



**LICENCE SCIENCES ET TECHNIQUES
Génie Electrique**

RAPPORT DE FIN D'ETUDES

Intitulé:

**Fiabilisation de la régulation de
la température de l'émulsifiant
(produit visqueux)**

**Réalisé Par :
SAHIL Soufian**

Encadré par :

Pr. ABDI Farid (FST FES)

Mr. Hassan ELYAMLOULI (LESAFFRE MAROC)

Soutenu le 05 Juin 2018 devant le jury :

Pr. ABDI Farid (FST FES)

Pr. LAMCHARFI Tajdine (FST FES)

Pr. BOUAYAD Mfadel (FST FES)

REMERCIEMENTS

En chemin vers la vie active, grâce à dieu, j'ai eu la chance d'être entouré par des personnes qui laisseront des traces inoubliables dans ma mémoire, des personnes qui m'ont beaucoup aidé à réaliser tout travail bien fait.

Je tiens tout d'abord à remercier toute l'équipe pédagogique de la Faculté des Sciences et Techniques de Fès, spécialement **Pr ABDI Farid** et les professeurs du département « Génie Electrique » pour le temps qu'ils m'ont accordé, leurs qualités pédagogiques et scientifiques et leurs efforts en vue de me garantir une meilleure formation. J'ai beaucoup appris grâce à eux et je leur adresse toute ma reconnaissance.

J'adresse de chaleureux remerciements à **Mr. ELYAMLOULI Hassan**, chef du service électrique et mon tuteur de stage, pour le temps qu'il m'a consacré tout au long de cette période de stage.

J'exprime également toute ma gratitude à **Mr EL BOUZIDI Youness** pour son accueil sympathique et à l'ensemble du personnel du service travaux neufs pour leur gentillesse et serviabilité.

Je ne saurais omettre de remercier mes parents, ma sœur Faiza, ma sœur Sarra et mes amis pour leurs encouragements et soutien. Finalement, je dis merci à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Veillez accepter l'expression de ma profonde gratitude.

RÉSUMÉ

La société Lesaffre Maroc est leader mondial dans le domaine de la levure et la panification. Elle propose des produits de très haute qualité comme la levure sèche instantanée. Pour que cette levure agit instantanément, lors de sa fabrication, nous lui ajoutons l'émulsifiant (additif alimentaire). Ce dernier doit avoir une température stable afin de l'utiliser. Actuellement, la température est régularisée via un système automatisé qui n'est pas fiable et représente plusieurs inconvénients.

Vu ma formation, mon encadrant au sein de Lesaffre m'a attribué comme projet de fin d'études la fiabilisation de la régulation de la température de l'émulsifiant tout en gardant le matériel actuel. J'ai opté pour la modification du programme pour l'automate : au lieu de la régulation tout ou rien, j'ai utilisé la régulation MLI « modulation à largeur d'impulsions ». La période de deux mois de stages m'a permis de créer le nouveau programme et de le simuler. Heureusement, j'ai réussi à accomplir ma mission.

INTRODUCTION

Les stages d'entreprise, pions essentiels dans toutes formations professionnelles, sont très valorisés à la Faculté des Sciences et Techniques (FST) qui les considère comme des compléments indispensables à un enseignement théorique de haut niveau. En ce qui me concerne, attiré par le fonctionnement des grandes entreprises, j'ai opté pour Lesaffre. Cette entreprise représente un espace propice pour l'épanouissement de la personnalité et l'élargissement des connaissances techniques du stagiaire.

Mon projet de fin d'études est la fiabilisation de la régulation de la température de l'émulsifiant (produit visqueux). Actuellement, la régulation utilisée représente plusieurs inconvénients comme le dépassement de la consigne. Alors, j'ai changé le type de régulation.

Durant ce rapport, je vais expliquer toutes les tâches que j'ai effectuées pour réaliser mon projet. Mon rapport comprend quatre chapitres : le premier concerne la présentation de l'entreprise : son historique et ses produits. Le deuxième cite les différentes étapes de fabrication de la levure car mon projet concerne l'émulsifiant (élément important dans cette fabrication). Le troisième explique la problématique c'est-à-dire la cause de la mauvaise régulation de la température ainsi que la solution que j'ai proposé. Et finalement, au niveau du 4^{ième} chapitre, j'ai fait l'étude technique du projet, les étapes de programmation et la simulation du nouveau programme pour s'assurer de sa fiabilité.

TABLE DES MATIÈRES

Remerciements	2
Résumé.....	3
Introduction	4
TABLE DES MATIÈRES.....	5
Chapitre 1: Présentation de la société Lesaffre Maroc:.....	7
I. Historique du groupe français Lesaffre:.....	7
II. Création de la société Lesaffre Maroc :.....	8
III. Fiche signalétique de Lesaffre Maroc :	8
IV. Gamme de produits Lesaffre Maroc :	8
V. Organigramme de Lesaffre Maroc:.....	9
VI. Lieu du stage:.....	9
Chapitre 2 : Etapes de production de la levure :	11
I. Les stations principales de production :	11
II. Les étapes de production:.....	12
1. Ensemencement :	12
2. Pré-fermentation :	12
3. Traitement de la mélasse :	12
4. La fermentation:.....	13
5. La séparation:.....	13
6. Stockage de la crème :	13
7. Filtration :	13
8. Séchage :	14
9. Emballage :	15
III. La levure sèche instantanée et l'émulsifiant :.....	15
Chapitre 3: Analyse et conception	17
I. Système de gestion de l'émulsifiant :	17
II. Problématique :	19
III. Cahier de charge:	21
IV. Proposition des solutions techniques:.....	21
1. Solution technique N°1: régulation PID	22

Table des matières

2. Solution technique N°2: régulation MLI	24
V. Conclusion:	25
Chapitre 4: Etude technique du projet.....	26
I. Outils d'automatisation de la régulation de la température:	26
1. Automate Siemens S7-300:.....	26
2. Step 7 tia portal v13:	27
II. Programmation de la régulation pour l'API:	29
1. Les conditions pour réguler la température:	29
2. Les commandes de la régulation:	29
Conclusion.....	35
Liste des figures :.....	36
Bibliographie.....	37
Annexe :.....	38

CHAPITRE 1: PRÉSENTATION DE LA SOCIÉTÉ LESAFFRE MAROC:

I. Historique du groupe français Lesaffre:

L'histoire du groupe Lesaffre est résumée dans les étapes suivantes :

- 1853 : les deux amis Louis Lesaffre et Louis Bonduelle s'associent pour construire une fabrique d'alcool, de grains et de genièvre, à Marquette-lez-Lille au nord de la France.
- 1863 : les deux Louis se portent acquéreurs d'un moulin à Marcq-en-Baroeul, qu'ils transforment en une distillerie d'alcool de grains. C'est à partir de ce site que se développera la société Lesaffre.
- 1873 : adoption du nouveau procédé de fermentation et production de levure fraîche de boulangerie sur le site de Marcq-en-Baroeul, à la place de l'ancien moulin.
- 1895 : naissance de la marque de levure L'hirondelle



Figure 1 : Logo de l'hirondelle

- 1901 : partage de l'entreprise en 3 entreprises distinctes : Bonduelle, Lesaffre et Cie (alcool et levure) et Lesaffre Frères (sucrieries et distillerie).
- 1947 : utilisation des premiers tambours rotatifs.



Figure 2 : Tambour rotatif

Chapitre 1 : Présentation de la société Lesaffre Maroc

- 1993-1999 : création de filiales sur tous les continents : Australie, Chili, Italie, Afrique (Maroc), ...

Au fil du temps, Lesaffre a fait face à plusieurs difficultés comme crises économiques et incendies. Mais grâce à ses connaissances approfondies de la levure, ses compétences pointues en biotechnologies, son innovation technique, son aptitude à comprendre les attentes de ses clients et à fournir des produits de qualité, Lesaffre est devenu un acteur mondialement référent dans le domaine de **la levure et de la panification**.

II. Création de la société Lesaffre Maroc :

En 1993, la société SODERS (Société des Dérivés du Sucre) a été majoritairement détenue par le groupe français Lesaffre. Elle porte aujourd'hui comme nouvelle appellation « LESAFFRE MAROC ». Son siège est situé à Fès, au quartier industriel SIDI BRAHIM, elle produit environ 30.000 tonnes de levures par an et emploie 170 personnes avec une superficie de 2 hectares. La société a aussi un BAKING CENTER à Casablanca qui est une vitrine des produits Lesaffre où les boulangers peuvent suivre des formations et des démonstrations applicables à leur métier.

III. Fiche signalétique de Lesaffre Maroc :

- **Raison sociale** : Lesaffre Maroc,
- **Directeur général** : Mr Damien Lesaffre,
- **Forme juridique** : société anonyme,
- **Effectifs** : 200 personnes dont 20 cadres,
- **Secteur d'activité** : l'agroalimentaire.
- **Identification** : Rue Ibn El Banaâ Q.I. Sidi Brahim – BP : 2127 Fès.

☎ 05 35 73 75 30

IV. Gamme de produits Lesaffre Maroc :

Le tableau suivant regroupe les produits que l'entreprise fabrique et commercialise:

Chapitre 1 : Présentation de la société Lesaffre Maroc

Catégorie du produit	Nom de la marque
Levure fraiche	Jaouda
Levure sèche instantanée	Nevana Rafiaa
Levure sèche active à réhydrater	Jaouda
Améliorants de panification	Ibis Magimax

V. Organigramme de Lesaffre Maroc:

Lesaffre Maroc contient six directions et chacune est responsable de la définition et de la réalisation de sa stratégie suivant les orientations de la direction générale.

