



Mémoire de Projet de fin d'étude

Préparé par

Rababe FENNIRI & Nawal RAMI

Pour l'obtention du diplôme

Ingénieur d'Etat en

SYSTEMES ELECTRONIQUES & TELECOMMUNICATIONS

Intitulé

**Régulation de la densité du lait de chaux au
niveau de la station four à chaux**

Encadré par :

Pr Mhamed LAHBABI

Mr Abdelhamid NIAANIAA

Soutenu le 27 Juin 2016, devant le jury composé de :

Pr Mhamed LAHBABI.....: Encadrant

Pr Elhossain Abarkane : Examineur

Pr Najiba EL Amrani El Idrissi : Examineur

Dédicace

♥ *A ma très chère mère :*

Aucune expression ne peut suffire pour te traduire véritablement tous mes sentiments de respect, de considération, de gratitude et de l'amour sincère et éternel que j'inspire à ton égard pour les sacrifices que tu ne cesses de consentir pour le bien de mon éducation , de ma formation et de mon bien être. Que Dieu, le tout puissant, te protège et t'accorde santé et longue vie.

♥ *A la mémoire de mon père avec lequel je n'aurais pas le plaisir de partager cet évènement :*

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour toi. Je te dédie aujourd'hui ma réussite. Que Dieu, le miséricordieux, t'accueille dans son éternel paradis.

♥ *A tous mes chers amis, à toute ma famille :*

Je vous dédie ce mémoire pour l'amitié qui nous lie et en témoignage de tous les merveilleux moments vécus ensemble. Que Dieu vous protège et vous comble de bonheur et de santé.

Je vous dédie ce travail en signe de reconnaissance à vos précieux conseils et en guise de témoignage des liens d'amitié qui nous unissent.

Rababe

Dédicace

A mes très chers parents,

Que nulle dédicace ne puisse exprimer ce que je leurs dois, pour leur bienveillance, leur affection, leur soutien et leurs sacrifices...Que dieu vous garde et vous accorde santé et longue vie.

A mes chers frères et sœurs,

Veillez accepter l'expression de ma profonde gratitude pour votre soutien, encouragements et affection.

A mes chers amis,

Je vous dédie ce travail et je vous remercie infiniment pour votre soutien

A tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail

Nawal

Remerciement

Avant tout remerciements, louange à Dieu. Nous tenons à remercier dans un premier temps Mr **Ali EL MOUJAHID**, Directeur de la SUTA et Mr **Abderrahim HASSANI**, Directeur d'usine qui nous ont donné l'occasion d'avoir cette expérience, nous les remercions pour leurs confiances et leur soutien matériel durant la période de notre stage.

Au terme de ce travail, un témoignage particulier de gratitude et de remerciements est exprimé à tout le corps professoral du département de régulation pour tous les efforts consentis afin de nous partager leur savoir et l'intérêt constant qu'ils ont porté à notre formation.

Nous exprimons nos vifs remerciements à nos encadrants Mr.**Lahcen BOUYAAKOUB**, et Mr. **NIAANIAA**, pour leurs suggestions, leurs conseils les plus précieux, leur serviabilité, leur appui et leur suivi pendant l'élaboration de notre projet.

Nous sommes très reconnaissantes à Mr. **Said AKERCHAOU**I, technicien conducteur à l'atelier de régulation pour son accompagnement et ses efforts déployés pour la réussite de notre travail.

Nos remerciements les plus sincères à notre encadrant pédagogique Mr. **Mhamed LAHBABI**, pour avoir accepté de nous encadrer dans ce travail. Un grand merci pour son soutien inconditionnel, sa disponibilité, ses conseils, son apport dans le projet et l'aide permanente qu'il nous a prodiguée.

Nous remercions également tous les membres du jury d'avoir accepté d'évaluer la pertinence de notre travail.

Enfin, nous remercions toute personne qui a concouru de près ou de loin à l'aboutissement de ce travail.

Résumé

Ce projet de fin d'étude a pour ambition de déterminer une boucle de régulation de la densité du lait de chaux au niveau de la station Four à chaux de la Compagnie Sucrière Marocaine (COSUMAR) du TADLA.

La station four à chaux nécessite un suivi particulier, car en effet le liquide produit par cette station joue un rôle très important au niveau de l'épuration et aussi peut influencer négativement le produit à la fin du processus qui est le sucre, ainsi la réputation de l'usine.

