



**LICENCE SCIENCES ET TECHNIQUES**  
**Génie Electrique**

**RAPPORT DE FIN D'ETUDES**

**Intitulé :**

**Automatisation d'un système de  
Chauffage**

**Réalisé Par :**

**Hamdoune Khalil**

**Encadré par :**

**Pr Echatoui Nor-Said (FST FES)**

**Mr Toukiane Abdelmajid (MONDELEZ BIMO)**

**Mr Najem Nourredine (MONDELEZ BIMO)**

**Soutenu le 04-07-2022 devant le jury**

**Pr Echatoui Nor-Said (FST FES)**

**Pr Elbasset Abdelhalim (FST FES)**

# Avant-Propos

Dans le cadre de notre formation licence sciences et technique en Génie Electrique, les étudiants sont amenés à réaliser un stage d'une durée de deux mois.

L'objectif du stage :

- Etablir un premier contact avec le monde de l'entreprise et découvrir ses composantes.
- Prendre conscience des applications professionnelles de ses connaissances théoriques.
- Permettre à l'étudiant d'acquérir et d'approfondir ces compétences dans le domaine électrique en situation réelle de travail.

Pour cela nous avons eu l'occasion de préparer notre projet sur le sujet **Automatisation d'un système de chauffage** proposé par la société **MONDELEZ Bimo** Casablanca.

# Remerciement

En premier lieu, je remercie le bon **Dieu**, tout puissant, de m'avoir donné la force pour arriver à ce jour tant attendu.

Je remercie ma petite famille, ma mère et mon père pour leur soutiens moral et financiers ainsi pour leur encouragement.

En second lieu, je tiens à remercier Pr. Nor-Said Echatoui, mon encadrant du projet et tout le bord du département du Génie Electrique de la faculté des science et technique Fès pour son aide, ses conseils, et d'avoir partagé leurs connaissances avec nous.

Ainsi que la société **MONDELEZ Bimo** qui m'a permis de passer ce stage, et je présente mes vifs remerciements à Mr. Abdemajid Toukiane responsable de maintenance électrique, sans oublier Mr. Nourredine Najem et Mr. Elmostafa Ait Brahim qui n'ont épargné aucun moyen pour m'aider.

**Merci** à tous ce qui m'ont aidé de près ou de loin....

# Résumé

Au cours de ce stage nous avons pu atteindre notre objectif de mettre en pratique nos connaissances techniques, et comme résultat, nous avons pu rédiger ce rapport qui présente l'ensemble des travaux effectués au sein de la société **MONDELEZ Bimo** Casablanca.

Notre stage a duré deux mois au sein de l'atelier électrique de l'usine **MONDELEZ Bimo**. Le sujet qui nous a été proposé est l'**Automatisation d'un Système de Chauffage** par l'automate programmable **Siemens S7-300**.

# Sommaire

|                    |     |
|--------------------|-----|
| AVANT-PROPOS ..... | I   |
| REMERCIEMENT ..... | II  |
| RESUME .....       | III |

|  |     |
|--|-----|
| SOMMAIRE .....                           | IV  |
| LISTE DES TABLEAUX, FIGURES .....        | VI  |
| LISTE DES EQUATIONS ET ABREVIATIONS..... | VII |

|                            |   |
|----------------------------|---|
| INTRODUCTION GENERAL ..... | 1 |
|----------------------------|---|

## CHAPITRE I : REPRESENTATION D'ENTREPRISE

|   |   |
|---|---|
| 1. MONDELEZ INTERNATIONAL : .....                           | 2 |
| 1.1. PRESENTATION : .....                                   | 2 |
| 1.2. Branches d'activités de Mondelez International : ..... | 2 |
| 2. MONDELEZ BIMO CASABLANCA : .....                         | 3 |
| 2.1. Historique : .....                                     | 3 |
| 2.2. Identification : .....                                 | 4 |
| 2.3. Classification de produit : .....                      | 5 |
| 2.4. Organigramme : .....                                   | 5 |

## CHAPITRE II : ETUDE ET AMELIORATION DU SYSTEME DE CHAUFFAGE

|  |   |
|--|---|
| 1. CAHIER DE CHARGE : .....                      | 6 |
| 1.1. INTRODUCTION : .....                        | 6 |
| 1.2. Description de la zone de chauffage : ..... | 7 |
| 2. PROBLEMATIQUE.....                            | 8 |
| 3. SOLUTION : .....                              | 9 |

## CHAPITRE III : AUTOMATISATION DU SYSTEME DE CHAUFFAGE

|  |    |
|--|----|
| 1. FONCTIONNEMENT DE PROGRAMME : .....       | 11 |
| 2. GRAFCET : .....                           | 11 |
| 2.1. GRAFCET : .....                         | 11 |
| 2.2. Simulation en GRAFCET Studio : .....    | 12 |
| 3. PROGRAMME LADDER : .....                  | 13 |
| 3.1. DEFINITION : .....                      | 13 |
| 3.2. Présentation d'automate S7-300 : .....  | 13 |
| 3.3. Les entrées, sorties d'automate : ..... | 14 |
| 3.4. Tableau mnémorique : .....              | 14 |
| 3.5. LADDER : .....                          | 14 |

## CHAPITRE IV : ETUDE D'INST.BT POUR REALISATION D'ARMOIRE

|   |    |
|---|----|
| 1. INTRODUCTION : .....                                 | 16 |
| 2. RESEAU ELECTRIQUE : .....                            | 16 |
| 3. BILAN DE PUISSANCE : .....                           | 16 |
| 4. TRANSFORMATEUR DU RESEAU : .....                     | 18 |
| 5. CHOIX DU DISJONCTEURS : .....                        | 19 |
| 5.1. Disjoncteur de Protection Q0 : .....               | 19 |
| 5.2. Disjoncteur du récepteurs (Q1, Q2, Q3, Q4) : ..... | 19 |
| 6. DIMENSIONNEMENT DU CABLE : .....                     | 19 |
| 7. CHUTE DE TENSION : .....                             | 21 |

|                          |    |
|--------------------------|----|
| CONCLUSION GENERAL ..... | 23 |
|--------------------------|----|

|                 |      |
|-----------------|------|
| REFERENCES..... | VIII |
| ANNEXE1.....    | IX   |
| ANNEXE2.....    | X    |

# Liste des tableaux, figures

## Tableaux :

|  |    |
|--|----|
| Tableau1 : Identification du Mondelez Bimo Casablanca .....                  | 4  |
| Tableau2 : Produit réaliser par Mondelez .....                               | 5  |
| Tableau3 : les matériels utiliser dans le nouveau système de chauffage ..... | 9  |
| Tableau4 : Tableau Mnémonique GRAFCET Studio .....                           | 13 |
| Tableau5 : les entrées et les sorties d'automate.....                        | 14 |
| Tableau6 : Tableau Mnémonique SIMATIC Manager step7 .....                    | 14 |
| Tableau7 : Bilan de puissance des composants utilisée .....                  | 17 |
| Tableau8 : Bilan de calcul de la puissance appelée par le réseau.....        | 18 |
| Tableau9 : Caractéristique du Transformateur.....                            | 18 |
| Tableau10 : Tableau de calcul de chute tension.....                          | 21 |
| Tableau11 : Tableau de calcul de la résistance et de la réactance .....      | 21 |
| Tableau12 : Tableau de la lettre de Sélection .....                          | x  |
| Tableau13 : Tableau du facteur de Correction K1 .....                        | x  |
| Tableau14 : Tableau du facteur de Correction K2 .....                        | x  |
| Tableau15 : Tableau du facteur de Correction K3 .....                        | xi |
| Tableau16 : Tableau du Section du câble .....                                | xi |

## Figures :

|   |    |
|---|----|
| Figure1 : branches d'activités de MONDELEZ.....   | 2  |
| Figure2 : Les marques emblématiques de MONDELEZ.....  | 2  |
| Figure3 : Organigramme Mondelez Bimo Casablanca .....   | 5  |
| Figure4 : Cuve double paroi .....   | 6  |
| Figure5 : Schéma du système chauffage à la base des résistances .....                             | 7  |
| Figure6 : Schéma de la procédure du système de chauffage .....                                    | 8  |
| Figure7 : Schéma de la nouvelle procédure du système de chauffage.....                            | 9  |
| Figure8 : Schéma du nouveau système chauffage à la base des résistances et la vapeur chaude ..... | 10 |
| Figure9 : GRAFCET.....  | 11 |
| Figure10 : Simulation en GRAFCET Studio .....   | 12 |
| Figure11 : Automate Siemens S7-300 .....  | 13 |
| Figure12 : Programme LADDER .....   | 15 |
| Figure13 : Schéma unifilaire du réseau électrique .....   | 16 |
| Figure14 : Etape de détermination de la section du câble .....                                    | 19 |
| Figure15 : Bouton Tournant .....  | ix |
| Figure16 : Relais de Niveau .....   | ix |
| Figure17 : Sonde type « j ».....  | ix |
| Figure18 : Thermostat .....   | ix |
| Figure19 : Pressostat.....  | ix |

# Liste des équations et abréviations

## Equations :

Equation1 : Puissance Active {2}

Equation2 : Puissance Apparente {2}

Equation3 : Puissance Apparente {2}

Equation4 : Puissance Appelée par un Réseau [13]-[14]

