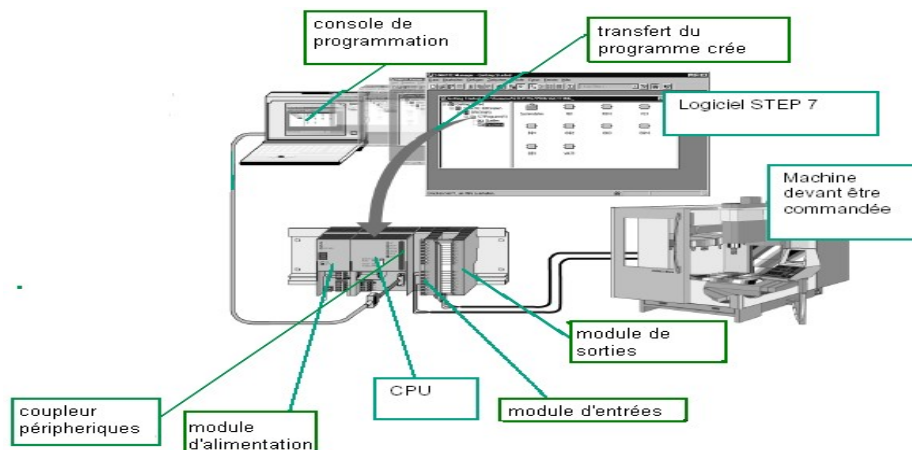
### **III.5 L'Automate Programmable Industriel S7-300**

#### **III.5.1 Présentation globale**

Le SIMATIC S7-300 est un automate modulaire conçu pour des solutions systèmes innovantes, il est caractérisé par :

- Une richesse en gamme de modules extensible jusqu'à 32, à raison de 8 par châssis ;
- En configuration maximum on obtient jusqu'à 1024 entrées/sorties ;
- Large gamme de CPU ;
- Microcarte mémoire (MMC) ;
- Diversité de système de bus (Ethernet, PROFIBUS, MPI...etc.) ;

La figure (III.5) suivante présente l'automate S7-300 dans son environnement matériel.



**Figure (III.5)**

Par sa structure modulaire, l'automate programmable S7-300 est constitué d'un module d'alimentation (PS), d'une unité centrale de traitement (CPU), de coupleurs de périphériques (IM), de module d'entrées TOR : ETOR, et de module de sortie TOR : STOR...etc.

Pour notre travail, les conditions requises sont les suivantes :

- Un PC (qui remplace la console de programmation) ;
  - Logiciel de base STEP7 et logiciel optionnel S7-GRAPH.
  - Liaison MPI vers le système d'automatisation.
  - Logiciel optionnel S7 PLC-Simulation.
- Le système d'automatisation dans notre cas consiste en l'automate S7-300, constitué d'un profilé support, d'une alimentation 24V, d'une CPU 314 (standard) et de modules d'entrées/sorties TOR (deux modules d'entrées 32DI, 16DI ; un module de sorties 16DO ; un module d'entrées/sortie 8DI/8DO).

### III.5.2 Programmation de la commande séquentielle

#### III.5.2.1 Logiciels de programmation

### **1. Présentation du logiciel de base STEP7**

Le logiciel STEP 7 est l'outil de programmation des systèmes d'automatisation :

- SIMATIC S7-300 ;
- SIMATIC S7-400 ;
- SIMATIC Win AC.

Pour l'automatisation d'une installation, STEP 7 offre les fonctions suivantes:

- Configuration et paramétrage du matériel ;
- Paramétrage de la communication ;
- Programmation ;
- Test, mise en service et maintenance ;
- Documentation, archivage ;
- Fonctions de diagnostic et d'exploitation.

### **2. Présentation du logiciel optionnel S7-GRAPH**

Le langage de programmation S7-GRAPH s'ajoute au grand nombre des fonctions de STEP 7. Il permet de programmer graphiquement les commandes séquentielles. Le processus est subdivisé en étapes au nombre de fonctions limité, la séquence est représentée graphiquement et peut être documentée par des vues et des textes.

Les actions à exécuter sont associées aux étapes, tandis que des transitions règlent l'évolution entre deux étapes successives (réceptivités). Pour définir les réceptivités des transitions ainsi que les verrouillages ou les surveillances d'étape, on aura à utiliser un nombre restreint d'éléments du langage de programmation CONT (schéma à contacts) ou LOG (logigramme).

#### **Remarque :**

- La fonction de l'action doit être facilement reconnaissable, ce qui est assuré par des identificateurs de commande.

#### **III.5.2.2 Enoncé technologique du problème**

La tâche consiste à programmer une commande séquentielle pour l'automatisation de la station de chargement de chariots dans le séchoir tunnel (TERRAM-20).

On dispose d'un schéma technologique présentant les éléments de la station figure (III.6), et d'un diagramme fonctionnel décomposant l'opération de chargement.

#### **1. Vue technologique de la station**

Notre station comporte les éléments suivants :

1 :Moteur impulseur n°1/2 :Moteur impulseur n°2/3 :Moteur impulseur n°3/4 :Moteur de la table tournante n°1 (deux sens de rotation)/5 :Moteur de la table tournante n°2 (deux sens de rotation)/6 :Moteur de la porte d'entrée (deux sens de rotation)/ 7 :Moteur de la porte de sortie (deux sens de rotation)/8 :Groupe électropompe transbordeur d'entée (deux sens de rotation pour le moteur)/9 : Groupe électropompe transbordeur de sortie (deux sens de rotation pour le moteur)/10 :vérins d'entrée/11 :vérins de sortie/12 :capteurs de fin de course pour la présence de chariots sur le transbordeur d'entrée/13 : capteurs de fin de course pour la présence de chariots sur le transbordeur de sortie/14 :capteurs de fin de course pour la présence de chariots sur la table tournante n°2/15 :capteurs de fin de course pour la présence de chariots sur la table tournante n°1/16 capteur de fin de course présence et chariots chargé c/17 :capteur de fin de course présence et chariot déchargé vers wagons/18 :capteur magnétique de sortie/19 :capteur magnétique d'entrée/20 :capteurs de fin de course pour chaque voie du séchoir en entrée/21 : capteurs de fin de course pour chaque voie du séchoir en sortie/22 :porte d'entrée/23 :porte de sortie/24 :porte pour opérateur/25 : transbordeur d'entrée/26 : transbordeur de sortie/27 :capteur de fin de course voie de déchargement/28 : chariot.