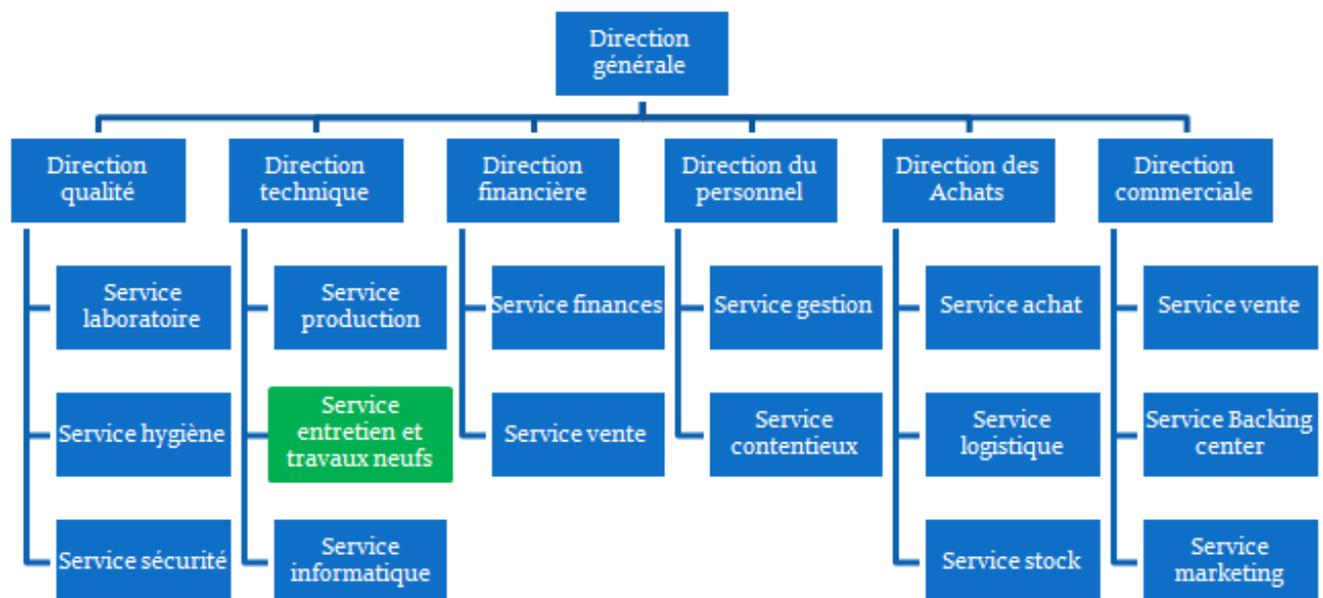
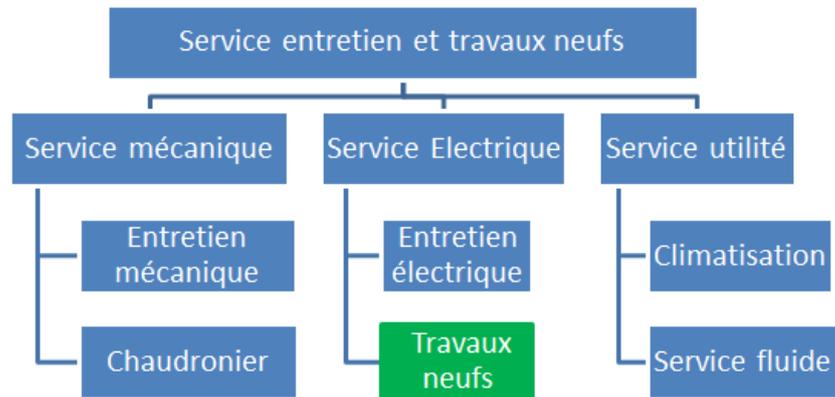


Figure 3 : Organigramme de Lesaffre Maroc

VI. Lieu du stage:

Vu ma formation, la direction du personnel m'a affecté à la direction technique, plus précisément, au service entretien et travaux neufs. L'organigramme suivant donne une idée globale sur sa structure:

Chapitre 1 : Présentation de la société Lesaffre Maroc



Lieu du stage

Figure 4 : Organigramme du service entretien et travaux neufs.

Alors, au sein de l'équipe du service Travaux neufs et bien aidé par le technicien EL BOUZIDI Youness, j'ai pu comprendre le travail demandé tout en m'intégrant à l'ensemble des salariés.

Les objectifs de la société sont liés à l'application de mes compétences et connaissances immédiates et future ciblées sur un projet conséquent et bien réel; Il s'agit de la fiabilisation de la régulation de la température de l'émulsifiant (produit visqueux).

CHAPITRE 2 : ETAPES DE PRODUCTION DE LA LEVURE :

La levure est vivante et respire l'oxygène, elle est cultivée et non pas fabriquée.

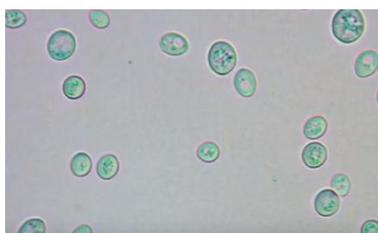


Figure 5 : Image microscopique de la levure.

Sa production commence par le choix des souches et est réalisée en plusieurs étapes successives de fermentation et chaque étape servira pour commencer l'étape suivante.

I. Les stations principales de production :

Il y a six stations de production qui travaillent en parallèles pour assurer un produit de qualité:

- **Station de préparation:** prépare les sels minéraux : l'urée, le sulfate d'ammonium et le phosphate.
- **Station de mélasse:** stérilise la mélasse avant d'alimenter les fermenteurs.
- **Station de fermentation:** contient la pré-fermentation et les fermenteurs principaux de la levure mère et la crème.
- **Station de filtration:** se compose de trois filtres rotatifs sous vide, un filtre pour la levure sèche et deux autres pour la fraîche.



Figure 6 : Filtre rotatif de la levure

Chapitre 2 : Etapes de production de la levure

- **Station d'emballage et de stockage:** contient des boudineuses qui emballent la levure sèche et la levure fraîche.

II. Les étapes de production:

1. Ensemencement :

La souche initiale estensemencée dans des tubes dans un milieu nutritifs spécifique à la croissance des levures, dans des conditions aseptiques pour écarter tout risque de contamination. Ensuite, nous mettons le contenu du tube dans un petit cône de 1/21 avec un milieu nutritif, puis dans un Carlsberg de 6L. Après nous mettons ce dernier dans une cuve de 800L et nous donnons la mélasse comme produit nutritif.

2. Pré-fermentation :

Le contenu de la cuve de 800L est versé dans un pré fermenteur et on ajoute les éléments avec des quantités précises :

- L'eau.
- La mélasse stérile.
- L'acide sulfurique pour l'hydrolyse du saccharose en glucose et fructose présent dans la mélasse.
- Les sels minéraux.
- Les éléments de traces (oligo-éléments et vitamines)
- L'air.

3. Traitement de la mélasse :

✓ Réception :

La mélasse provient de différentes sucreries de Maroc par des camions citernes. Pour s'assurer de la qualité, nous prenons des échantillons pour l'analyse du PH qui donne une idée sur la qualité de la mélasse. Ensuite, elle est stockée dans des tanks équipés de pompes qui assurent la poussée de la mélasse pour la dilution.

✓ Dilution :

La mélasse brute provenant des tanks, se mélange dans une cuve de dilution avec de l'eau et de la vapeur pour avoir la mélasse diluée (MD). Cette dernière contient environ 80% de betterave et 20% de canne, quand la dilution est d'environ 50%. La température dans la cuve de MD est de 70°C grâce à la vapeur d'eau injectée pour diminuer la viscosité de la mélasse et la diluer.

Chapitre 2 : Etapes de production de la levure

✓ Clarification :

Après la dilution, la clarification élimine les bouts et les matières solides indésirables par centrifugation. La mélasse diluée clarifiée (MDC), est stockée dans une cuve et transférée dans un échangeur mélasse/mélasse, qui augmente la température de la mélasse diluée clarifiée de 70°C à 90°C en échangeant avec une autre mélasse qui provient du stérilisateur et qui a une température de 120°C à 130°C.

✓ Stérilisation :

Nous injectons la vapeur d'eau sous pression de 6 bars donc la température de la mélasse augmente de 90°C à environ 120°C.

Après la stérilisation, la mélasse stérilisée (MDCS) est stockée dans deux cuves ensuite elle passe dans un échangeur mélasse/eau, qui refroidit la mélasse pour qu'elle soit utilisable pour la fermentation et pour produire de l'eau chaude à 60° C.

4. La fermentation:

A la fin de la pré-fermentation, nous obtenons un mout qui servira à ensemercer le fermenteur avec un milieu nutritif bien spécifique. Après 18 à 20 heures de fermentation, nous obtenons la levure mère, qui va subir une séparation puis un stockage.

La levure mère obtenue va encore servir à la fermentation, par un ensemencement pour donner naissance à une levure commerciale.

5. La séparation:

La séparation se fait dans deux étapes de la fermentation : après l'obtention de la levure mère et la levure commerciale. Le moût obtenu à la sortie des fermenteurs contient les cellules de levures et une solution liquide qui présentent les restes du milieu nutritif.

Pour éliminer ces déchets nous utilisons un séparateur qui utilise comme principe la centrifugation, nous obtenons un liquide dense (crème) et un liquide léger (le moût). Ce dernier est rejeté vers les égouts.

6. Stockage de la crème :

La crème obtenue après la séparation est acidifiée par l'acide sulfurique à PH=2 pour éviter la contamination, et stockée à 5°C pour ralentir le métabolisme cellulaire.