Equation5 : Facteur de Correction {2}

Equation6 : Courant Admissible {2}

Equation7 : Courant Corrigé {2}

Equation8 : Chute de Tension {2}

Equation9 : Chute de Tension en % {2}

Equation10 : Résistance {2}

Equation11 : Réactance {2}

Equation12 : Facteur de Puissance {2}

## Abréviations :

- °C : Degrée Celsius
- A : Ampère
- BCC : Biscuiterie, Chocolaterie, Confiserie
- CNSS : Caisse National de Sécurité Social
- Dyn11 : Couplage Triangle-Etoile avec Neutre et Indice Horaire = 11
- HACCP : Hazard Analysis Critical Control Point
- Inst. BT : INSTALLATION Basse Tension
- ISO : International Organization for Standardization
- KA : Kilo Ampère
- KV : Kilo Volt
- KVA : Kilo Volt-Ampère
- KW : Kilo Watt
- mm<sup>2</sup> : Millimètre<sup>2</sup>
- MPI : Multi Point Interface
- ONA : Omnium Nord-Africain
- PIB : Produit Intérieur Brut
- V : Volt

## Introduction Générale

Le secteur agroalimentaire est au cœur de l'économie marocaine et c'est un des moteurs de la croissance du pays, représentant 8% du PIB national du Maroc et 25% du PIB industriel. [1]

Le chiffre d'affaires est de 161 milliards de dirhams, avec une valeur annuelle est 39 milliards de dirhams. Cette méga-industrie ne compte pas moins de 2 100 entreprises avec 161 671 salariés et représente 15% des exportations industrielles. [2]

L'industrie agro-alimentaire comprend plusieurs industries telles que : l'industrie laitière, la transformation des fruits et légumes, l'industrie des pâtes et couscous, BCC...

Selon une étude du groupe Sunergia, 62% de ce dernier au Maroc est dominé par deux sociétés, **MONDELEZ** (EX Bimo – Kraft Foods) et Excelo, avec un chiffre d'affaires de 2,7 milliards de dirham en 2018. [3]

Avec une part de marché de 33%, **MONDELEZ** fait partie du top 10 des marques marocaines en 2021, qui se compose de sept marques **MONDELEZ**. Parmi eux, il y a trois modèles les mieux classés, à savoir : Tagger, Bimo et Tonic, et Oreo se classe cinquième. [3]

La plupart des biscuits contiennent une part du chocolat ou du crème, qui se conserve dans des cuves, cependant le problème est qu'il faut garder ces cuves sous une haute température.

Dans ce contexte, le service électrique nous a confié un projet intitulé **l'Automatisation d'un Système de Chauffage** par l'automate programmable S7-300.

Notre projet est scindé en quatre chapitres :

- Le premier chapitre est réservé à la représentation d'entreprise.
- Le deuxième chapitre présente une description complète de la problématique et la solution proposée qui répond au cahier de charge.
- Le troisième chapitre est consacré à l'élaboration d'un programme qui répond au cahier de charge.
- Le dernière chapitre reste pour l'étude de l'installation BT.

## 1. Mondelez International :

### 1.1. Présentation :

**MONDELEZ International** est une multinationale agroalimentaire américaine, notamment dans le domaine de la biscuiterie et de la chocolaterie, implantée dans de nombreux pays à travers le monde. C'est la deuxième actrice mondiale de l'industrie agroalimentaire en termes de chiffre d'affaires. [4]

En 2012, il a changé son nom pour son nom actuel suite à la fermeture de ses opérations nord-américaines et fait maintenant partie d'une société distincte, Kraft Foods Group. [4]

**MONDELEZ International** vend ses produits dans 165 pays et possède des installations de fabrication et de transformation dans 58 pays. [4]

### 1.2. Branches d'activités de Mondelez International :

La société **MONDELEZ** a plusieurs activités « voir figure 1 » avec des marques qu'il produit « voir figure 2 ».



Figure1 : branches d'activités de MONDELEZ {3}



Figure2 : Les marques emblématiques de MONDELEZ {3}

## 2. Mondelez Bimo Casablanca :

### 2.1. Historique :

Depuis sa création à Ain Sebaâ en 1981 par Monsieur Driss Meskini, le mot BIMO est devenu synonyme de biscuits pour des millions de marocains. Avec ses lignes de production avancées et ses spécialistes, BIMO conquiert le marché et est en mesure d'offrir à ces consommateurs une grande variété de produits (biscuits, gaufrettes, génoises, etc.). {3}

En 1994, BIMO élargit sa base de production en construisant une nouvelle usine BIMO II à Ain Sebaâ pour consolider sa position de leader en augmentant sa capacité de production et sa part de marché (50% de part de marché). {3}

En septembre 1999, BIMO a été racheté par l'ONA et KRAFT Group. L'acquisition transforme le statut de l'entreprise d'une entreprise familiale à une entreprise multinationale, ce qui permettra aux activités de BIMO de se développer à l'échelle internationale. {3}

En 2000, BIMO a accru ses investissements dans la qualité en implantant le HACCP et en lançant le programme de certification ISO 9001 2000, une approche visant à faire face à la concurrence nationale et internationale tout en répondant aux exigences de plus en plus exigeantes des consommateurs. {3}

Le 3 juillet 2007, Kraft Foods rachète les biscuits de Danone avec 5,3 milliards d'euros, donnant à la multinationale américaine une participation jusqu'à 50 % dans BIMO avec ONA. {3}

En septembre 2012, le groupe américaines Kraft Foods a acquis les actions de la Société Nationale d'Investissement et il est devenu l'unique actionnaire de BIMO. {3}

Depuis 2012, BIMO est détenue à 100% par le groupe américain **MODELEZ INTERNATIONAL**. {3}

## 2.2. Identification :

Le profil général de la société **MONDELEZ** est présentée dans le tableau suivant :

|                               |   |
|-------------------------------|---|
| <b>LOGO</b>                   |               |
| <b>La Norme ISO</b>           | ISO9001 et ISO2200  |
| <b>Chiffre d'Affaires</b>     | 100 à 500 Millions de Dirham  |
| <b>Part de Marche</b>         | 33%   |
| <b>Date de Création</b>       | 1981  |
| <b>Numéro CNSS</b>            | 1214125   |
| <b>Production</b>             | Biscuits, Gaufrettes, Gênoises  |
| <b>Capacite de Production</b> | 28 à 40 Tonnes/an   |
| <b>Effectif</b>               | 1431 Personnes  |
| <b>Domaine d'Activités</b>    | Agroalimentaire   |
| <b>Nombre de Cadres</b>       | 49  |
| <b>Nombre des Ouvrier</b>     | 715   |
| <b>Personne Intérimaires</b>  | 177   |
| <b>Adresse</b>                | Bd. Chefchaouni R <sup>e</sup> rue E, route 110 Quartier Industriel Ain Sebaâ, Casablanca-Maroc |
| <b>Siege Social</b>           | Twin center   |
| <b>Téléphone</b>              | 05 22 34 53 01  |
| <b>FAX</b>                    | 05 22 35 45 80  |

Tableau1 : Identification du Mondelez Bimo Casablanca {3}

### 2.3. Classification de produit :

La société **MONDELEZ** réalise plusieurs produits présentés par le tableau suivant :

| Gamme     | Type                    | Produit                          |
|-----------|-------------------------|----------------------------------|
| Biscuit   | Biscuit Sec             | Golden                           |
|           | Biscuit Enrobé          | Okey                             |
|           | Biscuit Sandwich        | Oreo, Tango                      |
| Gaufrette | Gaufrette Sèche         | Tonic                            |
|           | Gaufrette Enrobée       | Tonic Crispy Choc, Tagger        |
| Génoise   | Génoise Fourrée Enrobée | Merendina Classique, Big M, Mini |
|           | Génoise Alcoolisée      | Napolitain                       |

Tableau2 : Produit réaliser par Mondelez

### 2.4. Organigramme :

Le schéma suivant représente l'organigramme d'entreprise :

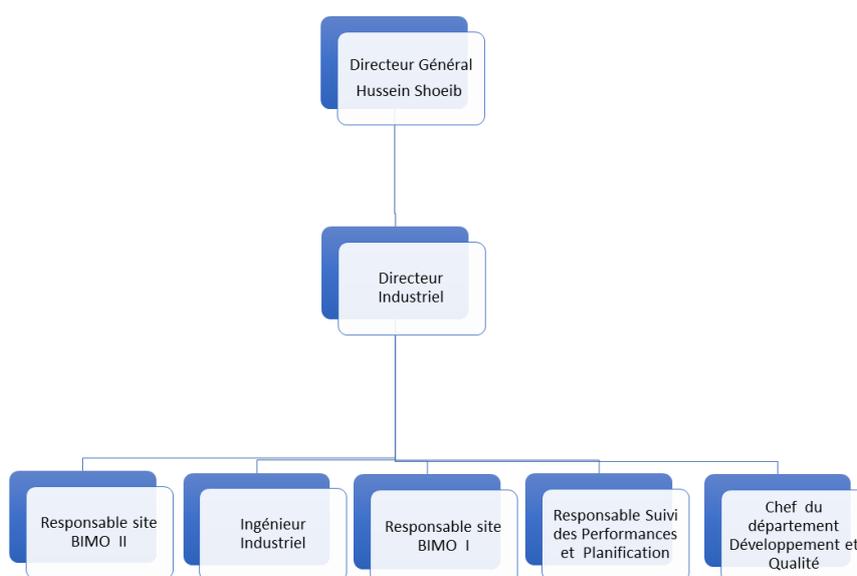


Figure3 : Organigramme Mondelez Bimo Casablanca {3}

## 1. Cahier de Charge :

### 1.1. Introduction :

Les cuves double Parois « voir figure 4 » contiennent de la crème, du chocolat ou du miel..., pour les conserver en haute température on doit chauffer ces cuves avec de l'eau chaude.