Ainsi, on peut définir les entrées (capteurs)/sortie (actionneurs) de la station comme suite :

- Entrées : tous les capteurs (magnétique, fin de course) et relais thermiques de protection auxquels on a ajouté deux capteurs optiques (chariots chargé/déchargé).
- Sorties : tous les moteurs, pompes, vérins.

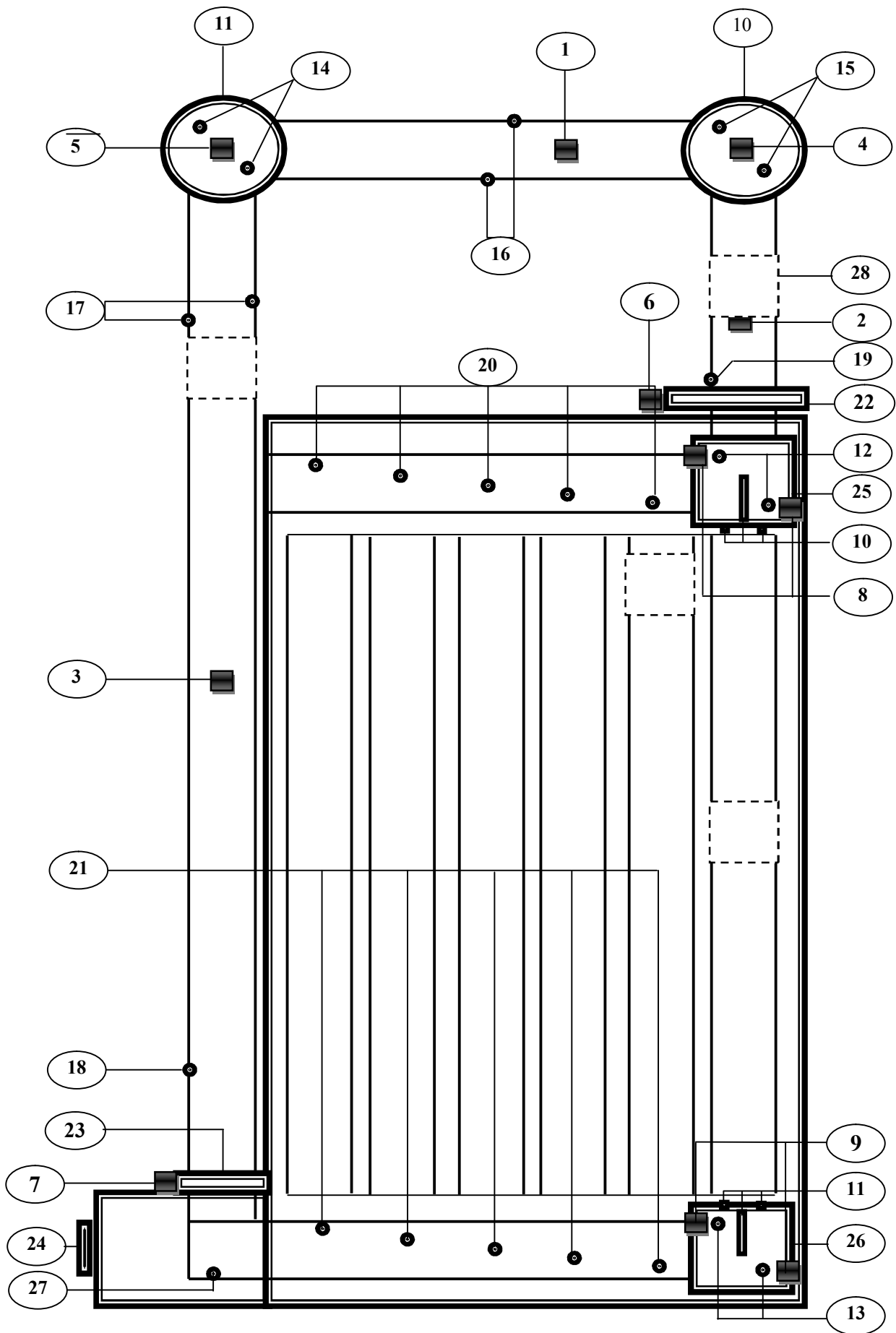
## **2. Etat de la station au repos**

L'état du cycle de chargement des chariots au repos est défini comme suit :

- tous les moteurs et pompes arrêtés ;
- transbordeurs d'entrée et de sortie sur la voie n°1 ;
- il n'y a pas de chariots chargé de produit sur le circuit.