7. Filtration :

Consiste à éliminer l'eau présente dans la levure pour la préserver d'une éventuelle contamination. La crème arrive au niveau d'un filtre rotatif qui contient une couche

Chapitre 2 : Etapes de production de la levure

filtrante d'amidon pour ne laisser pénétrer que l'eau. Du coup, la crème est étalée sur la surface de filtre et récupérée.



Figure 7 : Crème filtrée

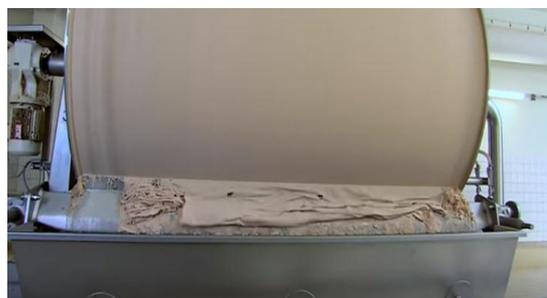


Figure 8 : Crème étalée sur la surface du filtre

8. Séchage :

Il augmente la durée de vie de la levure par la réduction de son humidité.

a. La levure sèche active ou SPH:

Sous forme de petits grains sphériques, sa durée de séchage est d'environ quatre heures pour une quantité de 400kg à 500kg, effectué à 45°C.

La levure sort du filtre à l'état pâteux et passe dans un mélangeur puis dans une grille percée de tous les côtés pour avoir une granulométrie bien déterminée. La levure granulée est récupérée dans des bols pour passer dans des séchoirs qui fonctionnent par l'envoi d'un courant d'air sec et chaud.

Le séchage de S.P.H se déroule en deux étapes :

1. Négliger la température de la levure et fixer celle de l'air d'entrée à 65°C dans le but d'éliminer l'eau de la surface.
2. Diminuer la température de l'air et augmenter la température de la levure jusqu'à 45°C pour éviter la détérioration des cellules sous l'influence de la chaleur

b. La levure sèche instantanée ou SPI:

Sous forme des bâtonnets, sa durée de séchage est d'environ 20min pour une quantité de 100kg. Son séchage se déroule en trois étapes :

1. Envoyer un courant d'air d'une température de 100°C sur les grains de levure pour éliminer l'eau externe au maximum.
2. Diminuer la température de la vapeur par rapport au produit pour éviter la mort des cellules.
3. Envoyer d'une manière continue et rapide des courants d'air sur les grains pour augmenter la teneur de matière sèche.

Chapitre 2 : Etapes de production de la levure

9. Emballage :

* **La levure fraîche:** l'emballage s'effectue grâce à une machine spéciale, construite d'une boudineuse, découpeuse et enveloppeuse. Quand le gâteau de la levure fraîche passe par cette machine, nous aurons à la fin un produit fini sous forme de paquets de poids nette de 500g, que nous mettons en cartons disposés sur des palettes de manière à avoir un vide entre eux pour faciliter la circulation d'air froid.

* **La levure sèche:** Après le séchage, la levure passe dans un appareil d'emballage spécifique qui aspire l'air des paquets pour une conservation à longue durée.

III. La levure sèche instantanée et l'émulsifiant :

Parmi les produits très connus de la société Lesaffre Maroc, nous avons la levure sèche instantanée.



Figure 9 : Levure sèche instantanée Rafiaa

Elle agit beaucoup plus rapidement que la levure normale car elle contient en complément de la levure déshydratée un émulsifiant et un antioxydant. Lors de la production de la levure précisément après l'étape de filtration, nous obtenons une crème à laquelle nous ajoutons l'émulsifiant avant de passer à l'étape séchage.



Figure 10 : Partie ajout de l'émulsifiant à la levure

Chapitre 2 : Etapes de production de la levure

L'émulsifiant en général est un additif alimentaire qui permet de créer une émulsion stable et homogène. Par exemple, l'eau et la graisse sont deux substances qui ne se mélangent pas, elles sont théoriquement non miscibles. Grace aux émulsifiants, la graisse et l'eau, peuvent être finement dispersées l'un et l'autre pour constituer un mélange uniforme. Il existe plusieurs types d'émulsifiants mais dans la levure de boulanger, nous utilisons l'émulsifiant E491 nommé monostéarate de sorbitan qui est un acide gras classique d'origine végétale ou animale.



Figure 11 : Emulsifiant E491

CHAPITRE 3: ANALYSE ET CONCEPTION

I. Système de gestion de l'émulsifiant :

L'utilisation de l'émulsifiant est dirigée par un système automatisé qui gère l'addition, le contrôle et la régulation du produit. Pour garder sa nature visqueuse, il faut respecter deux contraintes: le garder toujours en mouvement et sa température reste stable à 38°C.

Le schéma suivant illustre le processus de gestion:

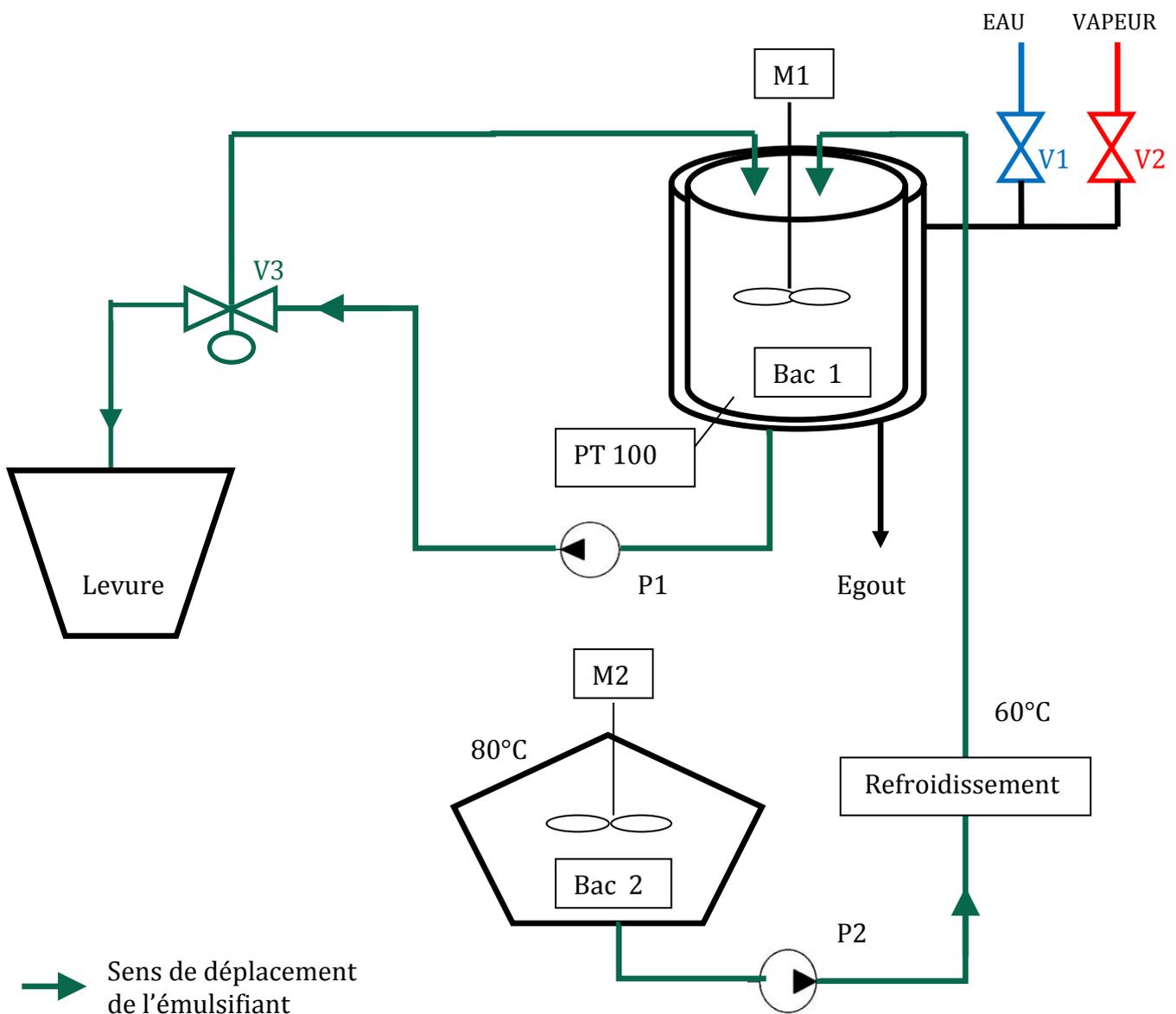


Figure 12 : Schéma du circuit de l'émulsifiant

Chapitre 3 : Analyse et conception

- La préparation de l'émulsifiant utilisable se fait au niveau de bac 2 comme suit : à l'aide du moteur M2, nous mélangeons l'émulsifiant, l'huile et l'eau. Ensuite, nous chauffons le mélange à 80°C.



Figure 13 : Emulsifiant agité par le moteur

- La pompe de circulation P2 aspire le contenu du bac 2 pour le verser dans le bac 1 après avoir baissé sa température à 60°C.



Figure 14 : image réelle du bac 2

- Le bac 1 contient l'émulsifiant utilisable et le moteur M1 l'agite en permanence.
- V1 est la vanne qui contrôle le passage de l'eau et V2 celui de la vapeur.
- PT100 est une sonde pour détecter la température à l'intérieur de bac 1.
- La pompe P1 aspire l'émulsifiant utilisable du bac 1 et le pousse vers la vanne V3. Cette dernière contrôle l'ajout de l'émulsifiant à la levure



Figure 15 : image réelle du bac 1

L'émulsifiant sort du bac 2 vers le bac 1 jusqu'au remplissage de ce dernier, puis il sort par un canal fixé en bas du bac 1. Si nous avons besoin d'ajouter l'émulsifiant à la levure, la vanne V3 s'ouvre et le laisse couler sinon elle reste fermée et le produit revient par un autre canal fixé sur la partie haute du bac 1. Alors, l'émulsifiant est toujours en mouvement.