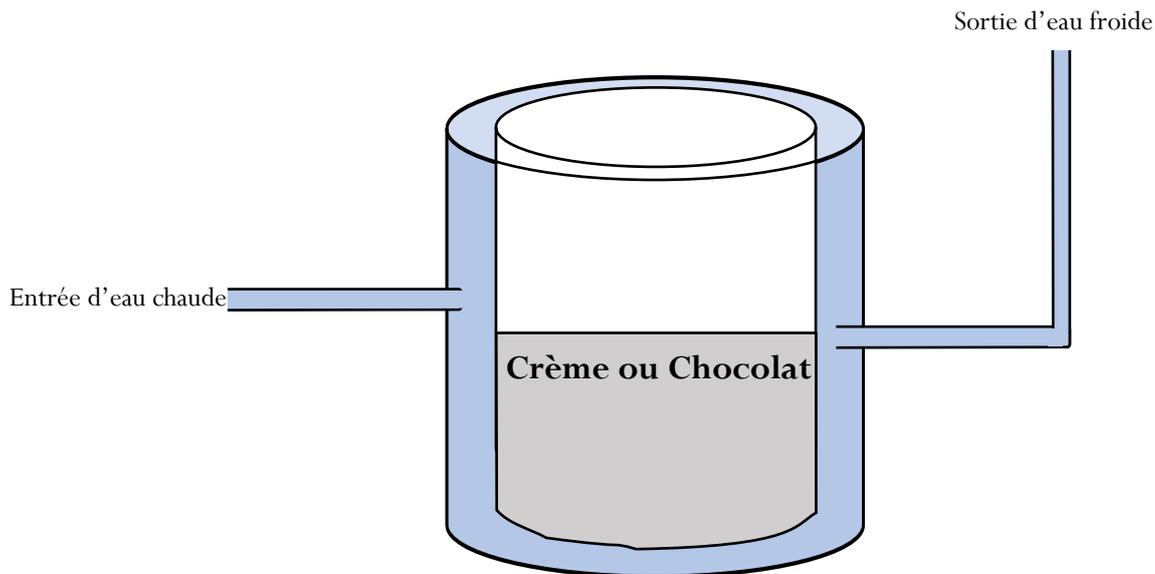


Figure4 : Cuve double paroi

C'est pour cela qu'on utilise le système de chauffage avec des résistances.

Le service électrique de **Mondelez** nous a alors confié un sujet intitulé :  
**Automatisation d'un système de chauffage** avec l'automate Siemens S7-300

## 1.2. Description de la zone de chauffage :

L'eau est captée dans une citerne, à partir celle-ci, elle est pompée vers les cuves.

La figure ci-dessus présente le système au lequel la société travaille :

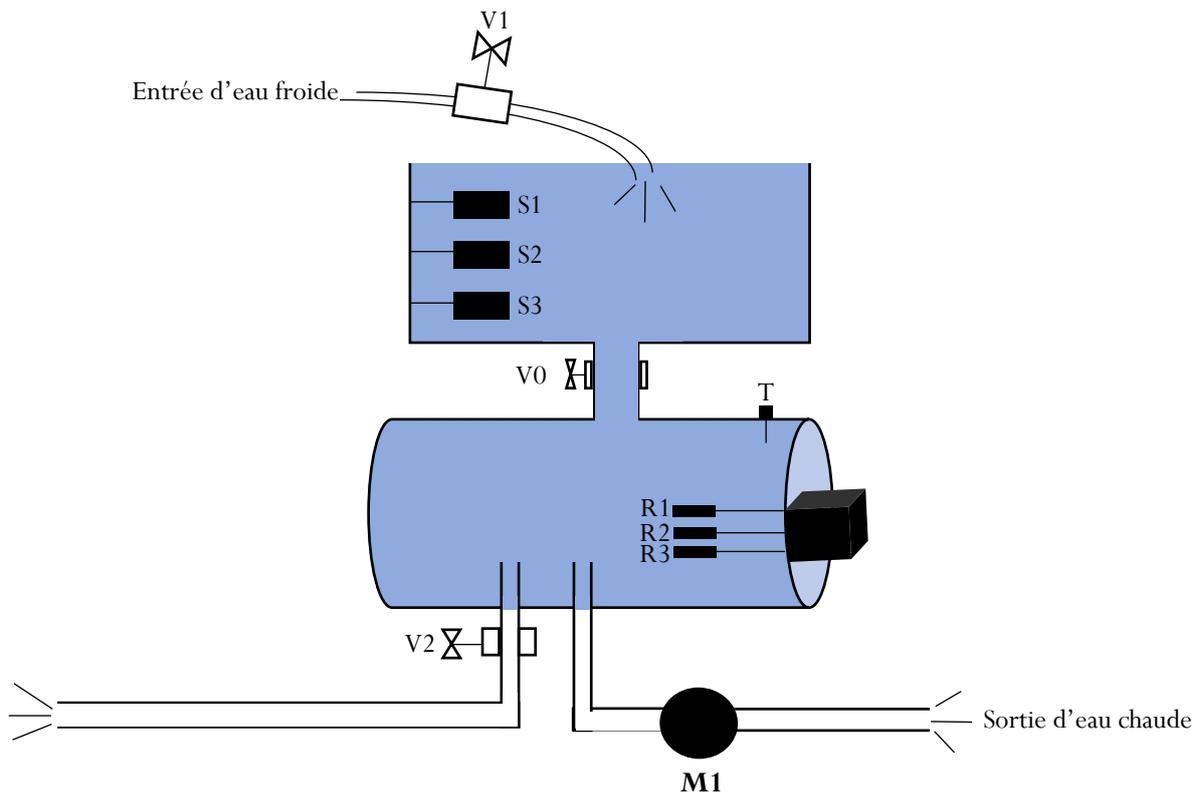


Figure5 : Schéma du système chauffage à la base des résistances

- Si la température de l'eau est moins de 50°C, on ouvre la vanne pour remplir la citerne d'eau pour atteindre le niveau haut (S1), puis les résistances marchent pour faire chauffer de l'eau.
- Si l'eau est au moins captée par le niveau milieu (S2) avec une température plus de 50°C, la pompe est mise en marche pour transférer l'eau vers les cuves.

➤ Liste d'abréviations :

- R1, R2, R3 : Résistances de Chauffage
- S1, S2, S3 : Relais de Niveau
- T : Thermorégulateur
- M1 : Moteur Pompe
- V0, V1, V2 : Manuel Vanne

## 2. Problématique :

Le système existant est basé sur une procédure effectuée manuellement par un opérateur humain.

- L'opérateur humain contrôle la procédure du début à la fin, il surveille le niveau d'eau puis il décide ou non d'ouvrir la vanne pour remplir la citerne jusqu'au niveau haut de la citerne, après il regarde la température affichée sur le thermorégulateur, s'il trouve la valeur souhaitée, il démarre la pompe, sinon il lance le chauffage par les résistances.

La figure ci-dessus présente la démarche du système de chauffage réalisé par la société :



Figure6 : Schéma de la procédure du système de chauffage

- L'utilisation de résistances pour le chauffage a plusieurs inconvénients :
  - 3 Résistances consomment beaucoup d'énergie (Chaque Resistance consomme 2,4 KW/h).
  - On doit de temps en temps les remplacer.

### 3. Solution :

Afin de pallier aux problèmes observés dans le système et dans l'objectif de faciliter les opérations aux employés de la société, le service électrique de **Mondelez** a proposé les solutions suivantes :

- Chauffer de l'eau avec une vapeur chaude causé par la présence de cette vapeur depuis une chaudière qui fonctionne la plupart du temps.
- Automatiser le système de chauffage afin de le commander à distance pour augmenter la sécurité et faciliter les tâches des agents.

La figure ci-dessus présente la démarche proposée pour résoudre le problème de se baser sur un operateur humain :



Figure7 : Schéma de la nouvelle procédure du système de chauffage

➤ **Les Méthodes utilisées pour chauffer l'eau :**

- Chauffage par des résistances.
- Chauffage par la vapeur chaude.