Par ailleurs, la raison d'être de notre projet réside dans le but de maintenir la valeur de la densité du lait de chaux produit par la station dans un intervalle donné afin de pouvoir l'utiliser dans la station d'épuration pour éliminer les bactéries existant dans le jus de sucre, et donc obtenir du sucre de bonne qualité.

Pour ces raisons, nous allons analyser attentivement l'état actuel, pour pouvoir élaborer une solution qui répond au cahier de charge. Et pour satisfaire à ce dernier, nous allons suivre la méthodologie suivante :

- ❖ Un diagnostic complet de l'état actuel
- ❖ Identification des différentes sources ainsi que les équipements provoquant les imprécisions
- ❖ Proposition d'une solution permettant d'éliminer les imprécisions
- ❖ Analyse de la solution proposée
- ❖ Exécution et validation de la solution.

Abstract

The purpose of this final project study is to determine a control loop of the lime milk's density in the lime kiln station in the Moroccan Sugar Company (COSUMAR) of TADLA.

The lime kiln station requires special monitoring, because indeed the liquid produces by this station plays a very important role at the level of purification, and also can influence negatively the product at the end of the process which is the sugar, so the reputation of the company will be affected.

Otherwise, the objectif of our project is to maintain the value of the density of the lime milk produced by the station in a certain range, in order to use it in the purification station for eliminate bacteria existing in the juice of sugar, and therefore get a sugar with high quality.

For these reasons, we will attentively analyse the current state for being able to elaborate a solution which meet the requirements. And for satisfying this last, we opted for the following methodology :

- ❖ A complete diagnosis of the current state
- ❖ Identification of different sources and equipment causing vagueness
- ❖ Proposal of a solution allowing to eliminate vaguenesse
- ❖ Analysis of the solution proposed
- ❖ Execution and validation of the solution

Sommaire

Dédicace	1
Dédicace	2
Remerciement.....	3
Résumé	4
Abstract	5
Liste des abréviations	8
Liste des figures	9
Introduction générale.....	10
 <i>Chapitre 1 : Présentation de l'organisme d'accueil.....</i>	 11
1.1 Présentation de la SUTA	12
1.1.1 Aperçu général de la SUTA	12
1.1.2 Fiche technique de la SUTA	12
1.1.3 Organigramme de la SUTA	13
1.1.4 Produits et co-produits de la SUTA	14
1.2 Mode de fonctionnement et processus de fabrication	15
1.2.1 Mode de fonctionnement du processus.....	15
1.2.2 Matière première	16
1.2.3 Processus de fabrication.....	17
1.2.4 Atelier four à chaux.....	24
a) Le processus de production de lait de chaux et du gaz carbonique	24
b) Description de l'atelier four à chaux.....	26
c) La préparation du lait de chaux.....	28

1.3 Conclusion	30
Chapitre 2 : Analyse de l'existant.....	31
2.1 Introduction	32
2.2 Cahier de charge	33
2.3 Description de l'état actuel.....	33
2.4 La solution proposée	34
2.5 Description du schéma bloc	35
2.6 Conclusion.....	36
Chapitre 3 : Travail effectué.....	37
3.1 Introduction	38
3.2 Etude du système.....	38
3.2.1 Capteur-transmetteur	38
3.2.2 Vanne régulatrice	41
3.2.3 Régulateur	44
3.3 Test	49
3.3.1 La mise en marche du régulateur	49
3.3.2 La simulation.....	50
3.4 Conclusion	52
Conclusion générale	53
Bibliographie	54