La température au sein du bac1 doit être stable à 38°C. Pour cette raison si la température au sein du bac1 dépasse la valeur désirée, V1 s'ouvre et laisse l'eau passer pour la baisser. Dans le cas contraire, c'est-à-dire si la température est moins de 38°C, la vanne V2 s'ouvre et laisse la vapeur passer pour chauffer l'émulsifiant.

II. Problématique :

Pour rester leader mondial, la société Lesaffre Maroc est censée maîtriser le maximum possible ses coûts, ses délais et la qualité de ses services, tout en évitant les dérives qui impactent ses critères de performance.

D'après les problèmes rencontrés au cours des interventions des techniciens du service maintenance, il s'est avéré que la gestion de la température de l'émulsifiant a besoin d'amélioration précisément lors du chauffage.

Actuellement, la gestion de la température est commandée par un automate en utilisant la régulation « tout ou rien » qui représente les inconvénients suivants :

- 1- Cette régulation élabore une action de commande discontinue qui prend deux positions : 0% ou 100% (vanne ouverte ou fermée). Par exemple, si la valeur affichée par la sonde PT100 dépasse 38°C, la vanne V1 s'ouvre pour laisser couler l'eau et refroidir la température de l'émulsifiant sinon la vanne reste fermée.

Chapitre 3 : Analyse et conception

- 2- Elle est utilisée pour la commande des systèmes ayant une grande inertie ou la précision de régulation n'est pas importante. Par contre dans notre cas, la précision est importante car si nous chauffons l'émulsifiant plus que le nécessaire et nous l'ajoutons à la levure, cela va changer le dosage de cette dernière et diminuer la qualité du produit.
- 3- La nature visqueuse (annexe) de l'émulsifiant rend le chauffage de sa totalité (l'homogénéité de la température) très lent. En déclenchant le chauffage, la température des parties en contact avec le bac augmente alors que l'intérieur est toujours froid. Le fait d'exposer le bac à une vapeur de 120° de façon continue ne laisse pas à la chaleur le temps de se propager dans la totalité de l'émulsifiant. Et nous avons deux cas :

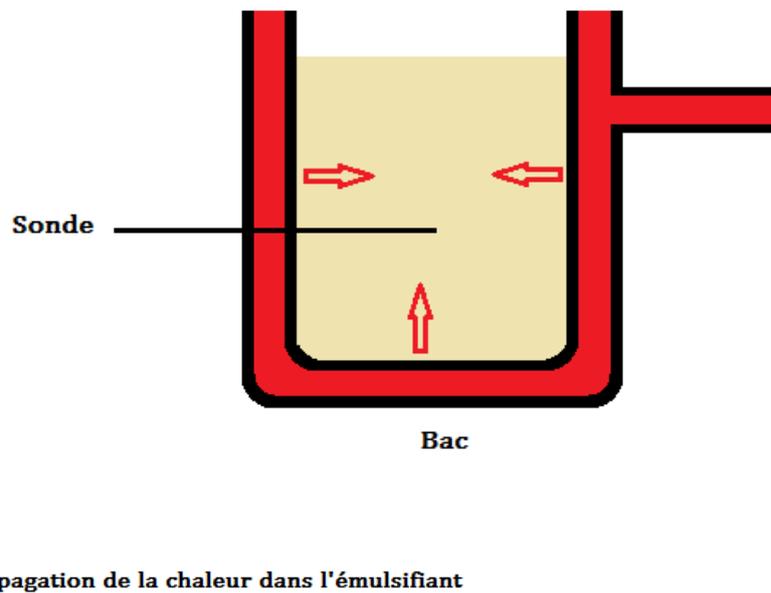


Figure 16 : Schéma de chauffage de l'émulsifiant

- ❖ **1^{er} cas :** Les parties en contact avec le bac atteignent la consigne alors que le centre (où se trouve le détecteur de la sonde) est toujours froid → consigne n'est toujours pas atteinte → chauffage toujours active.
- ❖ **2^{ème} cas :** Le centre atteint la consigne alors que les parties en contact avec le bac l'ont largement dépassée → consigne atteinte → chauffage désactivée.

Dans le 2^{ème} cas, le dépassement de la consigne au niveau des parties en contact avec le bac les brûlent et avec le temps la chaleur se propage vers le centre et cause même le dépassement de la consigne. Alors, le système de refroidissement se déclenche pour baisser la température (augmentée par erreur de mauvaise gestion du chauffage) donc c'est du gaspillage d'énergie.

Chapitre 3 : Analyse et conception

La régulation «tout ou rien» lors du chauffage de l'émulsifiant nécessite une fiabilisation. Par contre, dans le cas du refroidissement aucune anomalie n'a été détectée.

III. Cahier de charge:

L'objectif du projet est la fiabilisation du système de gestion automatisé de la température de l'émulsifiant en modifiant le type de régulation.

La nouvelle régulation doit respecter les conditions suivantes :

- 1- Si la sonde de température affiche une valeur plus grande que 38°C, le refroidissement se lance et s'arrête quand nous atteignons la valeur désirée.
- 2- Si la sonde de température affiche une valeur plus petite que 38°C, le chauffage se lance et s'arrête une fois la température désirée est atteinte.
- 3- Le chauffage ne se lance pas d'une façon continue pour laisser à la chaleur le temps de se propager dans l'émulsifiant.
- 4- Garder le matériel actuel utilisé par la société: garder le même automate et les mêmes vannes.

IV. Proposition des solutions techniques:

Le terme de régulation est employé lorsqu'on cherche à combattre des perturbations afin de garder une valeur constante par exemple la température.

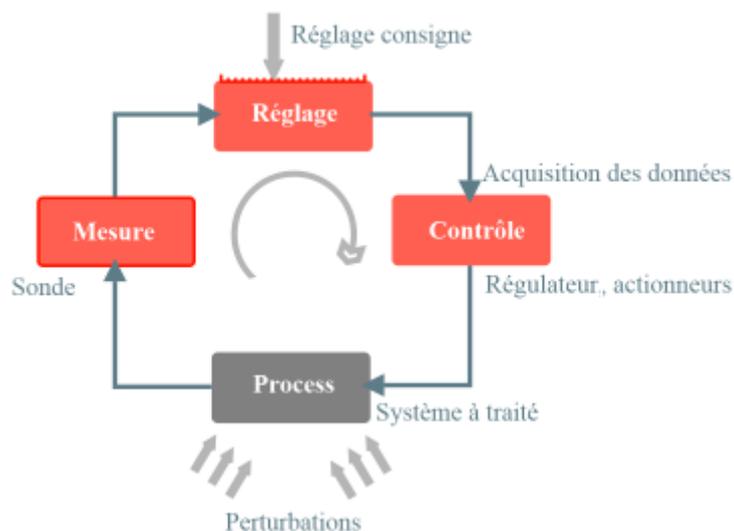


Figure 17 : Schéma du cycle de régulation de la température

La régulation mesure en permanence, par le biais de sonde, la température du système à régler. Ensuite, elle transmet ces informations au régulateur qui compare cette mesure à

Chapitre 3 : Analyse et conception

la consigne. Après, suivant son algorithme, le régulateur va transmettre ses ordres aux actionneurs « vannes » afin de corriger les perturbations.

1. Solution technique N°1: régulation PID

Le régulateur PID, appelé aussi correcteur PID (Proportionnel, Intégral, Dérivé) est un algorithme de calcul qui délivre un signal de commande à partir de la différence entre la consigne et la mesure. La grandeur réglée en PID est le résultat de la somme des trois composantes suivantes:

a. La composante proportionnelle: P

L'action proportionnelle applique une correction instantanée pour tout écart entre la mesure et la consigne: plus la perturbation est grande, plus la correction apportée est grande.

Par exemple dans notre cas, la consigne est 38°C. Si la température de l'émulsifiant est inférieure à la consigne, nous le chauffons en ouvrant la vanne proportionnelle de la vapeur comme suit :

Température mesurée par la sonde	Ecart	Pourcentage d'ouverture de la vanne
32°C	6°C	100%
35°C	3°C	50%
36°C	2°C	33%

Nous constatons que l'ouverture de la vanne est proportionnelle à l'écart, plus l'écart est grand, plus le pourcentage d'ouverture de la vanne est grand.

Bande proportionnelle: BP est l'écart entre la valeur mesurée et la valeur de la consigne. Dans le cas précédent, la BP= 6°C mais si la vanne est 100 % ouverte en dessous de 35 °C, alors la BP= 3°C. ET si la BP est nulle, la régulation fonctionne en « tout ou rien ».