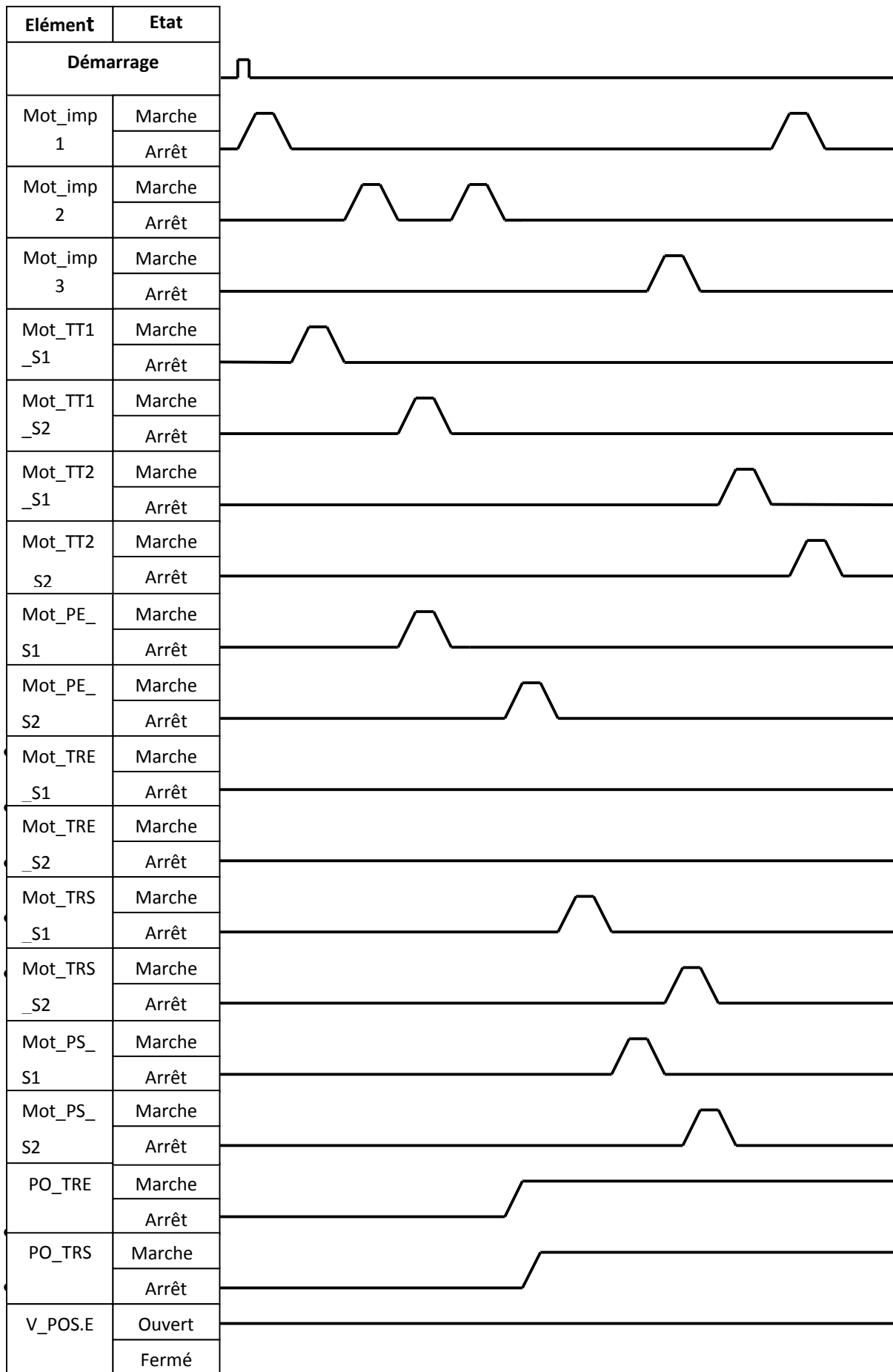
- **Remarque :**

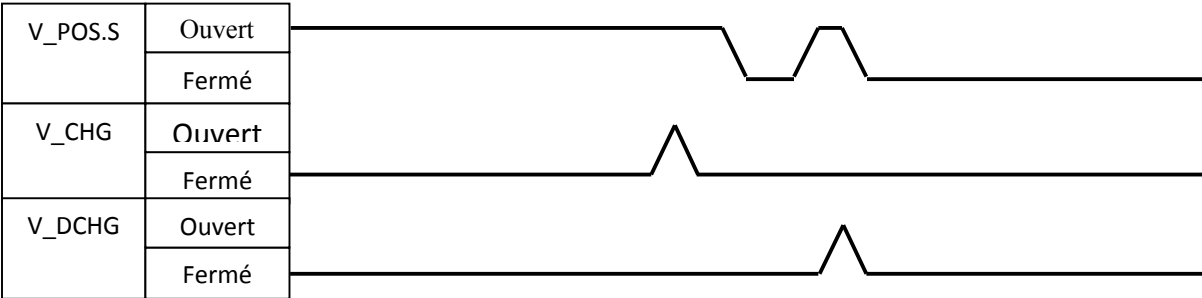
- Avant que le cycle automatique de chargement de chariots dans le séchoir ne commence, l'opérateur doit s'assurer que les vérins de positionnement des transbordeurs d'entrée/sortie soient ouverts.



**Figure (III.6)**

3. Diagramme fonctionnel de l'opération de chargement



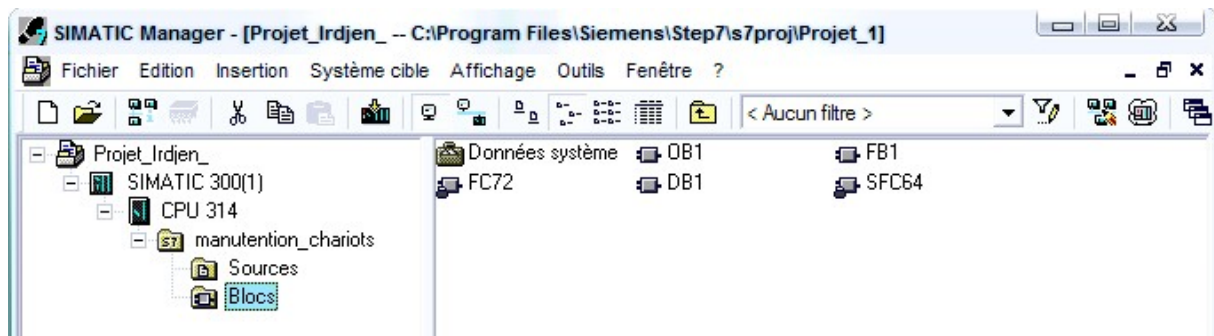


**Figure (III.7)**

### III.5.2.3 Structure du programme développé

Dans STEP 7, les projets concernant des commandes séquentielles ne diffèrent pas des autres.