Liste des abréviations

A : alphanumérique de 10 caractères

ALL : L'alcalinité

B : bytes

C : valeur analogique simple

COSUMAR : Compagnie Sucrière Marocaine

d : densité

F : alphanumérique de 5 caractères

FCS : Field Control Stations

H : valeur analogique haute pression

H : hauteur

K : gain

L : logique

P : pression

PID : proportionnelle-intégrale-dérivé

SUMB : Sucrierie de BENI MALLEL

SUNAT : Sucrierie National du TADLA

SUTA: Sucrierie, Raffinerie de TADLA

TOR : tout ou rien

°B : degré Baumé

Liste des figures

Figure 1 : Fiche technique	12
Figure 2 : Organigramme de SUTA	13
Figure 3 : Mode de fonctionnement de processus	15
Figure 4 : Circuit d'alimentation de l'usine en bettrave	17
Figure 5 : le diffuseur à tour	19
Figure 6 : L'évaporateur de SUTA.....	21
Figure 7 : l'appareil à cuire	22
Figure 8: Sécheur à tambour	23
Figure 9 : Le stockage du sucre.....	23
Figure 10 : Le Mick.....	28
Figure 11 : Processus de production du lait de chaux et épuration du gaz	30
Figure 12 : Fenêtre de supervision de l'atelier four à chaux.....	34
Figure 13: Le schéma bloc	35
Figure 14 : le capteur-transmetteur.....	38
Figure 15: Courbe d'étalonnage du capteur-transmetteur.....	41
Figure 16: Vanne régulatrice	42
Figure 17: Courbe d'étalonnage de la vanne régulatrice	43
Figure 18 : La mise en marche du régulateur	50

Introduction générale

Dans le marché sucrier, l'offre excède la demande en matière de pain de sucre ce qui génère une pression sévère sur les sucreries pour être à la hauteur face à une exigence austère de la clientèle en termes de qualité, coût et délai. Cette situation contraint les entreprises à mettre l'accent sur l'amélioration des performances du produit pain de sucre, assurer une qualité irréprochable, respecter les délais et spécialement s'adapter en permanence au progrès technologique à l'échelle mondiale en vue de perfectionner les conditions de fabrication du pain de sucre et ainsi satisfaire les exigences du client.

Ainsi, pour aboutir à ses objectifs, toute entreprise doit développer son capital concis en son personnel, ses équipements et son savoir-faire afin d'augmenter sa compétitivité et en conséquences continuer à survivre dans un marché concurrentiel.

Dans cette perspective, SUTA, Sucrerie Raffinerie du Tadla, a mis en place un plan d'actions comportant plusieurs projets orientés dans ce sens. Ainsi, vient notre projet de fin d'études qui sert à améliorer la qualité de production de la station four à chaux en installant une boucle de régulation pour la densité du lait de chaux.

Avant d'entamer le travail de notre projet, une présentation générale de l'organisme d'accueil (SUTA) est nécessaire. Ensuite, nous allons définir le cahier des charges et élucider l'existant et la problématique, puis élaborer la solution proposée. Finalement, nous allons examiner les tests faits dans l'atelier afin de faire la mise en place sur site.

Chapitre 1 :

Présentation générale de l'entreprise

Dans ce chapitre nous allons présenter la SUTA ainsi que le procédé de production du sucre.

1-1.Présentation de la SUTA :

1-1-1. Aperçu général de la SUTA :

La SUTA ou « Sucreries Raffineries du Tadla » est un site de COSUMAR, après la fusion des trois sucreries de la région ; SUBM, SUTA et SUNAT. Elle joue un rôle très important dans l'économie nationale en couvrant presque 20 % des besoins en sucre tout en assurant des pulpes sèches et humides pour l'élevage et de la mélasse pour les industries de bio-fermentation. Elle contribue aussi au développement régional de l'agriculture et à la création de l'emploi en milieu agricole et industriel.

Aujourd'hui, dans le cadre de la mise à niveau du secteur sucrier et sous la gouvernance du Groupe COSUMAR, la SUTA ne fait référence qu'à l'unité d'OULED AYAD créée en 1971 qui a connu une multitude de travaux d'extension et de transformation (passage en blanc, installation d'une unité de conditionnement, la préparation de la production mécanisée du sucre pain), les deux autres unités de Béni Mellal et de Souk Sebt étant fermées.

1-1-2. Fiche technique de SUTA :

Siège social et l'usine :	
SUTA : Sucrerie filière du groupe COSUMAR km 6 route de Marrakech Béni Mellal	
Téléphone :	(212) 0523445474, 0529800780 et 0529800781
Activité :	Production du sucre blanc
Capital :	104 million de centime 277 800 DH
Chiffre d'affaire :	441 122 000 DH
Forme juridique :	Société Anonyme
Date de création :	1971
Identification fiscale :	06140900
Effectif :	164

Figure 1 : fiche technique de la SUTA

1-1-3. Organigramme de la SUTA :