Chapitre 3 : Analyse et conception

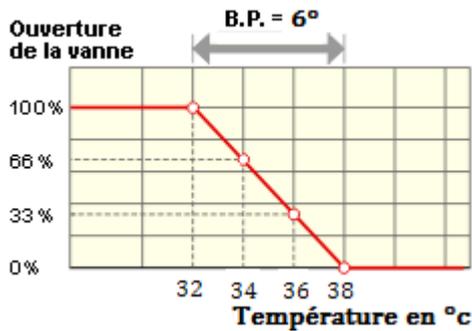


Figure 18 : graphe pour BP=6°C

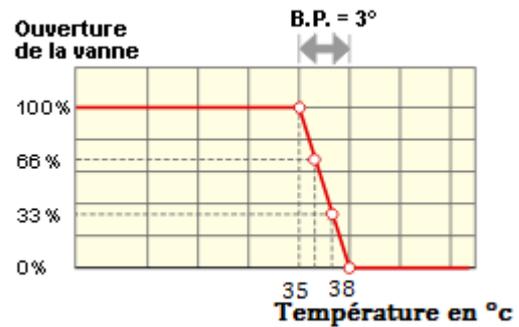


Figure 19 : Graphe pour BP=3°C

Cette composante seule ne permet pas une grande précision, nous constatons toujours un écart entre la consigne et la température atteinte après la régulation.

b. La composante intégrale: I

Elle est proportionnelle à l'intégration de l'écart dans le temps, c'est-à-dire proportionnelle à la somme de tous les écarts mesurés en permanence.

Si après l'action de la composante proportionnelle, la température se stabilise à 37°C, donc un écart de 1°C subsiste. Tous les "pas de temps", le régulateur va mesurer cet écart et l'additionner à la valeur d'une case "mémoire". L'ouverture de la vanne sera donnée par la somme des deux composantes (P et I). Tant que la consigne ne sera pas atteinte, la composante Intégrale augmentera, la vanne s'ouvrira un peu plus, jusqu'à atteindre cette fois la consigne.

A son tour cette composante intégrale ne peut pas travailler seule car elle est trop lente pour réagir efficacement à des variations de la demande thermique. Il faudrait diminuer son pas de temps (diminuer le "temps d'intégration").

c. La composante dérivée : D

Sa valeur est grande tant que l'écart varie rapidement, c'est-à-dire tant que la "dérivée" de l'écart par rapport au temps est élevée. Cette action permet d'anticiper la réponse de la régulation en cas de perturbation rapide ou de modification de consigne ce qui améliore la stabilité du système. Nous pouvons donc dire que cette composante permet de compenser tout dépassement excessif de la consigne.

Avec cette régulation, le pourcentage d'ouverture de la vanne vapeur sera le résultat de l'addition de trois grandeurs : une composante proportionnelle à l'écart existant (P), une composante proportionnelle à l'intégrale de l'écart dans le temps (I) et une composante proportionnelle à la dérivée de l'écart (D). Donc c'est une régulation efficace par contre, nous devons remplacer la vanne « tout ou rien » par une vanne proportionnelle.

2. Solution technique N°2: régulation MLI

MLI est une méthode qui permet de générer un signal analogique en utilisant une source numérique. Un signal MLI est constitué de deux composantes principales qui définissent son comportement : un rapport cyclique et une fréquence. Par exemple :

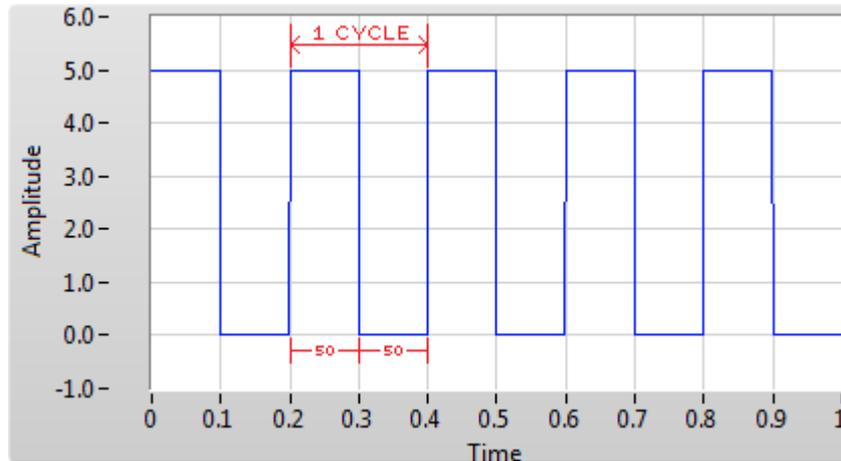


Figure 20 : Graphe d'un signal MLI

$$\text{rapport cyclique} = \frac{\text{durée du signal à l'état haut}}{\text{durée d'un cycle complet}} = \frac{0,1}{0,2} = 50\%$$

$$\text{fréquence} = \frac{1}{\text{durée d'un cycle complet}} = \frac{1}{0,2} = 5 \text{ Hz}$$

La fréquence détermine la vitesse à laquelle le MLI effectue un cycle (dans le cas précédent la fréquence égale 5 cycles par seconde) et par conséquent à quelle vitesse il passe de l'état haut à l'état bas et vice versa. En changeant l'état d'un signal numérique suffisamment rapidement, et avec un certain rapport cyclique, la sortie donnera l'apparence de se comporter comme un signal analogique à tension constante lorsqu'elle alimente des périphériques.

Exemple:

Pour créer un signal de 3V, étant donné une source numérique qui peut être haute (active) à 5V ou basse (inactive) à 0V, je peux utiliser la MLI avec un rapport cyclique de 60% pour renvoyer 5V 60 % du temps. Si les cycles du signal numérique sont suffisamment courts, la tension visible sur la sortie semble être la tension moyenne. Si la tension basse du signal numérique est 0 V (généralement le cas) :

$$\begin{aligned} \text{tension moyenne} &= \text{la tension haute du signal} \times \text{le rapport cyclique} \\ &= 5 \times 0,6 = 3\text{V} \end{aligned}$$

Chapitre 3 : Analyse et conception

Dans le cas précédent : **tension moyenne** = $5 \times 0,5 = 2,5 V$

Les signaux MLI sont utilisés dans une grande gamme d'applications de contrôle. Ils sont principalement utilisés pour contrôler des moteurs CC mais peuvent également servir à contrôler des pompes, des systèmes hydrauliques, des vannes, et d'autres pièces mécaniques.

Dans notre cas, pour laisser à la chaleur le temps pour se propager dans l'émulsifiant, il faut utiliser la régulation MLI lors du chauffage. Autrement dit, le cycle se composera de deux parties :

- Etat haut → vanne vapeur ouverte → chauffage activé,
- Etat bas → vanne vapeur fermée → chauffage désactivée.

Alors durant l'état haut les parties de l'émulsifiant en contact avec le bac vont se chauffer et durant l'état bas cette chaleur va se propager dans l'émulsifiant jusqu'à l'intérieur. Ce cycle va se reproduire jusqu'à l'atteinte de la consigne, 38°C.

V. Conclusion:

Après l'analyse de la problématique, il s'est avéré que deux solutions sont aptes de la résoudre : la régulation PID et la régulation MLI.

En ce qui concerne la régulation PID, elle est coûteuse vu qu'elle nécessite une nouvelle vanne de type proportionnelle. Pour la régulation MLI, le cahier de charge est parfaitement respecté vu qu'elle répond au besoin tout en gardant le matériel utilisé actuellement au sein de la société. Du coup, j'ai opté pour la réalisation de la deuxième solution technique qui est la régulation MLI.

CHAPITRE 4: ETUDE TECHNIQUE **DU PROJET**

I. Outils d'automatisation de la régulation de la température:

Actuellement, la gestion de la température est commandée par l'automate Siemens I7-300 qui est programmé via le logiciel « Step 7tia portal v13». Alors je commence par définir cet automate et ce logiciel :

1. Automate Siemens S7-300:

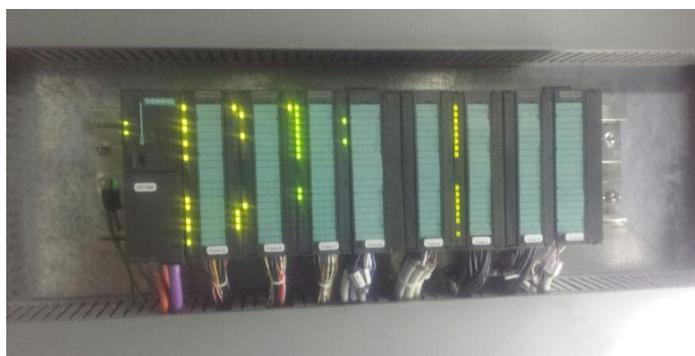


Figure 21 : Automate gérant la régulation

Cet automate programmable industriel (API) de type S7-300 de la famille comprend :

➤ **Unité de traitement CPU:**

CPU ou processeur est le composant chargé d'assurer le contrôle de l'ensemble de la machine et d'effectuer les traitements demandés par les instructions des programmes.

➤ **Module d'alimentation « PS »:**

C'est un module qui est destiné à transformer la tension du réseau en tension continue pour l'alimentation de la CPU et éventuellement les modules d'entrée/sortie de l'API.

Cette alimentation ne fournit normalement pas de tension pour les signaux entrants des modules d'entrées/sorties.

➤ **Les modules d'entrées:**

Ils permettent de recueillir les informations délivrées par les capteurs des processus. Les critères de choix d'un module d'entrées sont :

- * Nature (logique-analogique).
- * Nombres d'entrée par module.
- * Nature et niveau de tension.

Chapitre 4 : Etude technique du projet

➤ Les modules de sorties:

Ils permettent l'adaptation et le transfert des signaux délivré par la CPU après traitement du programme vers les actionneurs du processus industriel. Ils sont raccordés aux lampes, électrovannes, contacteurs etc. ...

Les critères de choix d'un module de sortie sont :

- * Nature (logique analogique).
- * Nombre de sortie par module.
- * Nature et niveau de tension.
- * Courant de sortie maximal.
- * Nature de la protection du module.

➤ Carte mémoire :

Une carte mémoire EEPROM peut être montée sur l'API. Elle conserve le contenu du programme en cas de coupure de courant, même à l'absence de la pile.