➤ Liste des Matériels utiliser « voir tableau 3 » :

| Matériel               | Nombre de matériel | Marque                    | Reference |
|------------------------|--------------------|---------------------------|-----------|
| Resistance [8]         | 3                  | Bulex                     | 3241727   |
| Moteur Pompe           | 2                  | Lowara                    | 104604831 |
| Électrovanne           | 3                  | FG Line Type « C3 »       | 3EN03     |
| Thermorégulateur* [10] | 1                  | Automatcis TOS Type « j » | B4RJ3C    |
| Pressostat* [9]        | 1                  | Fantini Cosmi             | B12CN     |
| Relais de Niveau* [11] | 1                  | Fantini Cosmi             | FAN02002  |
| Capteur de Niveau [12] | 1                  | OMEGA                     | LVN-90    |

Tableau3 : les matériels utiliser dans le nouveau système de chauffage

Pour plus de détails sur les composants étoilés " Voir ANNEXE1 "

- Le schéma ci-dessus explique le fonctionnement d'une installation du système de chauffage en utilisant ces deux méthodes :

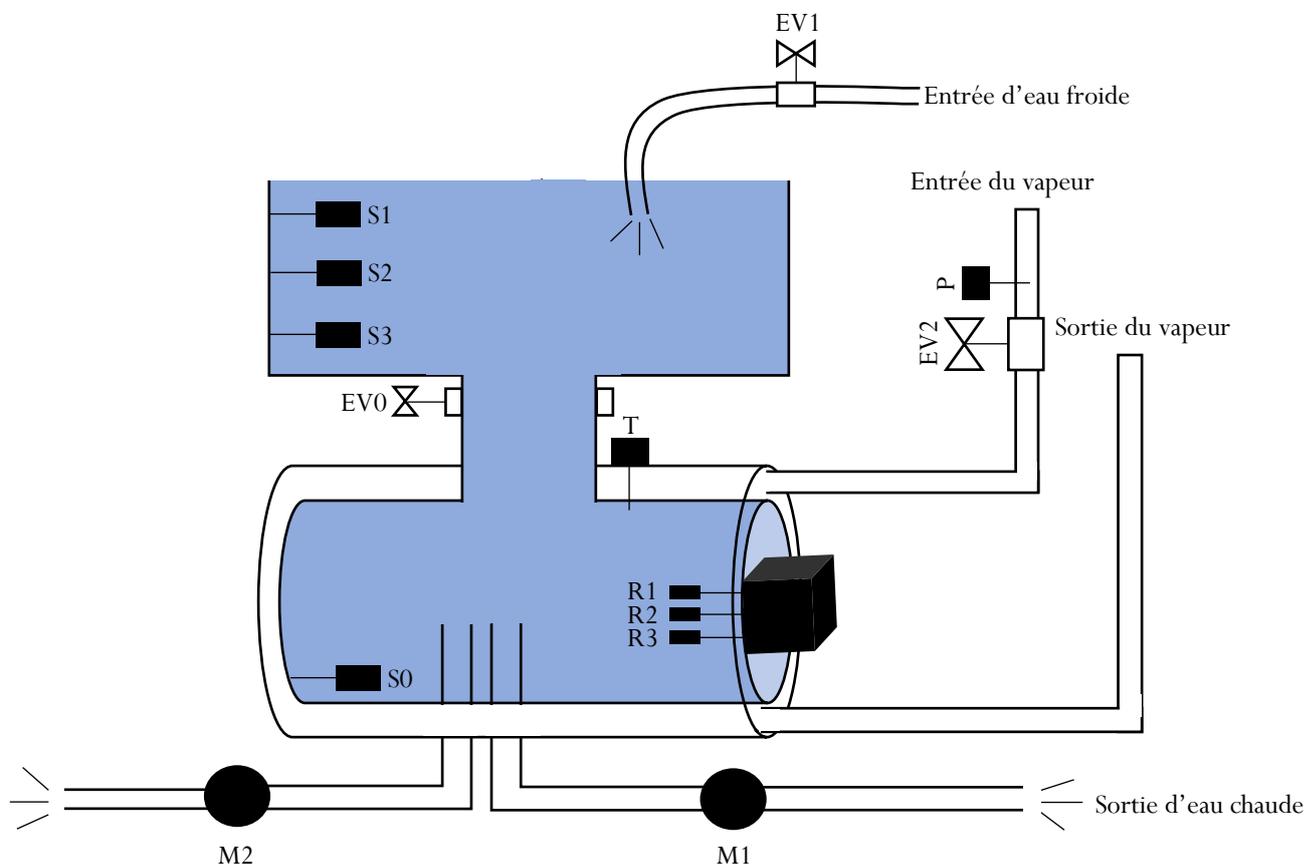


Figure8 : Schéma du nouveau système chauffage à la base des résistances et la vapeur chaude

➤ Liste d'abréviations :

- R1, R2, R3 : Résistance de Chauffage
- S1, S2, S3 : Relais de Niveau
- S0 : Capteur de Niveau d'eau
- T : Thermorégulateur
- P : Pressostat
- M1, M2 : Moteur Pompe
- Ev0, EV1, Ev2 : Electrovanne



## 2.2. Simulation en GRAFCET Studio :

Pour simuler notre solution proposée sur le langage GRAFCET nous avons utilisé logiciel GRAFCET Studio « **voire figure 10** », nous avons abrégée notre états et transitions dans le tableau mnémonique du logiciel GRAFCET Studio « **voire figure 11** ». {1}

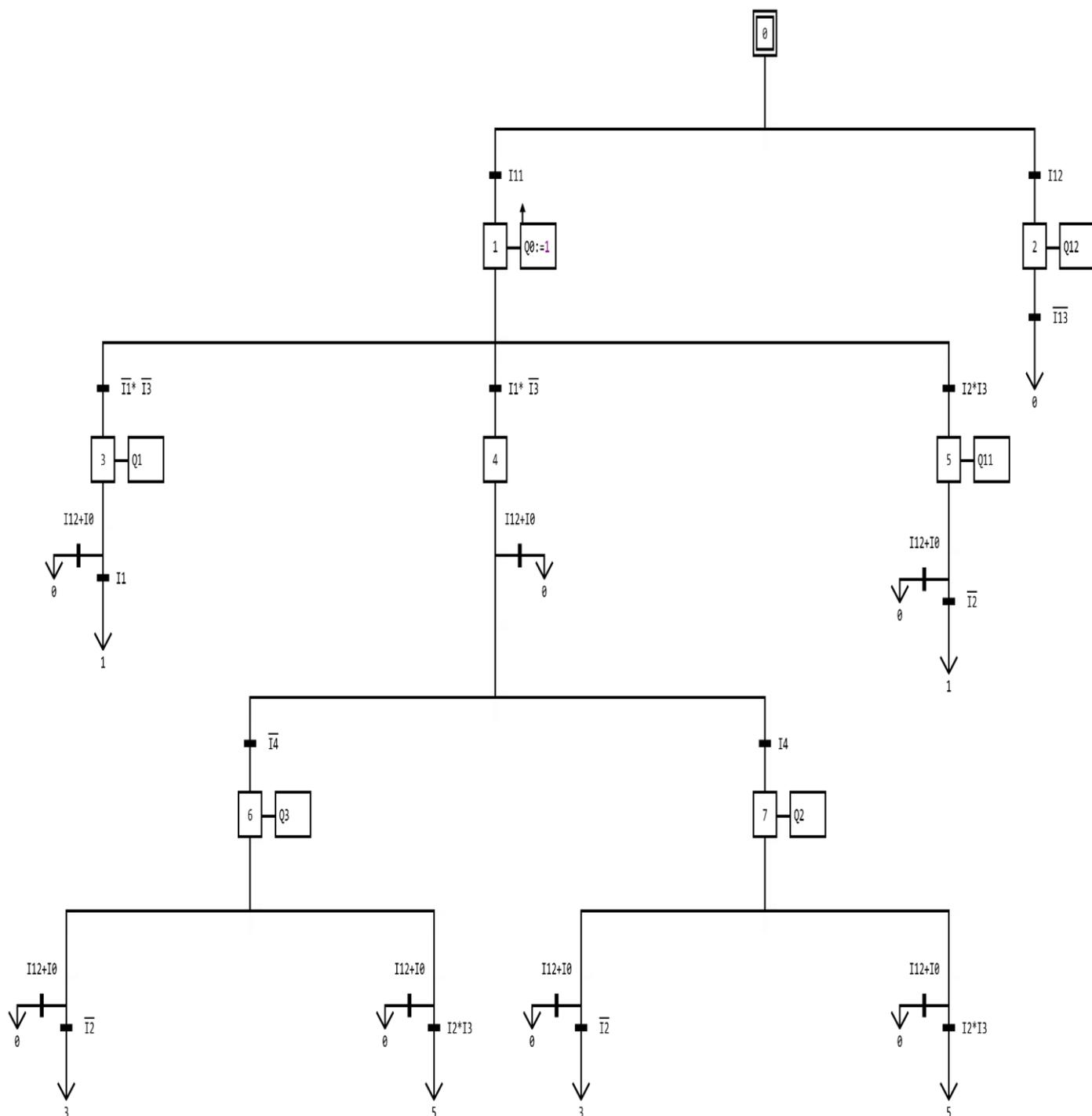


Figure10 : Simulation en GRAFCET Studio

| Symboles            |            |      |         |             |         |            |                             |         |  |
|---------------------|------------|------|---------|-------------|---------|------------|-----------------------------|---------|--|
| Filtre              |            |      |         |             |         |            |                             |         |  |
| Insertion X Effacer |            |      |         |             |         |            |                             |         |  |
|                     | Groupe :   | Type | Symbole | Commentaire | Adresse | Adresse DB | Drapeaux                    | Utilisé |  |
|                     | Capteur    | BOOL | I0      |             | I0.0    | D0.0       | Bouton Tournant=0           | 14      |  |
|                     | Capteur    | BOOL | I1      |             | I0.1    | D0.1       | Niveau Haut S1              | 4       |  |
|                     | Capteur    | BOOL | I2      |             | I0.2    | D0.2       | Niveau Milieu S2            | 14      |  |
|                     | Capteur    | BOOL | I3      |             | I0.3    | D0.3       | Contacteur Thermoregulateur | 10      |  |
|                     | Sensor     | BOOL | I4      |             | I0.4    | D0.4       | Contacteur Pressostat       | 4       |  |
|                     | Capteur    | BOOL | I11     |             | I0.5    | D0.5       | Bouton Tournant=1           | 2       |  |
|                     | Capteur    | BOOL | I12     |             | I0.6    | D0.6       | Bouton Tournant=2           | 14      |  |
|                     | Sensor     | BOOL | I13     |             | I0.7    | D0.7       | Capteur de Niveau           | 2       |  |
|                     | Actionneur | BOOL | Q0      |             | Q0.0    | D25.0      | Electrovanne 0              | 12      |  |
|                     | Actionneur | BOOL | Q1      |             | Q0.1    | D25.1      | Electrovanne 1              | 2       |  |
|                     | Actionneur | BOOL | Q2      |             | Q0.2    | D25.2      | Electrovanne 2              | 2       |  |
|                     | Actuator   | BOOL | Q3      |             | Q0.3    | D25.3      | Resistances                 | 2       |  |
|                     | Actuator   | BOOL | Q11     |             | Q0.4    | D25.4      | Moteur Pompe 1              | 2       |  |
|                     | Actuator   | BOOL | Q12     |             | Q0.5    | D25.5      | Moteur Pompe 2              | 2       |  |