En effet, la création du "**Projet\_Irdjen\_**" s'est déroulée en obéissant à une hiérarchisation spécifique au logiciel de programmation tel que le montre la figure (III.8) ci-dessous :



**Figure (III.8)**

- **Projet\_Irdjen\_** : nom du projet.
- **SIMATIC 300 (1)** : station d'automatisation choisie.
- **CPU 314** : unité centrale standard choisie dans la configuration matérielle.
- **Manutention\_cahriots** : programme S7 contenant :
  1. **Sources** : contrairement à un FB, il est possible d'enregistrer des graphes séquentiels incomplets et dont la syntaxe n'est pas encore correcte dans une source. Une fois terminé, le graphe séquentiel sans erreurs contenu dans la source S7-GRAPH peut être changé en un FB S7-GRAPH grâce à la fonction "Compiler".
  2. **Blocs** : contient les différents blocs mis à la disposition de l'utilisateur pour l'élaboration de son programme. Dans notre cas, les blocs utilisés sont :
    - **FB1 (Bloc Fonctionnel)** : constitue la partie essentielle de la commande séquentielle.
    - **DB1 (Bloc de Données d'instance)** : à chaque FB correspond un DB d'instance qui représente en quelque sorte la mémoire du FB. C'est dans ce DB que sont mémorisés toutes les données et tous les paramètres dont le FB a besoin pour son exécution. Le DB d'instance peut être généré automatiquement lors de la compilation ou ultérieurement à l'aide d'une commande.
    - **FC72 (fonction)** : L'ensemble du code nécessaire à l'exécution est intégré à chaque FB, dans le cas où l'on utilise plusieurs FB S7-GRAPH, la capacité mémoire requise augmente rapidement. En vue d'optimiser la mémoire, S7-GRAPH offre la possibilité

d'utiliser, pour tous les FB, une FC standard (FC72) contenant la partie principale du code, et elle est copiée automatiquement dans notre projet.

- SFC 64 (fonction système) : permet la surveillance du temps système.
  - OB1 (Bloc d'organisation) : Le programme de la commande séquentielle pour la "Manutention\_cahriots" est appelé dans le bloc d'organisation OB1 ou est paramétrée l'initialisation du graphe. il constitue la liaison entre le système d'exploitation de la CPU et le programme utilisateur. On peut créer l'OB1 en différents langages : CONT, LOG, LIST ou SCL (dans notre travail, l'OB1 est créer en CONT).
3. Table des mnémoniques : elle permet une appellation symbolique en plus du nom absolu attribué à chaque opérandes, pour faciliter à l'utilisateur de se retrouver facilement dans le cas d'un nombre d'entrées/sorties élevé.

### **III.5.2.4 Graphe séquentielle (Manutention\_cahriots)**

#### **1. Création du Graphe**

Après le démarrage de l'éditeur S7-GRAPH par double clic sur le bloc FB1, le logiciel insère aussitôt la première étape (étape initiale) et la première transition. On crée la structure en mode de représentation "Graphe". Pour afficher les conditions et les actions, on active la commande **Affichage > Afficher avec > Conditions et actions**.

On place à l'aide de la souris et de la barre d'outils "Graphe" située sur le côté gauche de l'écran les autres **étapes** et **transitions**, la **branche OU**, la **branche ET** et le **saut** de la fin du graphe à son début. (Voir la figure (III.10)).

#### **Remarque :**

- Si la barre d'outils ne répond pas, il faut la déverrouiller à partir de l'icône "déverrouillage"

#### **2. Programmation des actions d'étapes et de transitions**

##### **2.1 Programmation des actions associées aux étapes**

Soit en utilisant la barre d'outils ou se trouve toutes les icônes nécessaire à l'évolution du graphe (y compris l'affectation des actions), soit en utilisant la commande **Insertion > Action**.

- **Résultat** : le pointeur de la souris prend une forme spécifique.

Désormais, on peut cliquer sur une étape pour insérer une action vide dans un premier temps.

Une action se compose d'une opération et d'un opérande. Le programme de manutention chariots nécessite 5 opérations différentes dans les actions (signes identificateurs de commande conventionnés):

- S Mise à 1 d'une sortie ;
- R Mise à 0 d'une sortie ;
- N (Non holding) : L'opérande est à 1 tant que l'étape est active ;
- S1 CU (Compteur Up ; incrémenté) : à chaque activation de l'étape associée, le compteur est incrémenté ;
- S1 CR : (Compteur Reset) : remettre le compteur a 0 à chaque fois que l'étape est active.

**Remarque :**

- une étape peut contenir plusieurs action, et leurs déroulement se produit suivant leurs position du haut vers le bas.