2. Step 7 tia portal v13:

Ce logiciel garantit une efficacité nettement supérieure pour toutes les tâches d'automatisation, qu'il s'agisse de la programmation, de la simulation, de la mise en service ou de la maintenance.

Parmi les fonctions de ce logiciel, je cite l'éditeur graphique qui permet de configurer une installation entière en toute simplicité. L'éditeur propose trois vues afin de bien marquer la différence entre la mise en réseau et la configuration des appareils :

- la vue du réseau pour créer graphiquement les liaisons entre appareils.
- La vue topologique représente l'interconnexion réelle des appareils PROFINET.
- la vue des appareils pour le paramétrage et la configuration des différents appareils.

Comme suit :

Chapitre 4 : Etude technique du projet

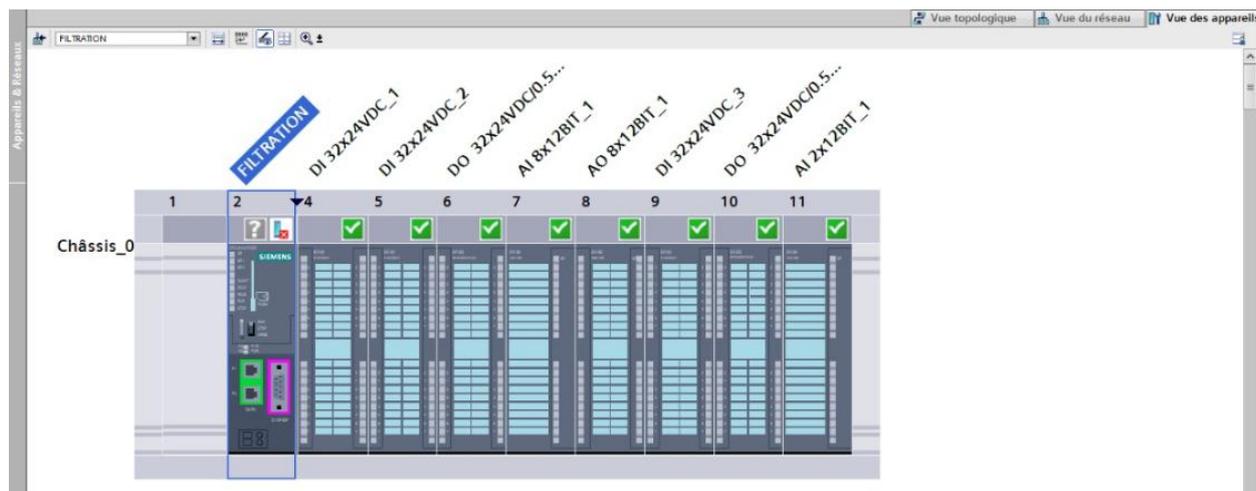


Figure 22 : Vue des appareils de l'automate

Ici nous avons le châssis, le bloc nommé FILTRATION (car l'utilisation de l'émulsifiant est liée à l'étape de filtration) est le CPU et à droite nous avons les cartes d'entrées et de sorties.

Le langage de programmation « STEP7 tia portal v13 » dispose de plusieurs modes de programmation selon les connaissances. En respectant certaines règles, le programme peut être conçu sous forme de liste d'instructions puis converti en un autre mode de programmation.

- Langage Cont ou ladder : Pour l'habitué des schémas électriques,
- Langage log : Pour le spécialiste des circuits ou le programmeur préférant les opérations logiques.
- Langage List: c'est un langage de programmation textuel proche de la machine. Dans un programme LIST, les différentes instructions correspondent, dans une large mesure, aux étapes par lesquelles la CPU traite le programme

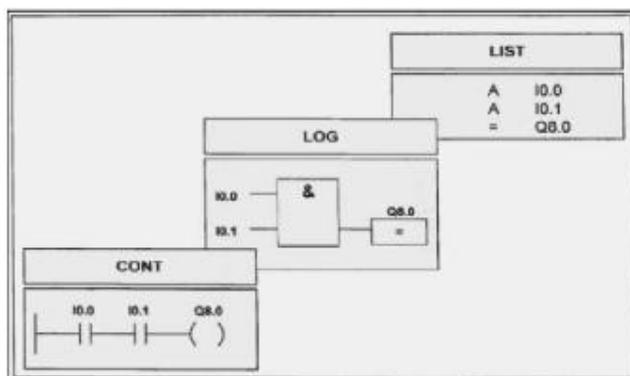


Figure 23 : les langages de programmation STEP 7 tia portal v13

Chapitre 4 : Etude technique du projet

II. Programmation de la régulation pour l'API:

1. Les conditions pour réguler la température:

Afin d'effectuer la régulation de la température de l'émulsifiant plusieurs conditions doivent être satisfaites comme suit:

➤ Possibilité de démarrer le refroidissement:

Avant de vérifier si la température de l'émulsifiant est supérieure à la consigne, il faut vérifier la possibilité de démarrer le refroidissement comme suit :

- Absence de l'arrêt d'urgence,
- Absence de l'arrêt refroidissement,
- Présence de marche refroidissement ou de l'auto maintien (vu que le bouton « marche » est un bouton poussoir)

➤ Refroidissement :

Pour ouvrir la vanne de l'eau froide et refroidir l'émulsifiant, il faut avoir:

- Température affichée par la sonde supérieure à 38°C (la consigne),
- Possibilité de démarrer le refroidissement valide,
- Absence de la commande chauffage.

➤ Possibilité de démarrer le chauffage:

Avant de vérifier si la température de l'émulsifiant est inférieure à la consigne, il faut vérifier la possibilité de démarrer le chauffage comme suit :

- Absence de l'arrêt d'urgence,
- Absence de l'arrêt chauffage,
- Présence de « marche » chauffage ou de l'auto maintien (vu que le bouton « marche » est un bouton poussoir)

➤ Chauffage via la régulation MLI:

Les conditions pour ouvrir la vanne de la vapeur et chauffer l'émulsifiant sont:

- Température affichée par la sonde inférieure à 38°C (la consigne),
- Possibilité de démarrer le chauffage valide,
- Absence de la commande refroidissement.

2. Les commandes de la régulation:

L'API vérifie via ses entrées si les conditions citées précédemment sont satisfaites pour commander l'ouverture et la fermeture des vannes via ses sorties. D'après le cahier de charge, pour le refroidissement je vais utiliser la régulation « tout ou rien » comme suit :

Chapitre 4 : Etude technique du projet

- Toutes les conditions de refroidissement sont satisfaites → vanne d'eau froide ouverte.
- Une seule condition parmi celles de refroidissement n'est pas valide → vanne d'eau froide fermée.

D'autre part, je vais utiliser la régulation MLI pour le chauffage. Lorsque toutes les conditions de chauffage sont satisfaites, la vanne de vapeur s'ouvre et reste ouverte pendant une durée A après se ferme et reste fermée pendant une durée B puis se réouvre et reste ouverte pendant la durée A et ainsi de suite. Le cycle se reproduit et s'arrête une fois une seule condition parmi celles de chauffage n'est plus satisfaite.

Pour choisir la durée A et la durée B, j'ai fait plusieurs essais mais les deux valeurs qui permettent d'avoir une régulation fiable sont 30 secondes pour A et 60 secondes pour B.

3. Programme pour l'API:

Actuellement, l'API S7-300 effectue plusieurs tâches en plus de la régulation de la température de l'émulsifiant. Il contient un programme long qui comprend plusieurs blocs de données et instructions. Alors j'accède au bloc de données concernant la température de l'émulsifiant pour supprimer l'ancien programme et implanter le nouveau en utilisant le langage de programmation CONT.

J'ai programmé en utilisant les éléments suivants:

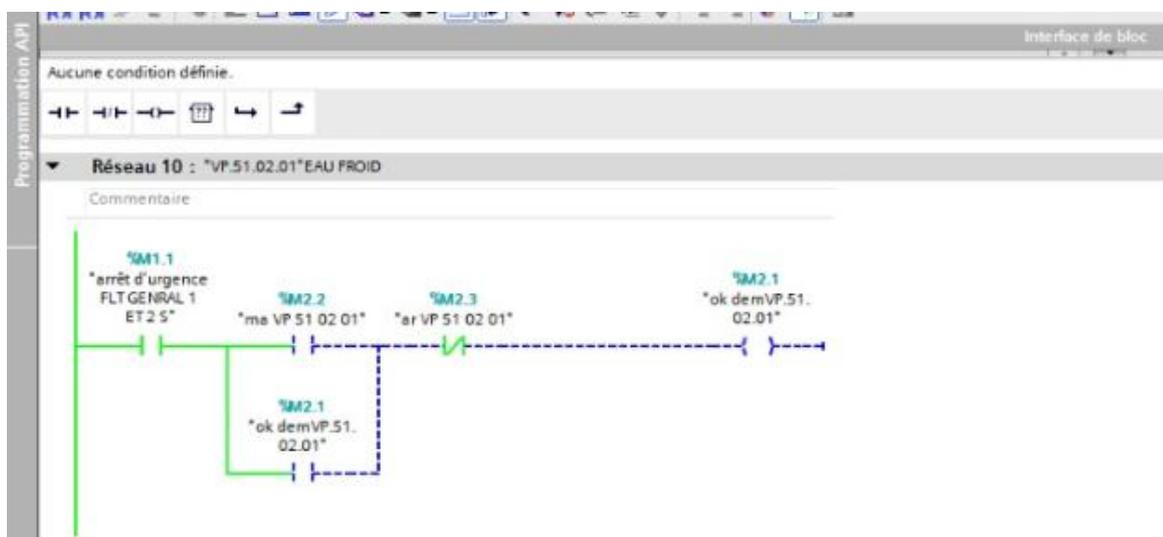
Adresse	Signification
%M1.1	Bouton pour l'arrêt général d'urgence
%M2.2	Bouton poussoir pour démarrer le refroidissement
%M2.3	Bouton pour arrêter le refroidissement
%M2.1	Possibilité de démarrer le refroidissement
%M814.7	Marche du chauffage
%M815.1	Arrêt du chauffage
%M815.0	Possibilité de démarrer le chauffage
%M815.3	Sortie du temporisateur de la marche du chauffage
%M815.4	Sortie du temporisateur de l'arrêt du chauffage
%DB90	Temporisateur de la marche du chauffage
%DB130	Temporisateur de l'arrêt du chauffage
%M581.1	Pour que le bloc reste toujours actif