Tableau4 : Tableau Mnémorique GRAFCET Studio

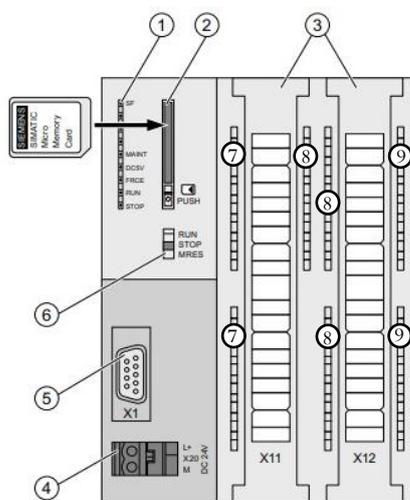
### 3. Programme LADDER :

#### 3.1. Définition :

Ladder Diagram (LD) ou Langage Ladder Diagram ou Ladder Diagram est un langage graphique très populaire pour les ingénieurs en automatisation pour programmer des automates programmables. Il ressemble un peu à un schéma électrique et il est facile à comprendre. Ladder est un mot anglais pour schéma à contacts. [5]

#### 3.2. Présentation d'automate S7-300 :

La figure ci-dessus présente l'automate Siemens S7-300 :



- 1 : Indications des erreurs et d'états
- 2 : Entrée du SIMATIC carte mémoire
- 3 : Bornes des entrées et sorties intégrées
- 4 : Connexion d'alimentation
- 5 : Interface X1(MPI)
- 6 : Mode sélectionner
- 7 : Analogies Input/Output
- 8 : Digital Input
- 9 : Digital Output

Figure11 : Automate Siemens S7-300 [6]-[7]

### 3.3. Les entrées, sorties d'automate :

Avant de réaliser notre solution sous le langage LADDER on doit poser notre entrées et sorties « voir tableau 5 ».

| Les Entrées   | Les Sorties  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Boutant Tournant</li> <li>• Capteur de Niveau</li> <li>• Pressostat</li> <li>• Relais de Niveau</li> <li>• Thermorégulateur</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 3 Electrovanes</li> <li>• 2 Moteurs Pompe</li> <li>• 3 Résistances</li> </ul> |

Tableau5 : les entrées et les sorties d'automate

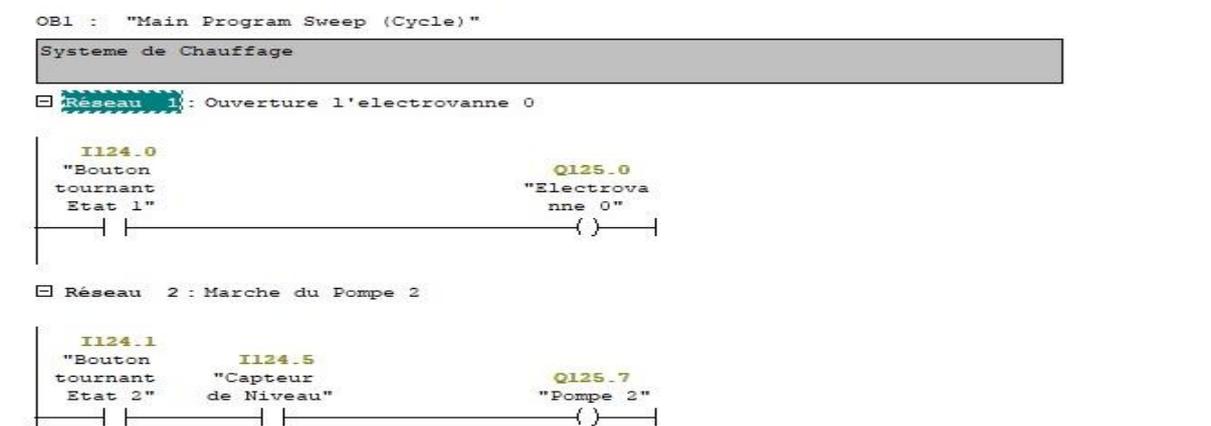
### 3.4. Tableau mnémonique : « voir Tableau 6 » [15]

| Etat | Mnémonique              | Opérande / | Type de donn | Commentaire  |
|------|-------------------------|------------|--------------|--|
| 1    | Bouton tournant Etat 1* | I 124.0    | BOOL         | Bouton Tournant deux directions                                    |
| 2    | Bouton tournant Etat 2* | I 124.1    | BOOL         | Bouton Tournant deux directions                                    |
| 3    | Relais de Niveau*       | I 124.2    | BOOL         | "NO" se ferme loqrsqu'il atteint le Niveau Haut                    |
| 4    | Pressostat*             | I 124.3    | BOOL         | "NO" se ferme loqrsqu'il atteint le Niveau declarer du Pression    |
| 5    | Thermoregulateur*       | I 124.4    | BOOL         | "NO" se ferme loqrsqu'il atteint le Niveau declarer du Temperature |
| 6    | Capteur de Niveau       | I 124.5    | BOOL         | "NO" se ferme loqrsqu'il est en contact avec l'eau                 |
| 7    | Systeme de Chauffage    | OB 1       | OB 1         |  |
| 8    | Electrovanne 0          | Q 125.0    | BOOL         | S'ouvre pour passer l'eau a chauffé                                |
| 9    | Electrovanne 1          | Q 125.1    | BOOL         | S'ouvre pour remplir la citerne par l'eau                          |
| 10   | Electrovanne 2          | Q 125.2    | BOOL         | S'ouvre pour cahuffer l'eau par le vapeur chaud                    |
| 11   | Resistance 1            | Q 125.3    | BOOL         | Est mise en marche pour chauffer l'eau                             |
| 12   | Resistance 2            | Q 125.4    | BOOL         | Est mise en marche pour chauffer l'eau                             |
| 13   | Resistance 3            | Q 125.5    | BOOL         | Est mise en marche pour chauffer l'eau                             |
| 14   | Pompe 1                 | Q 125.6    | BOOL         | Est mise en marche lorsque l'eau est chauffé                       |
| 15   | Pompe 2                 | Q 125.7    | BOOL         | Est mise en marche pour rejeter l'eau                              |

Tableau6 : Tableau Mnémonique SIMATIC Manager step7

Pour plus de détails sur les composants étoilées " Voir ANNEXE1 ".

### 3.5. LADDER : « voir figure 12 » {1}-[15]

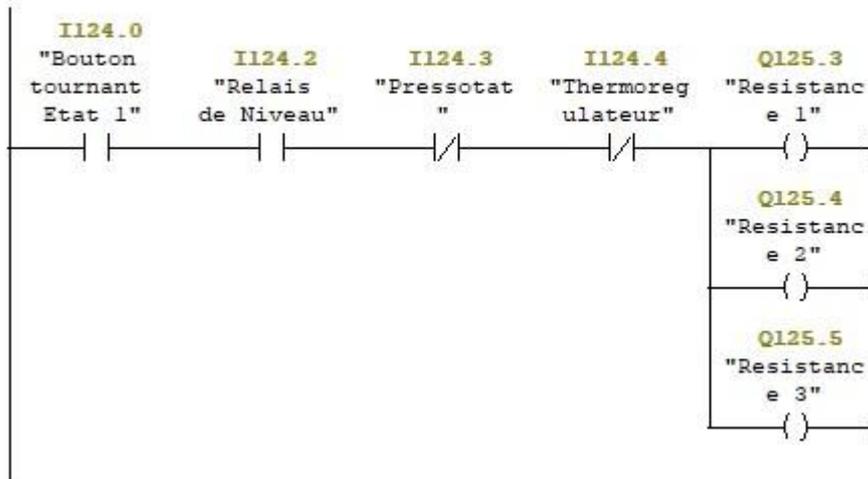


## Automatisation du système de chauffage

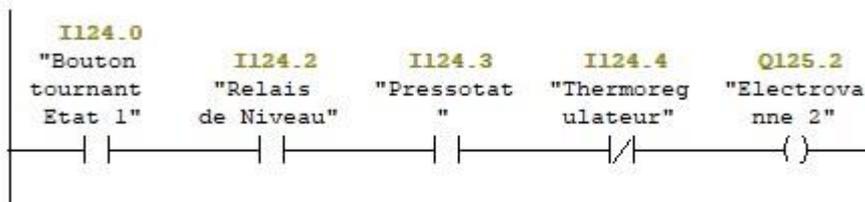
☐ Réseau 3 : Ouverture l'electrovanne 1



☐ Réseau 4 : Demarrage du chauffage par les Resistances



☐ Réseau 5 : Demarrage du chauffage par le Vapeur Chaude



☐ Réseau 6 : Demarrage du Pompe 1



Figure12 : Programme LADDER

## 1. Introduction :

Distributeur d'électricité délivre à l'industrie une haute tension (plus de 1kV) selon le besoin de chaque société, c'est pour ça l'entreprise doit installer un transformateur pour transférer cette tension a une basse tension selon le besoin.