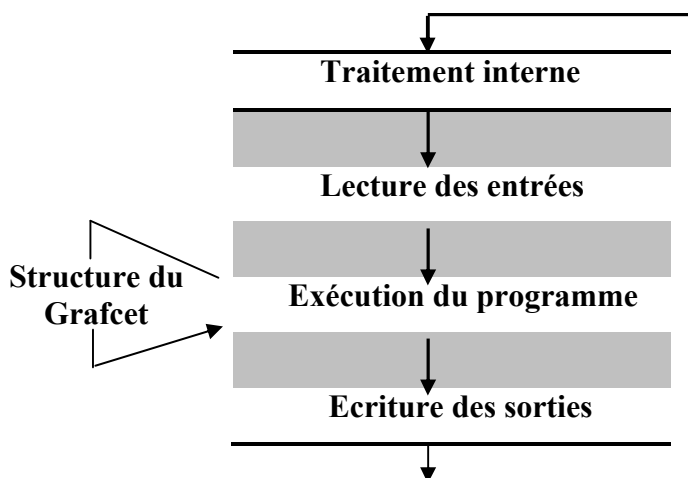
**2.2 Programmation des transitions**

Les réceptivités (conditions de franchissement) des transitions sont exprimées au moyen des opérations sur bits "Contact à fermeture", "Contact à ouverture" et "Comparateur". Pour programmer des transitions, le bloc S7-GRAPH met à la disposition de l'utilisateur tous les éléments nécessaires à la barre d'outils.

Notons que parmi toutes les informations disponibles à un instant donné. La réceptivité regroupe uniquement celles qui sont nécessaire au franchissement de la transition.

Cette proposition logique est fonction d'informations externes (entrées) ou internes (états de compteurs, de temporisateurs...).

**3. Traitement du programme par l'automate**



**Figure (III.9)**

Le Grafcet fixe un déroulement logique du programme, il est structuré de la manière suivante :

1. Traitement préliminaire : il permet de gérer les événements ayant une incidence directe sur les sécurités et mode de marche du système.
2. Traitement séquentiel : il permet de définir d'une part la structure séquentielle de l'application et d'autre part son interprétation (définition des réceptivités associées aux transitions)
3. Traitement postérieur : il permet de définir des actions associées ou non à des étapes.

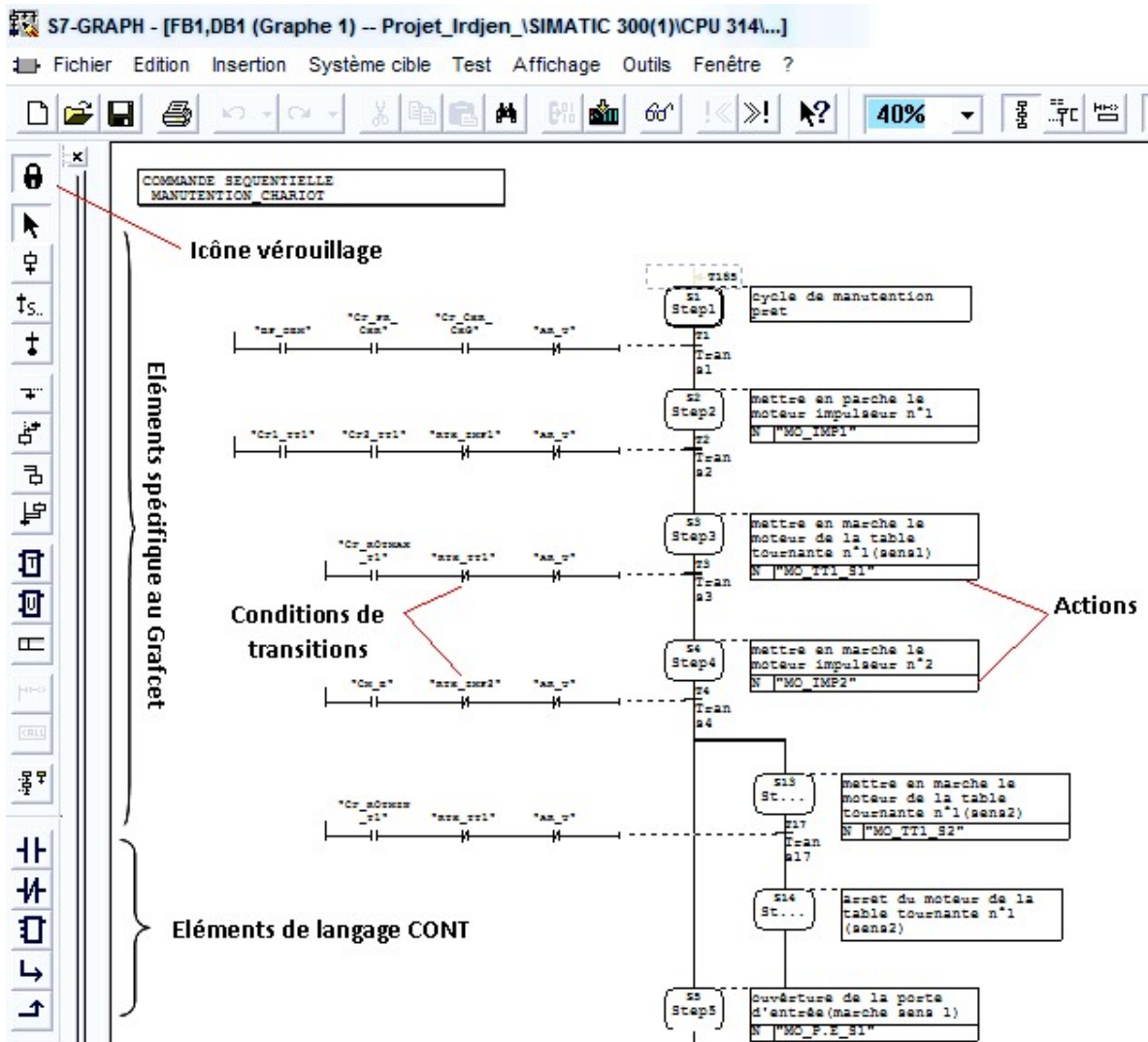


Figure (III.10)

4. Le Grafcet de la station ; partie commande (PO) :

Dans la figure qui suit, on a la structure de graphe du point de vue partie commande (PO). Dans le BLOC S7-GRAPH, la commande **Affichage > commentaire > action et transition** nous donne le Grafcet de la station partie opérative (PO), (voir Annexe).