Chapitre 4 : Etude technique du projet

%M815.2	Sortie de la MLI
%MD318	Comparaison de la température actuelle avec la consigne. Bit=1 si consigne<= température mesurée
%Q12.0	Sortie ouverture de vanne d'eau froide
%Q13.3	Sortie ouverture de vanne de vapeur
%DB90.DBX6.0	Sortie de la MLI
%MD314	Comparaison de la température actuelle avec la consigne. Bit=1 si consigne>= température mesurée

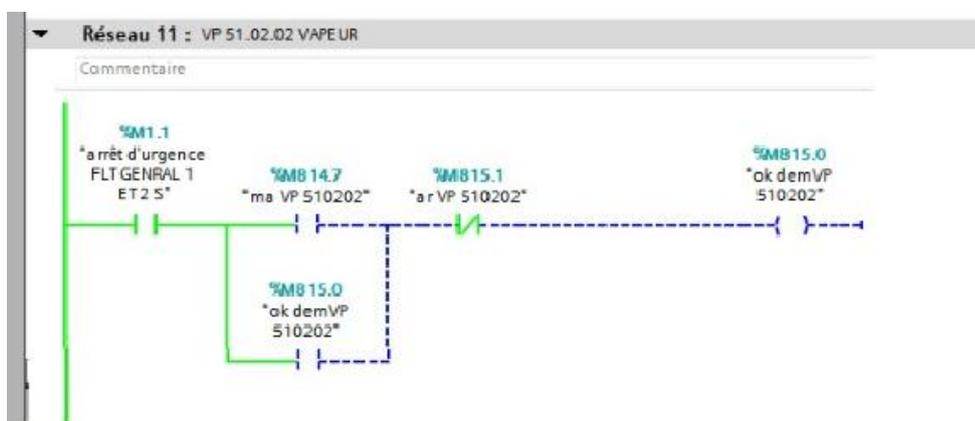
Le programme contient 5 réseaux :

- réseau 10 qui contrôle la Possibilité de démarrer le refroidissement



La sortie %M2.1 est utilisée comme contact en parallèle avec le contact de démarrage pour assurer l'auto maintien de la commande « marche »

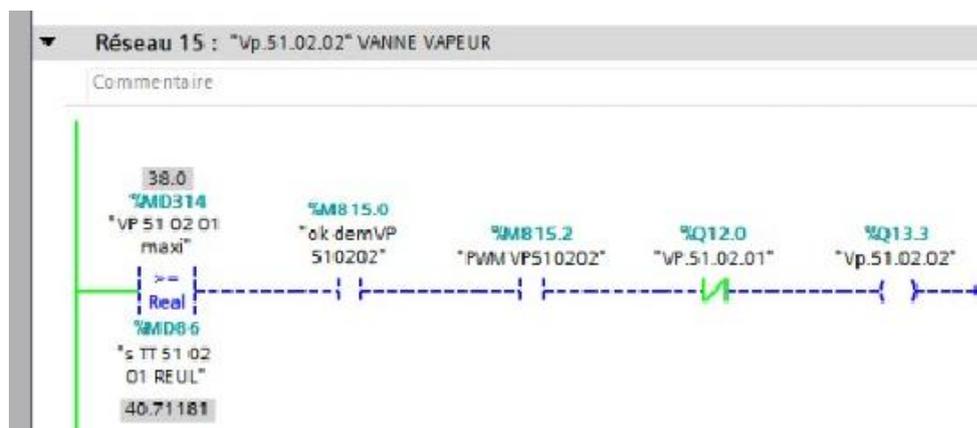
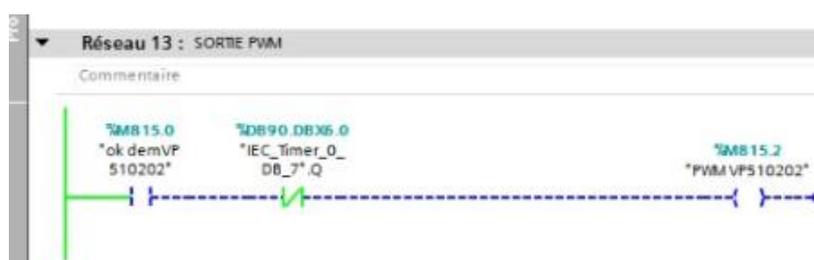
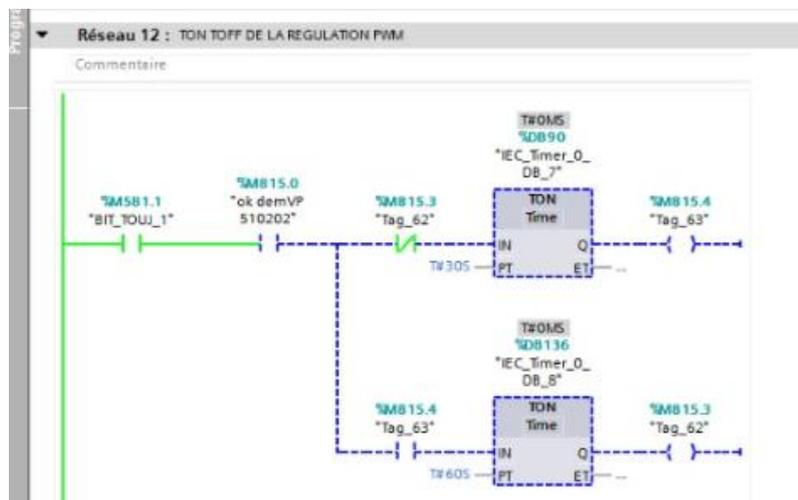
- Le réseau 11 contrôle la Possibilité de démarrer le chauffage



Chapitre 4 : Etude technique du projet

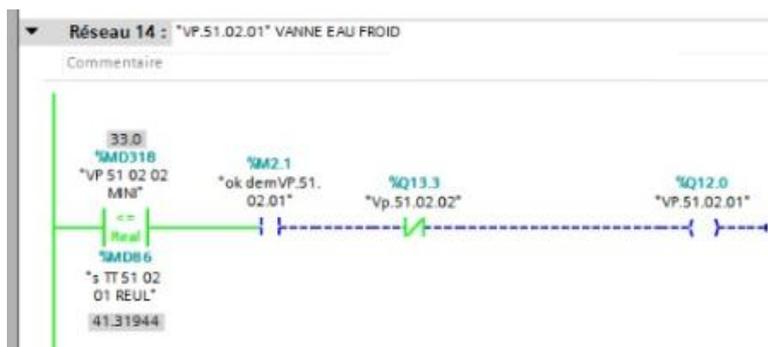
La sortie %M815.0 est utilisée comme contact en parallèle avec le contact de démarrage pour assurer l'auto maintien de la commande « marche »

- Réseaux 12, 13 et 15 pour commander la vanne de la vapeur.



- Réseau 14 pour commander la vanne de l'eau froide.

Chapitre 4 : Etude technique du projet



4. Simulation du programme :

Parmi les fonctions du logiciel Step 7 tia portal v13, nous avons la simulation. Dans la fenêtre Navigateur du projet, je choisis « SIMATIC HMI » pour superviser la régulation de la température de l'émulsifiant afin de vérifier la fiabilité de mon programme.