Pour cela on a fait une étude pour l'installation basse tension, où on doit choisir le bon transformateur depuis la puissance appelée par le réseau étudié, et pour tout installation basse tension doit avoir une étude sur les disjoncteurs qu'on doit utiliser et le dimensionnement du câble.

## 2. Réseau Electrique : « voir figure 13 »

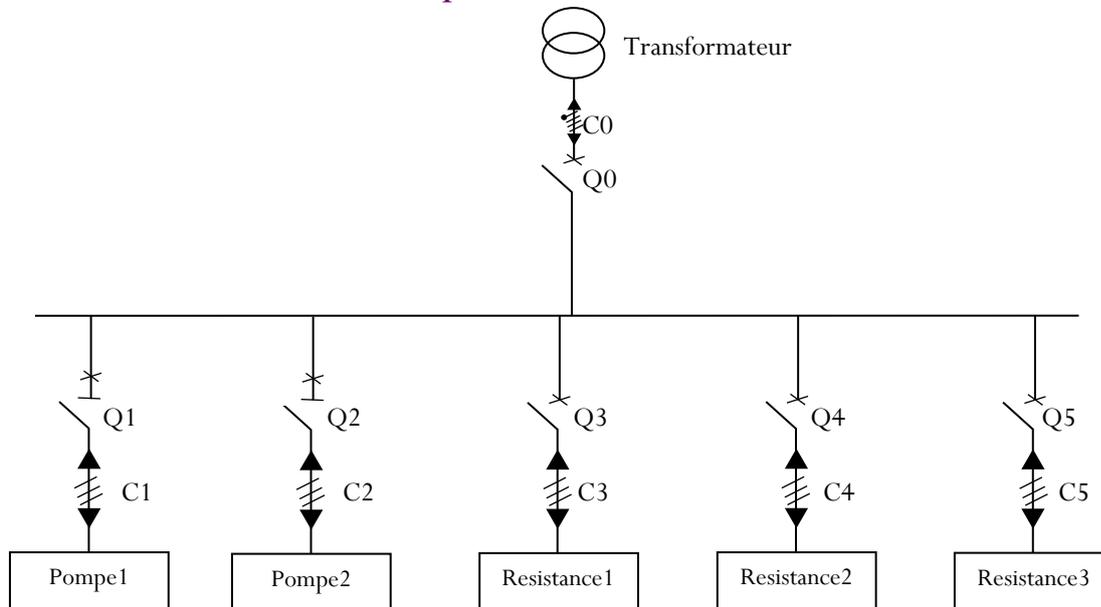


Figure13 : Schéma unifilaire du réseau électrique

## 3. Bilan de Puissance :

- Calcul de Courant Nominal pour chaque Resistance de Chauffage :

$$\text{On a : } P = \sqrt{3} \times I \times U$$

Equation1

$$\text{Alors : } I = \frac{P}{\sqrt{3} \times U}$$

$$= \frac{2400}{\sqrt{3} \times 380}$$

$$I = 3,6A$$

- Calcul de Puissance Apparente pour chaque Resistance de Chauffage :

$$\text{On a : } S = \sqrt{3} \times I \times U$$

Equation2

$$\text{Alors : } = \sqrt{3} \times 3,6 \times 380$$

$$S = 2,36\text{KVA}$$

- Calcul de Puissance Apparente pour le Moteur Pompe :

$$\text{On a : } S = \sqrt{3} \times I \times U$$

Equation3

$$\text{Alors : } = \sqrt{3} \times 4,14 \times 380$$

$$S = 2,72\text{KVA}$$

Le tableau ci-dessus présente les caractéristiques du récepteurs (2 Moteurs Pompe et 3 Résistances) du réseau.

| Composant    | Tension(V) | Courant Nominale(A) | Puissance Active(KW) | Puissance Apparente(KVA) | Coef. D'utilisation Ku |
|--------------|------------|---------------------|----------------------|--------------------------|------------------------|
| Resistance1  | 380        | 3,6                 | 2,4                  | 2,36                     | 1                      |
| Resistance2  | 380        | 3,6                 | 2,4                  | 2,36                     | 1                      |
| Resistance3  | 380        | 3,6                 | 2,4                  | 2,36                     | 1                      |
| Moteur Pompe | 380        | 4,14                | 2,14                 | 2,72                     | 0,75                   |
| Moteur Pompe | 380        | 4,14                | 2,14                 | 2,72                     | 0,75                   |

Tableau7 : Bilan de puissance des composants utilisée

Le tableau suivant présente le bilan de puissance appelée par le réseau.

$$S_r = K_s \times \sum K_u \times S \quad \text{Equation 4} \quad [13]$$

|              | $K_u \times S(KW)$ | Coef. de simultanéité $K_s$ | $K_s \times \sum K_u \times S(KW)$ | Puissance appelée(KW) |
|--------------|--------------------|-----------------------------|------------------------------------|-----------------------|
| Resistance1  | 2,36               | 0,8                         | 5,66                               | 9,33                  |
| Resistance2  | 2,36               |                             |                                    |                       |
| Resistance3  | 2,36               |                             |                                    |                       |
| Moteur Pompe | 2,04               | 0,9                         | 3,67                               |                       |
| Moteur Pompe | 2,04               |                             |                                    |                       |

Tableau8 : Bilan de calcul de la puissance appelée par le réseau

#### 4. Transformateur du réseau :

Ce système de chauffage se trouve dans la zone du génoise qu'elle est alimentée par un transformateur abaisseur caractérisée par le tableau suivant.

|                                 |       |
|---------------------------------|-------|
| <b>Puissance(KVA)</b>           | 800   |
| <b>Tension Primaire(KV)</b>     | 20    |
| <b>Courant Primaire(A)</b>      | 23    |
| <b>Tension Secondaire(V)</b>    | 400   |
| <b>Courant Secondaire(A)</b>    | 1155  |
| <b>Couplage</b>                 | Dyn11 |
| <b>Température Ambiante(°C)</b> | 40    |
| <b>Chute de Tension(%)</b>      | 5     |

Tableau9 : Caractéristique du Transformateur

## 5. Choix du Disjoncteurs :

### 5.1. Disjoncteur de Protection Q0 :

- Le Courant Nominale au secondaire du Transformateur :

$$I = 1155A$$

On Choisit un Disjoncteur avec un Calibre de :

$$I_n = 1,2kA$$

### 5.2. Disjoncteur du récepteurs (Q1, Q2, Q3, Q4) :

- Choix du Disjoncteur Moteur Q1, Q2 :

On a le Courant Nominal de chaque Pompe :  $I = 4,15A$

On Choisit un Disjoncteur (à chaque Pompe) avec un Calibre de :

$$I_n = 6A$$

- Choix du Disjoncteur Q3, Q4, Q5 :

On a le Courant Nominal de chaque Resistance :  $I = 3,6A$

On Choisit un Disjoncteur (à chaque Résistance) avec un Calibre de :

$$I_n = 6A$$

## 6. Dimensionnement du câble :

Pour calculer la section du câbles il faut passer par les étapes « voir figure 14 ».

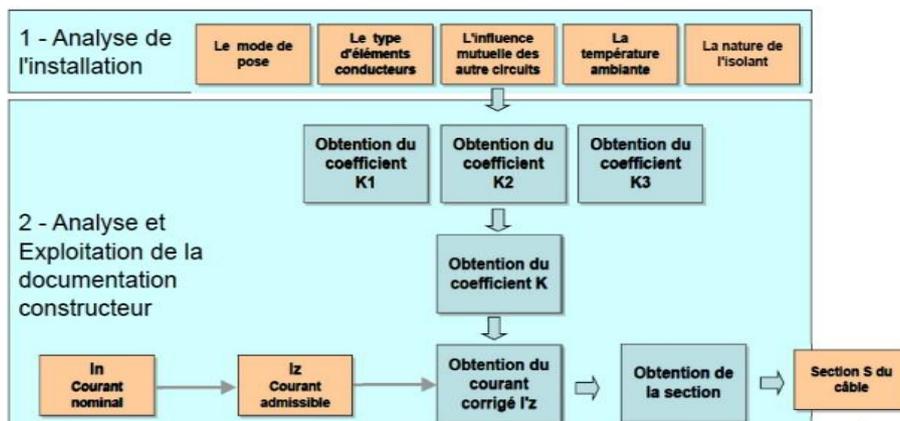


Figure14 : Etape de détermination de la section du câble {2}

➤ Calcul du Section Minimale du Câbles C1, C2, C3, C4, C5 :

On a le même Disjoncteur (du calibre 6A) pour tous les récepteurs utilisés avec les même condition (Température, distance...).

Alors : on va utiliser le même câble pour tous les récepteurs.

- Les Câbles utilisés sont :
  - En Cuivre
  - Multiconducteurs (Compose du 3 Câbles)
  - Du type Polychlorure de Vinyle
  - Fixes en apparent, espaces de la paroi
  - Du température 45°C
- D'après le " Tableau12 d'ANNEXE2 " on trouve : La lettre E
- D'après le " Tableau13 d'ANNEXE2 " on trouve :  $K1 = 1$
- D'après le " Tableau14 d'ANNEXE2 " on trouve :  $K2 = 0,82$
- D'après le " Tableau15 d'ANNEXE2 " on trouve :  $K3 = 0,79$

Alors le Facteur de Correction est :  $K = K1 \times K2 \times K3$  Equation5

$$= 1 \times 0,82 \times 0,79$$

$$K = 0,64$$

- On a pour un disjoncteur le Courant Nominale  $I_n$  égal le Courant Admissible  $I_z$  :

$$I_n = I_z$$
 Equation6

- Le Courant Corrigé est :  $I_z' = \frac{I_z}{K}$  Equation7

$$= \frac{6}{0,64}$$

$$I_z' = 9,37A$$

Alors selon le " Tableau16 d'ANNEXE2 " on trouve la Section :

$$S = 1,5mm^2$$

## 7. Chute de Tension :

On a les Résistances et la Pompe sont loin du leur disjoncteurs avec une distance **L=15 Mètre**.