### **III.5.3 Simulation et validation du Programme avec S7-PLCSIM**

Après l'élaboration du programme de la station de chargement des chariots, la dernière étape consiste en la validation de notre programme par simulation. Pour cela nous utiliserons le logiciel de simulation **S7 PLCSIM** qui est un logiciel optionnel de **STEP 7**.

#### **III.5.3.1 Présentation du S7 PLCSIM**

L'application de simulation de modules S7-PLCSIM nous permet d'exécuter et de tester notre programme dans un automate programmable que nous simulerons dans notre ordinateur avant son implantation dans un automate réel. Ainsi, la simulation étant complètement réalisée au sein du logiciel STEP 7, il n'est pas nécessaire qu'une liaison soit établie avec un matériel S7 quelconque (CPU ou module de signaux). Une démarche très importante car elle peut éviter des dégâts matériels et humains pouvant être causés par des erreurs dans le programme auxquelles on peut y remédier étant donné qu'on est en programme test. S7-PLCSIM dispose d'une interface simple nous permettant de visualiser et de forcer les différents paramètres utilisés par le programme (comme, par exemple, d'activer ou de désactiver des entrées).

#### **III.5.3.2 Chargement du programme dans la CPU et test du graphe séquentiel**

Après avoir ouvert et configuré le simulateur au nombre de modules d'entrées/sorties, aux compteurs, et à l'affectation de la table des mnémoniques, on peut charger ce dernier par la commande **Système cible > Charger**.

Pour tester le programme, une liaison en ligne à la CPU est indispensable.

Dans le bloc du graphe séquentiel (FB1), on choisit la commande **Test > Visualiser** ;

**Résultat** : un état du graphe s'affiche (étape n°1 active) ; les étapes actives sont en couleurs. (Voir figure III.11).

#### **III.5.3.3 Extraits simulés du graphe séquentiel Mantention\_Chariots**

##### **1. L'étape initiale du graphe séquentiel**

Dans l'étape initiale, le cycle de chargement de chariot est prêt, et les conditions de passage à l'étape suivante sont conditionnées par l'activation des transitions tel que :

1. E0.0 : Bouton poussoir de démarrage ;
2. E0.2 : Capteur de proximité (optique) détectant si le chariot est chargé ;

3. E0.5 : capteur de proximité (inductif) détectant la présence de chariot sur le circuit.

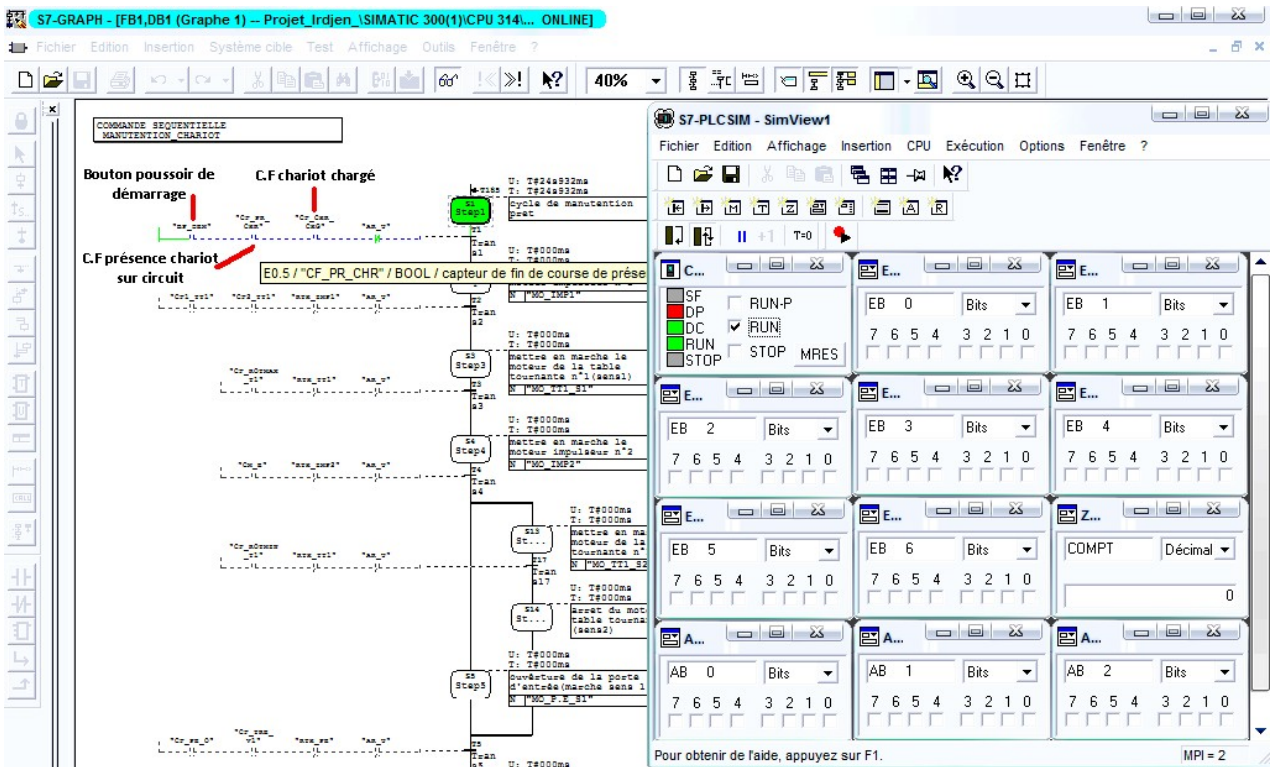


Figure (III.12)

2. Rôle du compteur Z0

Dans le cycle de chargement, le premier chariot doit être rangé dans la première voie du séchoir, le second arrivant doit être rangé dans la deuxième voie...l'opération se poursuit jusqu'à la sixième voie. Le prochain chariot sera rangé dans la première voie, et le cycle recommence.