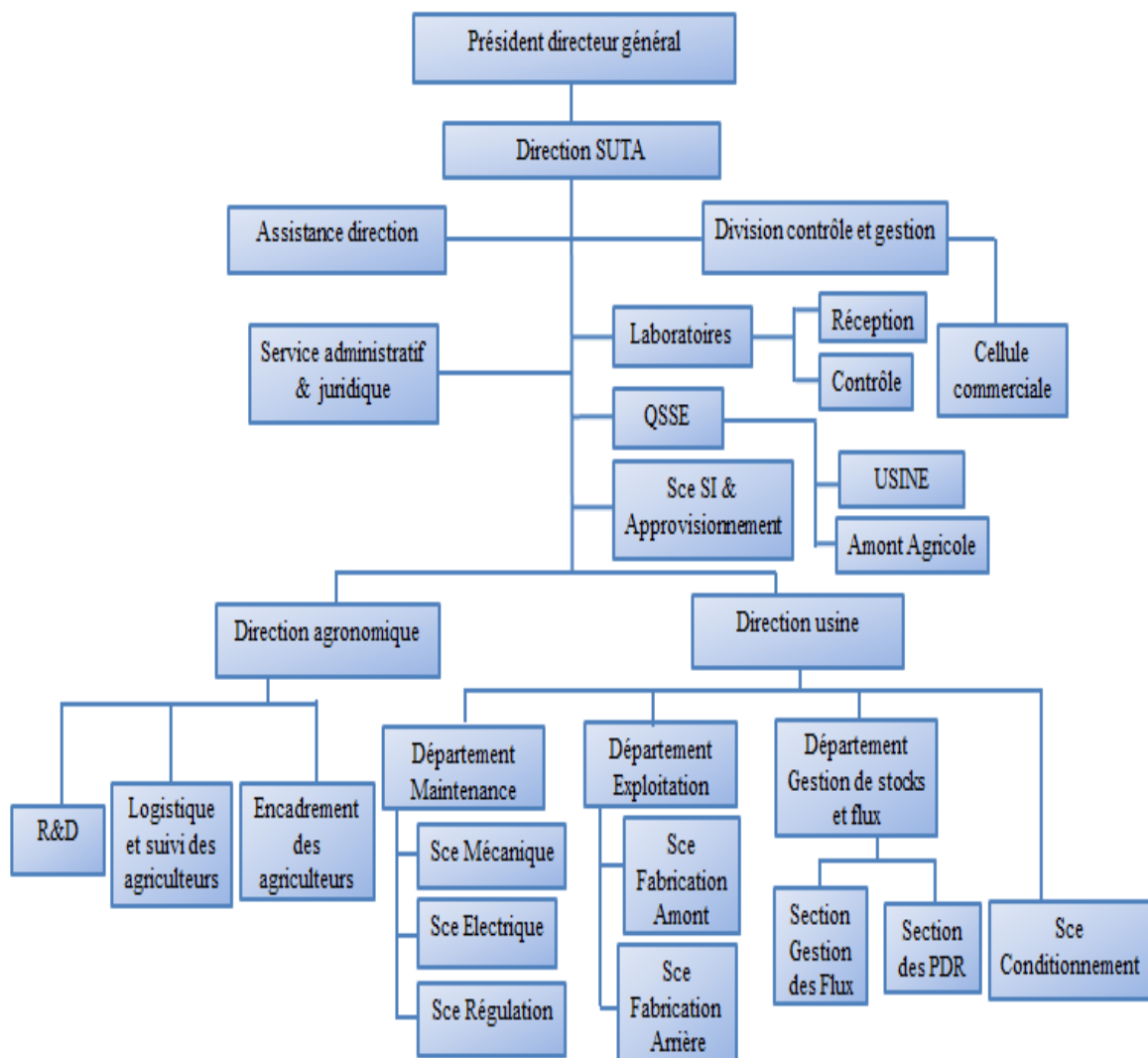


Figure 2 : Organigramme de SUTA

1-1-4. Produits et Co-produits de la SUTA :

A) PRODUITS DE LA SUTA :

➤ Le pain de sucre :

Le pain de sucre est ancré dans la pure tradition marocaine et dans les habitudes de consommation des Marocains. Plus qu'un produit alimentaire, c'est un symbole de convivialité familiale. Associé à des moments forts de la vie du Marocain, le pain de sucre est servi lors de la cérémonie traditionnelle du thé mais également donné comme offrandes lors d'évènements comme le pèlerinage, les mariages et les naissances. Pendant longtemps, cette forme s'est confondue avec le sucre.