Pour calculer les chutes de tension « voir tableau 10 », on doit calculer la résistances et réactances du câbles utiliser « voir tableau 11 ».

| Circuit   | Chute de tension( $\Delta U$ )                                    |                                |
|---|---|--------------------------------|
|   | en volts  | en %                           |
| Monophasé : deux phases                                 | $\Delta U = 2I_B (R \cos \varphi + X \sin \varphi) L$             | $\frac{100\Delta U}{U_n}$      |
| Monophasé : phase et neutre                             | $\Delta U = 2I_B (R \cos \varphi + X \sin \varphi) L$             | $\frac{100\Delta U}{V_n}$      |
| Triphasé équilibré : trois phases (avec ou sans neutre) | $\Delta U = \sqrt{3}I_B (R \cos \varphi + X \sin \varphi) L$ Eq.8 | $\frac{100\Delta U}{U_n}$ Eq.9 |

Tableau10 : Tableau de calcul de chute tension {2}

| liaison en câbles (3) | résistances (m $\Omega$ )  | réactances (m $\Omega$ )   |
|-----------------------|--|--|
|                       | $R_3 = \rho \frac{L}{S}$<br>$\rho = 18,51$ (Cu)<br>ou $29,41$ (Al)<br>L en m, S en mm <sup>2</sup> | $X_3 = 0,09L$ ( câbles uni jointifs) triphasé<br>$X_3 = 0,13L$ ( câbles uni espacés) unipolair |

Tableau11 : Tableau de calcul de la résistance et de la réactance {2}

### ➤ Calcul de Chute Tension pour C1, C2 :

- Calcul du Facteur de Puissance :

$$\text{On a : } P = \sqrt{3} \times U \times I \times \cos(\alpha)$$

$$\text{Alors : } \cos(\alpha) = \frac{P}{\sqrt{3} \times U \times I} \quad \text{Equation 12}$$

$$= \frac{2140}{\sqrt{3} \times 380 \times 4,14}$$

$$\cos(\alpha) = 0,78 \text{ et } \sin(\alpha) = 0,62$$

- Calcul du Resistance : D'après l' " Equation10 Tableau11 " on a :

$$R = 18,51 \times \frac{15}{1,5} \quad R = 185,1 \text{ m}\Omega$$

- Calcul du Réactance : D'après l' " Equation11 Tableau11 " on a :

$$X = 0,09 \times 15 \quad X = 1,35 \text{ m}\Omega$$

D'après l' " Equation8 Tableau10 " on a :

$$\text{Alors : } \Delta U = \sqrt{3} \times 6 \times 15 \times (185,1 \times 10^{-3} \times 0,78 + 1,35 \times 10^{-3} \times 0,62)$$

$$\Delta U = 22,6 \text{ V}$$

D'après l' " Equation9 Tableau10 " on a :

$$\Delta U(\%) = 100 \times \frac{22,6}{380} \quad \Delta U(\%) = 5,94\%$$

➤ Calcul du Chute Tension pour C3, C4, C5 :

▪ Facteur de puissance :  $\cos(\alpha) = 1$  et  $\sin(\alpha) = 0$

▪ Calcul du Resistance : D'après l' " Equation10 Tableau11 " on a :

$$R = 18,51 \times \frac{15}{1,5} \quad R = 185,1 \text{m}\Omega$$

▪ Calcul du Réactance : D'après l' " Equation11 Tableau11 " on a :

$$X = 0,09 \times 15 \quad X = 1,35 \text{m}\Omega$$

D'après l' " Equation8 Tableau10 " on a :

$$\text{Alors : } \Delta U = \sqrt{3} \times 6 \times 15 \times (185,1 \times 10^{-3} \times 1 + 1,35 \times 0)$$

$$\Delta U = 1,97 \text{V}$$

D'après l' " Equation9 Tableau10 " on a :

$$\Delta U(\%) = 100 \times \frac{1,97}{380} \quad \Delta U(\%) = 0,51\%$$

## Conclusion Général

Le projet avait pour objet de développer, d'une part un programme automatique qui permet de commander une source de chauffage pour chauffer de l'eau, et d'autre part pour réduire l'intervention de l'être humain, et éviter tout risque de pertes de temps.

Dans ce sens, nous avons commencé par une description complète et une explication détaillée de la logique de fonctionnement du système de chauffage, ainsi qu'une description des différents composants du système, avant et après l'étude pour trouver la bonne solution à ce système.

Ensuite, nous avons traduit le cahier de charge en langage **GRAFSET** et le simulé dans le programme **GRAFSET Studio** puis en **LADDER** sous le programme d'automatisation **SIMATIC Manager step7**.

Finalement, nous avons étudié le réseau électrique, pour établir une armoire de commande.

Au terme de ce travail, on peut conclure que **MONDELEZ Bimo** Casablanca dispose d'un système puissant de commande et de gestion de tous ses ateliers, mais malgré ce suivi quotidien, il faut toujours penser à optimiser chaque installation pour atteindre son optimum, afin d'assurer sa bonne marche et une meilleure exploitation de ces équipements et ressources.

# Références

## ➤ Webographie :

- [1] Introduction - Maroc - Fellah Trade (fellah-trade.com) "06-2022"
- [2] Agroalimentaire : Le secteur de la biscuiterie retrouve le sourire (lopinion.ma) "06-2022"
- [3] Biscuiterie industrielle au Maroc: 2,7 MMDH de chiffre d'affaires - Ni9ach21 "06-2022"
- [4] Mondelēz International — Wikipédia (wikipedia.org) "06-2022"
- [5] Langage Ladder — Wikipédia (wikipedia.org) "06-2022"
- [6] CPU 31xC and CPU 31x: Technical specifications (siemens.com) "06-2022"
- [7] SE-S2-M7.1- Automatismes et API Ch5-CRS- EL Hammoumi.pdf (est-usmba.ac.ma) "06-2022"
- [8] résistance stéatite BULEX et ATLANTIC 3241727 à gembloux et tournai, Namur , jambes, gosselies, jumet, farciennes, Ath (fraiche-eau.com) "06-2022"
- [9] PRESOSTAT - B 12 CN 0.2-8 BAR - Presostat B12CN - pliant prezentare | Manualzz "06-2022"
- [10] datasheet\_106.pdf (tempatron.co.uk) "06-2022"
- [11] A03-A04-EN-technical-data-sheet-1.pdf (unox.com.tr)
- [12] LVN90.pdf (omega.fr) "06-2022"
- [13] Puissance d'utilisation Pu (kVA) — Guide de l'Installation Electrique (electrical-installation.org) "06-2022"
- [14] Exemple d'application des facteurs ku et ks — Guide de l'Installation Electrique (electrical-installation.org) "06-2022"
- [15] [https://www.youtube.com/watch?v=zOa4Pp7MoNk&list=PLaqPZCDijBLVY\\_eA7q5AS-1tMO-0mepED](https://www.youtube.com/watch?v=zOa4Pp7MoNk&list=PLaqPZCDijBLVY_eA7q5AS-1tMO-0mepED) "06-2022"
- [16] Pressostat — Wikipédia (wikipedia.org) "06-2022"

## ➤ Bibliographie :

- {1} Support du cours Automatismes Industriels Pr Elmarkhi Hassan 2019-2020
- {2} Support du cours Electrotechnique Pr Elmarkhi Hassan 2020-2021
- {3} Rapport Amara Conde 2016 Mondelez Bimo Casablanca

# ANNEXE1

## Bouton Tournant à deux directions avec position médiane d'ouverture :

Ce Bouton à trois états avec deux entrées et deux sorties, son état de repos est Normalement Ouvert "NO" pour les deux entrées.

Lorsque on change l'état à 1 la première entrée se ferme et la deuxième reste ouverte.

Lorsque on change l'état à 2 la deuxième entrée se ferme et la première reste ouverte.



Figure15 : Bouton Tournant {2}

## Relais de Niveau :

Le relais de niveau est un régulateur pour liquides conducteurs qui permettent de maintenir les liquides à l'intérieur des limites fixées entre un niveau maximum et minimum.

1-2 : Contact NF - 1-4 : Contact NO

3 : S3 Niveau haut - 5 : S2 Niveau milieu - 6 : S3 Niveau com(bas) - 7et8 : Alimentation -

9 : Sensibilité - 10 : Alarme d'urgence

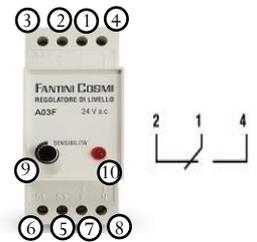


Figure16 : Relais de Niveau [11]

## Thermorégulateur :

Le thermorégulateur est un dispositif détectant la température d'un liquide utilisant une sonde.

Dans ce thermorégulateur on utilise sonde type « j », « Voir figure17 ANNEXE1 ».