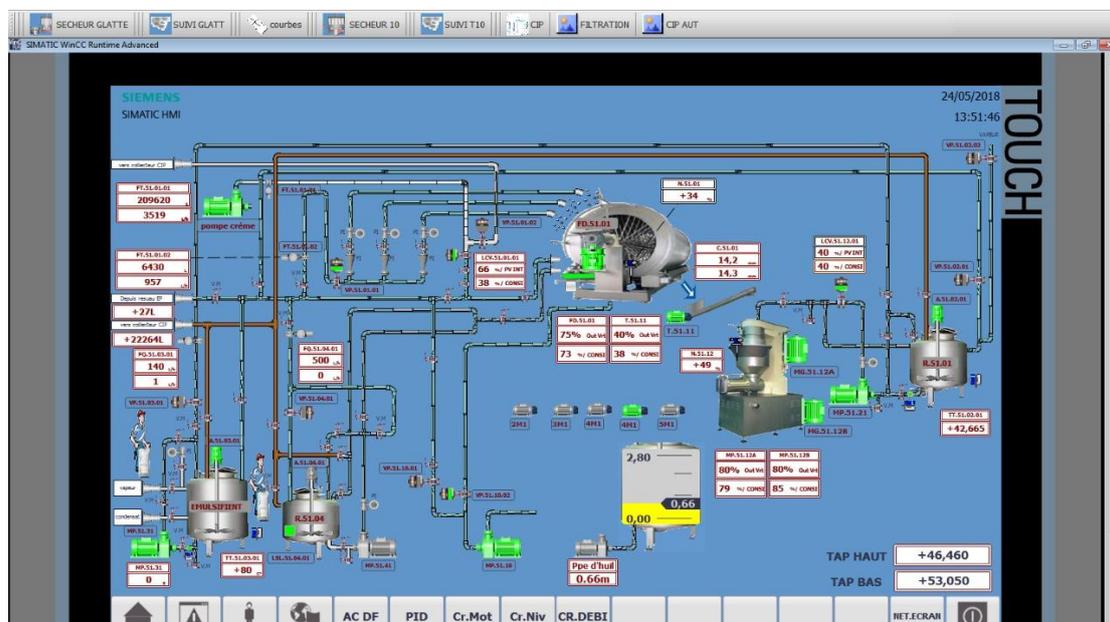


Figure 24 : Fenêtre de simulation Simatic MHI

Sur la figure, nous voyons qu'au début la sonde affichait 42,665°C

Chapitre 4 : Etude technique du projet

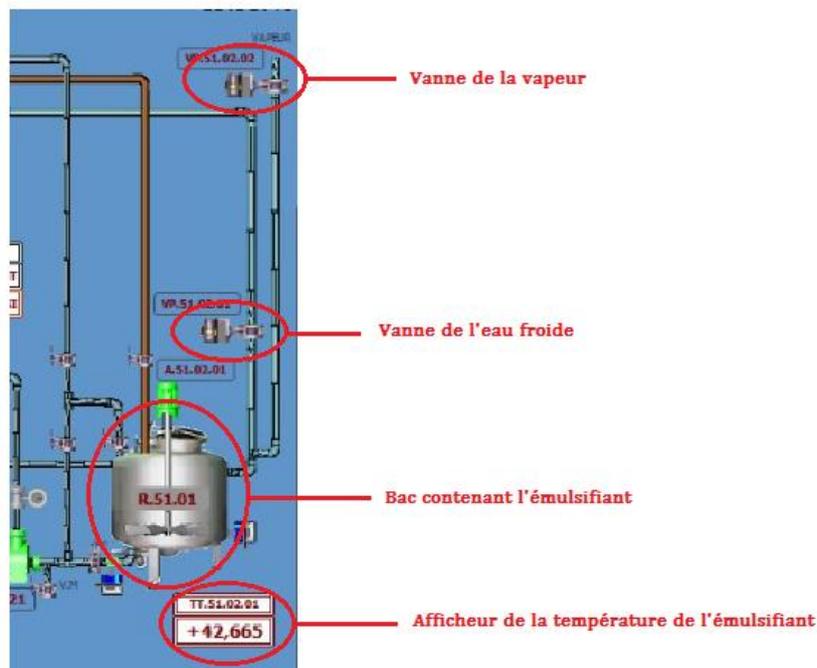


Figure 25 : Partie de simulation concernant l'émulsifiant

Après le lancement du programme, la température commence à diminuer. Exactement après 10 minutes, la nouvelle température affichée est 40,148°C.

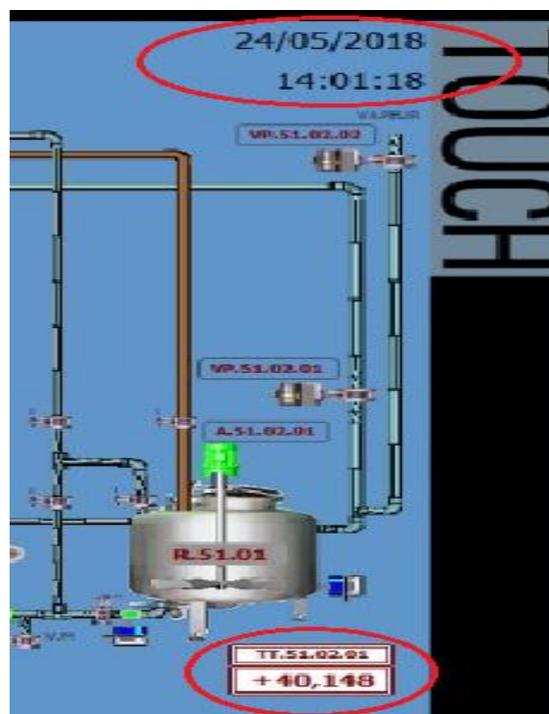


Figure 26 : Diminution de la température

Et la température continue à diminuer jusqu'à l'atteinte de la consigne. Alors le nouveau programme est fiable et j'ai réussi à atteindre l'objectif de mon projet.

CONCLUSION

Le projet de fin d'études que j'ai effectué au sein de société Lesaffre Maroc a été une occasion pour mettre en pratique mes connaissances acquises lors de mon cursus universitaire à la Faculté des Sciences et Techniques. La problématique à laquelle j'ai essayé de porter une solution était la régulation de la température de l'émulsifiant.

Après étude de l'existant et vu les contraintes imposées par le sujet: garder tout le matériel et ne modifier que le programme de l'API, j'ai proposé la solution de la régulation MLI (PWM).

J'ai réalisé le programme via le logiciel step 7, que j'ai simulé pour montrer son bon fonctionnement.

Par ailleurs, ce stage a été pour moi une occasion d'intégrer le monde du travail, il m'a permis de montrer mes capacités à travailler en équipe. J'ai aussi appris de nouvelles choses comme programmer à step 7, j'ai essayé de mettre mes connaissances au service de la société et j'espère que j'ai été à la hauteur de leurs attentes.

LISTE DES FIGURES :

Figure 1 : Logo de l'hirondelle.....	7
Figure 2 : Tambour rotatif	7
Figure 3 : Organigramme de Lesaffre Maroc	9
Figure 4 : Organigramme du service entretien et travaux neufs.....	10
Figure 5 : Image microscopique de la levure.....	11
Figure 6 : Filtre rotatif de la levure	11
Figure 7 : Crème filtrée	14
Figure 8 : Crème étalée sur la surface du filtre.....	14
Figure 9 : Levure sèche instantanée Rafiaa.....	15
Figure 10 : Partie ajout de l'émulsifiant à la levure	15
Figure 11 : Emulsifiant E491	16
Figure 12 : Schéma du circuit de l'émulsifiant.....	17
Figure 13 : Emulsifiant agité par le moteur	18
Figure 14 : image réelle du bac 2	18
Figure 15 : image réelle du bac 1	19
Figure 16 : Schéma de chauffage de l'émulsifiant.....	20
Figure 17 : Schéma du cycle de régulation de la température.....	21
Figure 18 : graphe pour BP=6°C	23
Figure 19 : Graphe pour BP=3°C.....	23
Figure 20 : Graphe d'un signal MLI	24
Figure 21 : Automate gérant la régulation	26
Figure 22 : Vue des appareils de l'automate.....	28
Figure 23 : les langages de programmation STEP 7 tia portal v13.....	28
Figure 24 : Fenêtre de simulation Simatic MHI	33
Figure 25 : Partie de simulation concernant l'émulsifiant.....	34
Figure 26 : Diminution de la température.....	34
Figure 27 : Sonde PT 100	38

BIBLIOGRAPHIE ET **WEBOGRAPHIE**

- SAHIL Faiza (Juin 2013), **Amélioration de la Communication Portique/Spreader et Réalisation d'un Simulateur Intelligent pour Spreader « BROMMA ».**
- BENNANI Leila (Juin 2017), **Evaluation des taux de sucre et matières sèches dans la mélasse au cours de son traitement**
- MOUTEI Amine (Juin 2010), **Vérification d'un nouveau test de conservation et comparaison statistique des trois boudineuses de production de la levure fraîche.**
- ETTALEBY Nabil (2013), **Réalisation d'un système automatique pour la régulation de température et asservissement du groupe froid.**
- <https://www.abcclim.net/regulation-p-pi-pid.html>
- <http://www.dailymotion.com/video/x428r5j>
- https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9gulateur_PID
- <http://docplayer.fr/56993308-Projet-de-fin-d-etudes.html>
- https://www.automation.siemens.com/salesmaterial-as/brochure/fr/brochure_simatic-step7_tia-portal_fr.pdf
- <https://www.youtube.com/watch?v=y8LmHhPooeA>
- <http://www.lesaffre.com/fr/>
- <http://forumpme.ma/societe-lesaffre-maroc-344.html>

ANNEXE :

➤ La sonde PT100 :

Les sondes utilisés sont des capteurs de températures de type PT100 sont des dispositifs permettant de transformer l'effet du réchauffement ou du refroidissement sur leurs composants en signal électrique.

La sonde PT100 permet de mesurer le changement de résistivité d'un filament de platine enroulé autour d'une tige de verre. En général, les sondes PT100 ont une valeur de résistivité de 100 ohms pour 0°C.

La variation de résistivité est environ de 0.4 ohms/°, avec une précision de +/- 0.3° (classe) ou +/- 0.1° (classe A).



Figure 27 : Sonde PT 100

➤ Viscosité :

Propriété de résistance à l'écoulement uniforme et sans turbulence se produisant dans la masse d'une matière.

Elle est exprimée par un coefficient représentant la contrainte de cisaillement nécessaire pour produire un gradient de vitesse d'écoulement d'une unité dans la matière. La simple observation de l'écoulement d'un fluide tel que l'eau ou l'air met en évidence sa plus ou moins grande propension à évoluer d'un mouvement d'ensemble plutôt que par parcelles autonomes : on dit qu'il présente alors une plus ou moins grande viscosité. À travers ce terme évocateur, ce sont donc des propriétés cinématiques (liées au déplacement du fluide) et des propriétés physiques (liées à la nature du fluide) que l'on fait intervenir en commun pour décrire un des aspects du comportement d'un fluide en mouvement relatif.