➤ Le lingot de sucre :

Forme inventée par COSUMAR dans les années 70, le lingot est utilisé pour préparer le thé mais également le café. Il est commercialisé en boîte de 1 kg et en fardeaux de 5kg.



➤ Le morceau de sucre :

Le morceau de sucre est la forme moulée la plus connue dans le monde. Commercialisé en boîte de 1kg et en fardeau de 5kg, il est utilisé le plus souvent dans le café.



➤ Le sucre granulé :

Forme utilisée par les industriels comme par les ménages, le granulé est commercialisé en sachets de 2 kg regroupés par 6, 12 ou 15 et en sacs de 50 Kg s'adaptant ainsi à chaque installation de réception et de stockage des clients utilisateurs.



B) Les co-produits :

pulpe humide



pulpe sèche



mélasse



1-2. Mode de fonctionnement et processus de fabrication :

1-2-1. Mode de fonctionnement du processus :

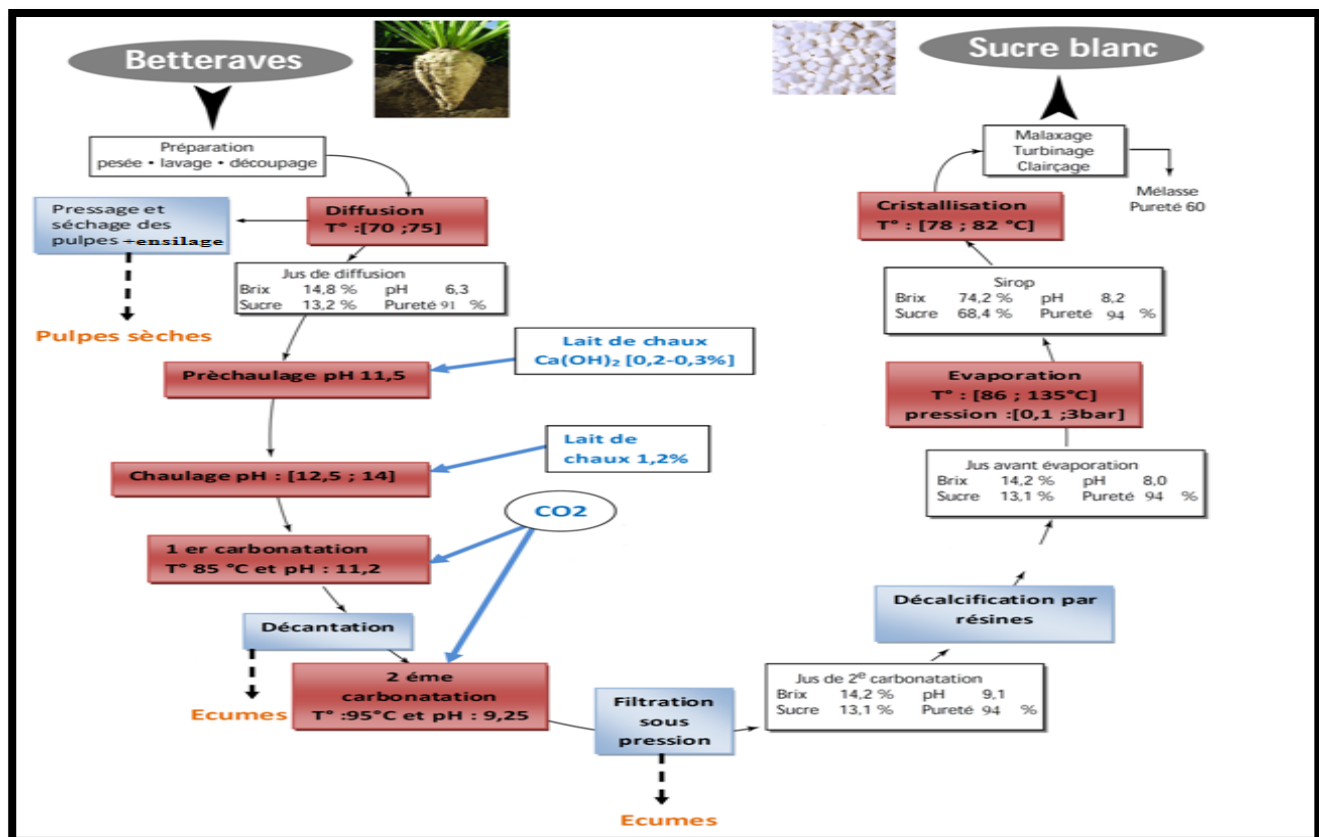