Pour assurer ce déroulement du cycle, on a choisis de mettre un compteur à l'étape de fermeture de la porte d'entrée. Il s'incrémente jusqu'à atteindre 6 (correspondant à six fermetures de la porte d'entrée ; donc on est dans la voie n°6). Une étape se déroulant dans la branche n°6 du graphe séquentiel est affectée par une action interne (S1 CR), elle permet la remise à zéro du compteur, et donc la réinitialisation du cycle de chargement.

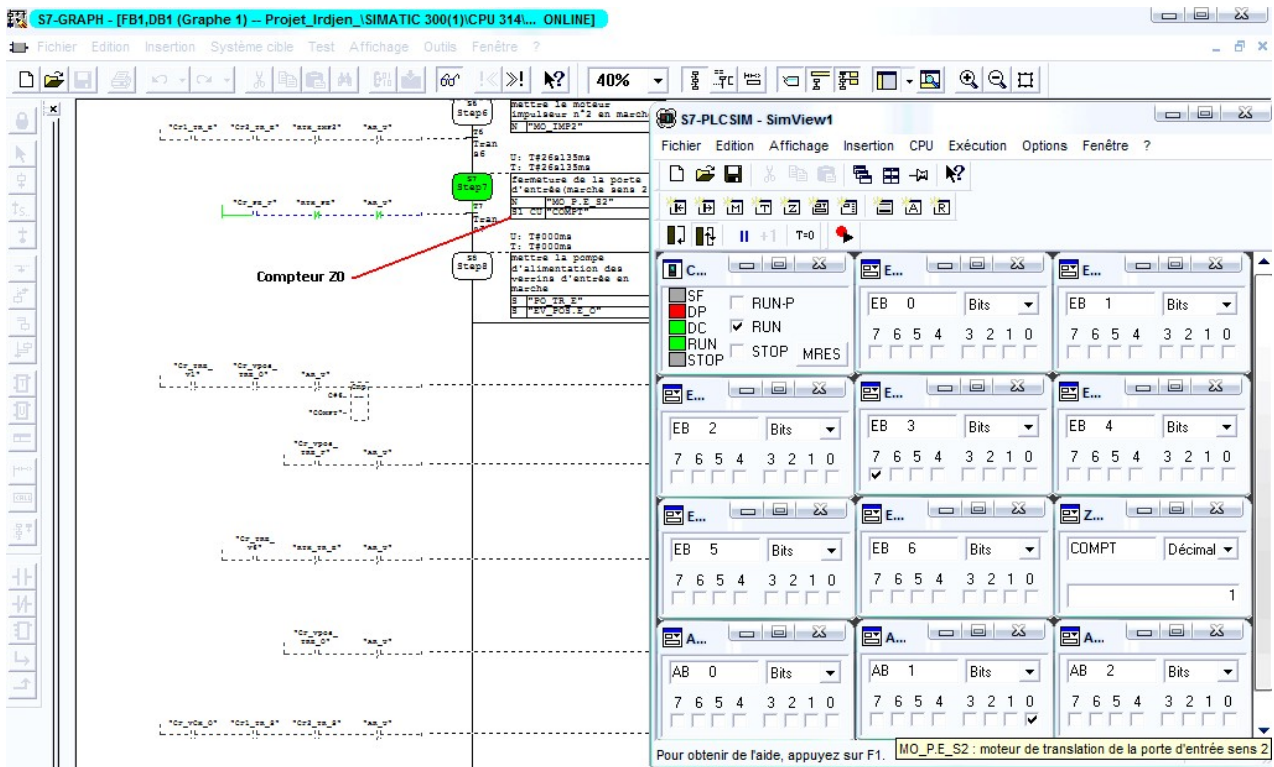


Figure (III.12)

#### IV. Conclusion

Le langage graphique S7-GRAPH nous a permis non seulement de définir le comportement du système à automatiser, mais aussi de l'implanter directement comme commande sans passer par la transcription d'équation logiques du Grafcet.

Par sa puissance et sa simplicité d'utilisation, le S7-GRAPH est sans doute, l'outil qui révolus le monde des automaticiens. A partir de connaissance des actions à entreprendre, associées à des variables de sorties, et des événements qui peuvent permettre le passage d'une situation à une autre, associés à des variables d'entrée de la station de chargement, on a pu aisément programmer une commande séquentiel sur le S7-300.

Aussi, le choix de l'automate utilisé apporte plusieurs avantages parmi lesquels on peut citer : la flexibilité, la facilité d'extension de ses modules et la possibilité de visualisation et validation du programme établie à partir de STEP 7/S7-GRAPH avant son implantation dans l'automate grâce à son logiciel de simulation S7-PLCSIM.

L'élaboration d'un programme par le langage GRAFCET, simplifie la gestion du programme et le test du programme peut être exécuté étape par étape facilitant ainsi la mise en service et la compréhension du programme établie.

## CONCLUSION GENERALE

Notre objectif visait à améliorer la qualité du produit en sortie dans un contexte d'automate programmable. Nous pensions au départ que cela reviendrait seulement à déterminer un correcteur pour agir de façon automatique sur les surfaces d'échange thermique et l'implanter sur un automate programmable.

Nos essais et observation sur le séchoir, on toute fois fait apparaitre des phénomènes non négligeables comme l'influence de la cadence d'entrée des chariots.