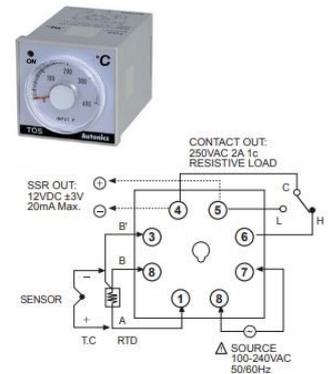


Figure18 : Thermorégulateur [10]



Figure17 : Sonde type « j »

## Pressostat :

Un pressostat est un dispositif détectant le dépassement d'une valeur prédéterminée de la pression d'un fluide.

1-2 : Contact NF - 1-4 : Contact NO

5 : Vis de réglage de la pression de coupure - 6 : Vis de réglage de la pression de différentiel

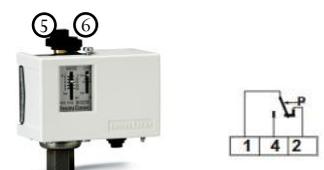


Figure19 : Pressostat [16]

## ANNEXE2

| type d'éléments conducteurs            | mode de pose   | lettre de sélection |
|--|--|---------------------|
| conducteurs et câbles multiconducteurs | ■ sous conduit, profilé ou goulotte, en apparent ou encastré | B                   |
|  | ■ sous vide de construction, faux plafond                    |                     |
| câbles multiconducteurs                | ■ sous caniveau, moulures, plinthes, chambranles             | C                   |
|  | ■ en apparent contre mur ou plafond                          |                     |
|  | ■ sur chemin de câbles ou tablettes non perforées            |                     |
| câbles monoconducteurs                 | ■ sur échelles, corbeaux, chemin de câbles perforé           | E                   |
|  | ■ fixés en apparent, espacés de la paroi                     |                     |
|  | ■ câbles suspendus   |                     |
| câbles monoconducteurs                 | ■ sur échelles, corbeaux, chemin de câbles perforé           | F                   |
|  | ■ fixés en apparent, espacés de la paroi                     |                     |
|  | ■ câbles suspendus   |                     |

Tableau12 : Tableau de la lettre de Sélection {2}

| Facteur de correction K1 |  |      |
|--------------------------|--|------|
| lettre de sélection      | cas d'installation   | K1   |
| B                        | ■ câbles dans des produits encastrés directement dans des matériaux thermiquement isolants | 0,70 |
|                          | ■ conduits encastrés dans des matériaux thermiquement isolants                             | 0,77 |
|                          | ■ câbles multiconducteurs  | 0,90 |
|                          | ■ vides de construction et caniveaux   | 0,95 |
| C                        | ■ pose sous plafond  | 0,95 |
| B, C, E, F               | ■ autres cas   | 1    |

Tableau13 : Tableau du facteur de Correction K1 {2}

| Facteur de correction K2 |  |  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
|--------------------------|--|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
| lettre de sélection      | disposition des câbles jointifs  | facteur de correction K2                         |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
|                          |  | nombre de circuits ou de câbles multiconducteurs |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
|                          |  | 1  | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 12   | 16   | 20   |  |
| B, C                     | encastrés ou noyés dans les parois   | 1,00   | 0,80 | 0,70 | 0,65 | 0,60 | 0,57 | 0,54 | 0,52 | 0,50 | 0,45 | 0,41 | 0,38 |  |
| C                        | simple couche sur les murs ou les planchers ou tablettes non perforées             | 1,00   | 0,85 | 0,79 | 0,75 | 0,73 | 0,72 | 0,72 | 0,71 | 0,70 | 0,70 |      |      |  |
|                          | simple couche au plafond   | 0,95   | 0,81 | 0,72 | 0,68 | 0,66 | 0,64 | 0,63 | 0,62 | 0,61 | 0,61 |      |      |  |
| E, F                     | simple couche sur des tablettes horizontales perforées ou sur tablettes verticales | 1,00   | 0,88 | 0,82 | 0,77 | 0,75 | 0,73 | 0,73 | 0,72 | 0,72 | 0,72 |      |      |  |
|                          | simple couche sur des échelles à câbles, corbeaux, etc.                            | 1,00   | 0,87 | 0,82 | 0,80 | 0,80 | 0,79 | 0,79 | 0,78 | 0,78 | 0,78 |      |      |  |

Tableau14 : Tableau du facteur de Correction K2 {2}

| températures<br>ambiantes<br>(°C) | isolation                  |                                 |   |
|-----------------------------------|----------------------------|---------------------------------|---|
|                                   | élastomère<br>(caoutchouc) | polychlorure de vinyle<br>(PVC) | polyéthylène réticulé (PR)<br>butyle, éthylène, propylène (EPR) |
| 10                                | 1,29                       | 1,22                            | 1,15  |
| 15                                | 1,22                       | 1,17                            | 1,12  |
| 20                                | 1,15                       | 1,12                            | 1,08  |
| 25                                | 1,07                       | 1,07                            | 1,04  |
| 30                                | 1,00                       | 1,00                            | 1,00  |
| 35                                | 0,93                       | 0,93                            | 0,96  |
| 40                                | 0,82                       | 0,87                            | 0,91  |
| 45                                | 0,71                       | 0,79                            | 0,87  |
| 50                                | 0,58                       | 0,71                            | 0,82  |
| 55                                | -                          | 0,61                            | 0,76  |
| 60                                | -                          | 0,50                            | 0,71  |

Tableau15 : Tableau du facteur de Correction K3 {2}

| lettre de<br>sélection                  | isolant et nombre de conducteurs chargés (3 ou 2) |                      |      |     |      |                             |      |      |      |     |     |       |     |       |     |       |     |     |     |  |  |
|---|---|----------------------|------|-----|------|-----------------------------|------|------|------|-----|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-----|-----|--|--|
|   | B   | caoutchouc<br>ou PVC |      |     |      | butyle ou PR ou éthylène PR |      |      |      |     |     |       |     |       |     |       |     |     |     |  |  |
|   |   | PVC3                 | PVC2 |     |      | PR3                         | PR3  | PR2  |      |     |     |       |     |       |     |       |     |     |     |  |  |
| section<br>cuivre<br>(mm <sup>2</sup> ) | E   |                      | PVC3 |     | PVC3 | PVC2                        | PVC2 | PR3  | PR2  |     |     |       |     |       |     |       |     |     |     |  |  |
|   | F   |                      |      |     |      | PVC3                        |      | PVC2 | PR3  | PR2 |     |       |     |       |     |       |     |     |     |  |  |
|   | 1,5   |                      | 15,5 |     | 17,5 |                             | 18,5 |      | 19,5 |     | 22  |       | 23  |       | 24  |       | 26  |     |     |  |  |
|   | 2,5   |                      | 21   |     | 24   |                             | 25   |      | 27   |     | 30  |       | 31  |       | 33  |       | 36  |     |     |  |  |
|   | 4   |                      | 28   |     | 32   |                             | 34   |      | 36   |     | 40  |       | 42  |       | 45  |       | 49  |     |     |  |  |
|   | 6   |                      | 36   |     | 41   |                             | 43   |      | 48   |     | 51  |       | 54  |       | 58  |       | 63  |     |     |  |  |
|   | 10  |                      | 50   |     | 57   |                             | 60   |      | 63   |     | 70  |       | 75  |       | 80  |       | 86  |     |     |  |  |
|   | 16  |                      | 68   |     | 76   |                             | 80   |      | 85   |     | 94  |       | 100 |       | 107 |       | 115 |     |     |  |  |
|   | 25  |                      | 89   |     | 96   |                             | 101  |      | 112  |     | 119 |       | 127 |       | 138 |       | 149 |     | 161 |  |  |
|   | 35  |                      | 110  |     | 119  |                             | 126  |      | 138  |     | 147 |       | 158 |       | 169 |       | 185 |     | 200 |  |  |
|   | 50  |                      | 134  |     | 144  |                             | 153  |      | 168  |     | 179 |       | 192 |       | 207 |       | 225 |     | 242 |  |  |
|   | 70  |                      | 171  |     | 184  |                             | 196  |      | 213  |     | 229 |       | 246 |       | 268 |       | 289 |     | 310 |  |  |
|   | 95  |                      | 207  |     | 223  |                             | 238  |      | 258  |     | 278 |       | 298 |       | 328 |       | 352 |     | 377 |  |  |
|   | 120   |                      | 239  |     | 259  |                             | 276  |      | 299  |     | 322 |       | 346 |       | 382 |       | 410 |     | 437 |  |  |
|   | 150   |                      |      |     | 299  |                             | 319  |      | 344  |     | 371 |       | 395 |       | 441 |       | 473 |     | 504 |  |  |
|   | 185   |                      |      |     | 341  |                             | 364  |      | 392  |     | 424 |       | 450 |       | 506 |       | 542 |     | 575 |  |  |
|   | 240   |                      |      |     | 403  |                             | 430  |      | 461  |     | 500 |       | 538 |       | 599 |       | 641 |     | 679 |  |  |
| 300                                     |   |                      |      | 464 |      | 497                         |      | 530  |      | 576 |     | 621   |     | 693   |     | 741   |     | 783 |     |  |  |
| 400                                     |   |                      |      |     |      |                             |      |      |      | 656 |     | 754   |     | 825   |     | 940   |     |     |     |  |  |
| 500                                     |   |                      |      |     |      |                             |      |      |      | 749 |     | 868   |     | 946   |     | 1 083 |     |     |     |  |  |
| 630                                     |   |                      |      |     |      |                             |      |      |      | 855 |     | 1 005 |     | 1 088 |     | 1 254 |     |     |     |  |  |

Tableau16 : Tableau du Section du câble {2}