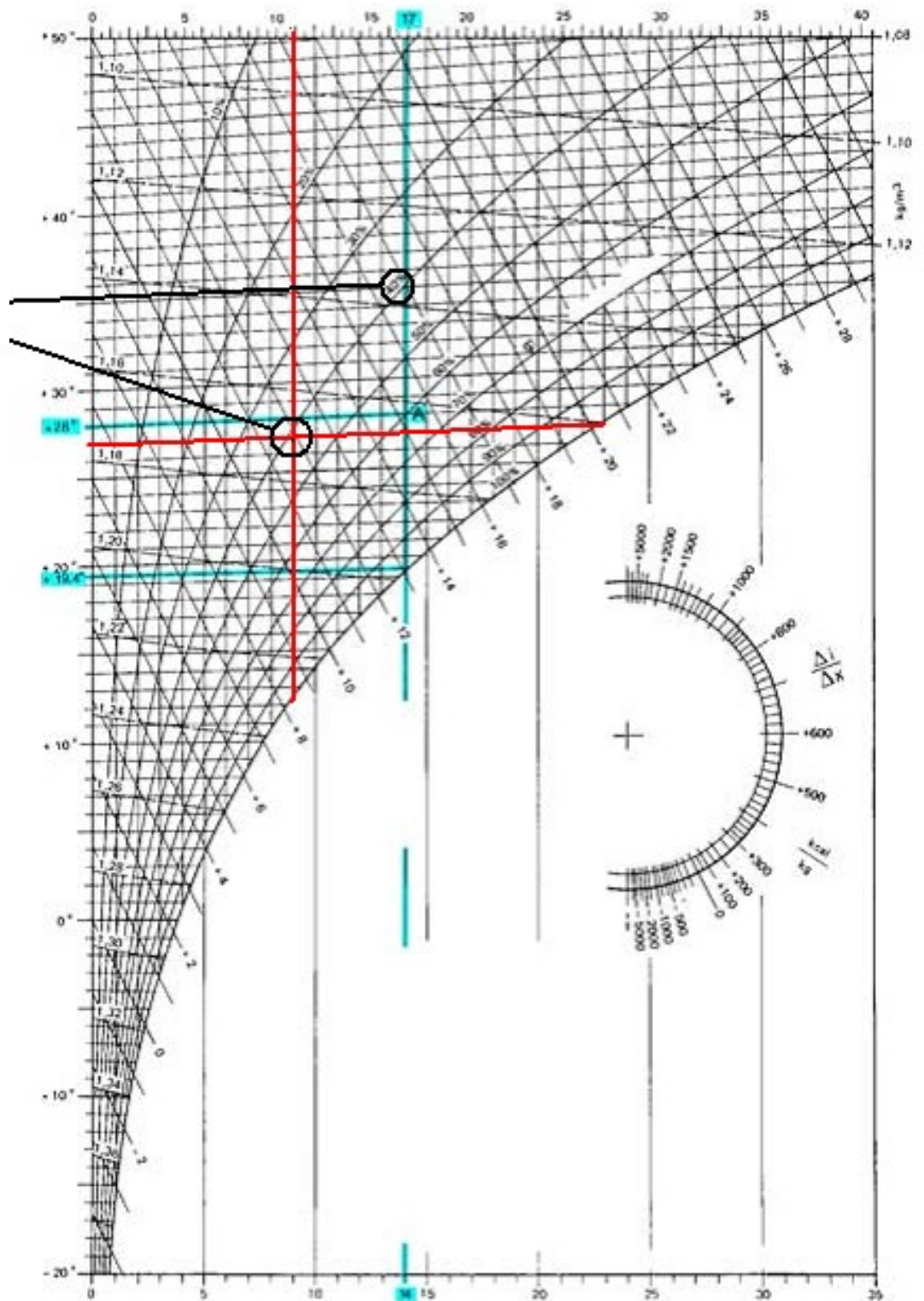
Alors la solution d'automatisation élaborée a pour but de maintenir le cycle de séchage dans l'inter val de temps prédéfini. Le cycle de séchage respecté, on aura un tau d'humidité acceptable.

L'utilisation du S7-300 dont l'implantation aura pour but de réguler la cadence de chargement de chariots, mais aussi d'éventuelles extensions possibles des fonctionnalités de l'unité d'Irdjen. En effet, afin d'avoir un rendement optimal, il faut penser à la réalisation du nouveau concept d'admission d'air chaud qui peut être totalement pris en charge par le S7-300 vu ces caractéristiques d'extension et d'adaptation lui permettent de commander un grand nombre de machines.

La découverte du monde industriel fut très enrichissante tout au long de ce stage. Cependant l'inconvénient rencontré fut le manque flagrant d'instrumentations, et de documentation industrielle solide et compréhensible. Hors-mis ces inconvénients, au travers de cette étude nous avons pus renforcer et mettre en pratique les connaissances théoriques acquises tout au long de notre cycle d'étude.

Notre souhait est que notre travail puisse être exploité lors de la réalisation pratique de ce projet, aussi, qu'il soit pris comme manuel de référence pour d'autres projets à venir.

L'intersection  
indique 40 %  
d'humidité relative



# BIBLIOGRAPHIE

- **Dans les techniques de l'ingénieur**

-**B. SCHNEIDR et A.BERET**, *Automatisation Industrielle*. Yverdon-les-Bains, le 26 avril 2006.

-**M. BLANCHARD**, *Comprendre, Maîtriser et appliquer le GRAFCET*. CEPADUES Editions, Toulouse, 1979.

-**P. JACQUARD et S. SANDRE**, *Automates programmables industriels, comprendre, installer et gérer*. Edition PYC, Mai 1993.

-**B. André**, *Transmission de la chaleur, généralité, la conduction, deuxième édition*.

- **Liens**

SIEMENS: [www.siemens.com/simatic-controller](http://www.siemens.com/simatic-controller)

[www.siemens.com/simatic-docu](http://www.siemens.com/simatic-docu)

- **Documentations techniques**

-Documentation Briqueterie Irdjen, *séchage et cuisson, volume 1*.

-Documentation SIEMENS, *Process Automation*, Brochure novembre 2006.