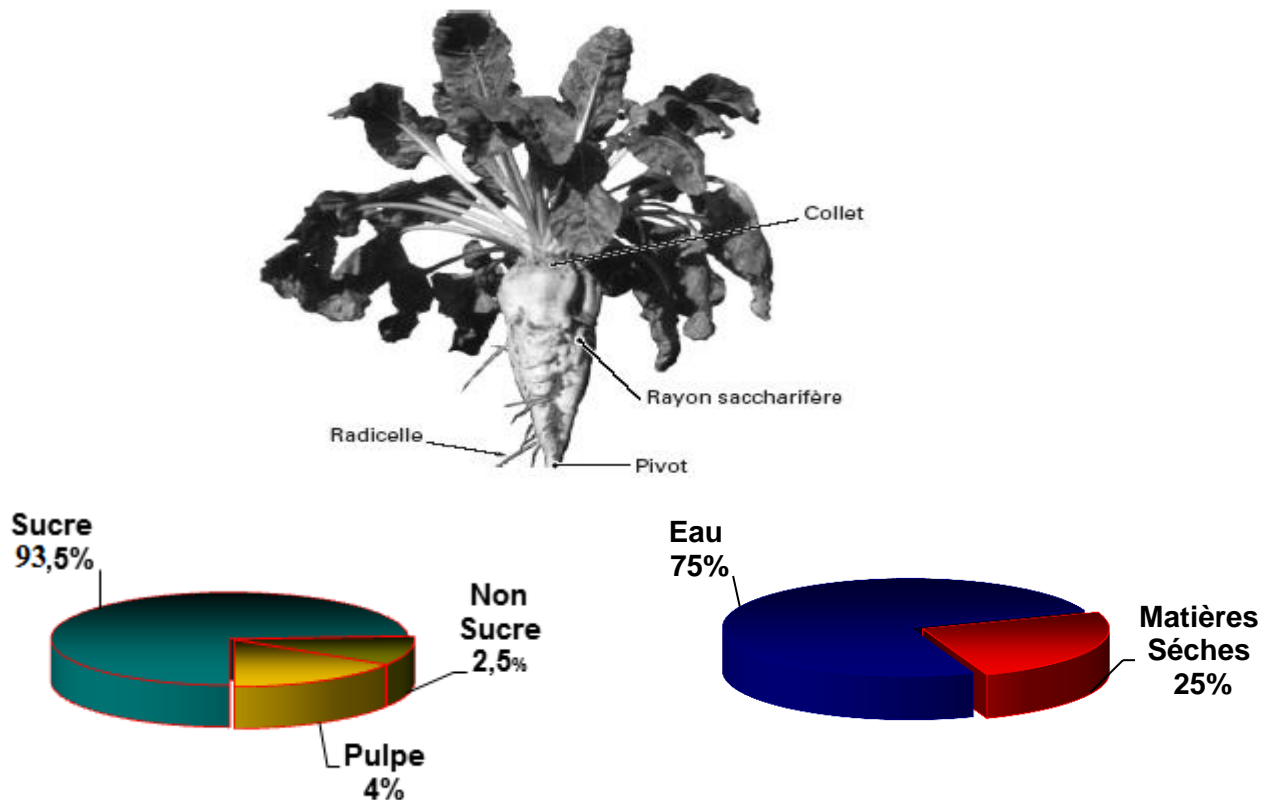
Figure 3 : mode de fonctionnement de processus

1-2-2. Matière première :

La betterave est une matière première vivante sujette à de nombreuses réactions de dégradation. Sa durée de conservation est limitée et la sucrerie est donc une industrie saisonnière avec des durées de campagne de deux à trois mois par an. On assiste à une forte concentration de l'outil de production dont la limite sera liée aux coûts de transport des betteraves vers les sucreries. De ce fait, les usines sont situées près des zones de production.

Composition de la betterave :

La culture de la betterave pour le sucre ne comporte que la phase végétative. La racine est la réserve où s'accumule le sucre élaboré par le bouquet foliaire. La qualité de la betterave est un paramètre important. En effet, à côté du saccharose noté (S) et de l'eau notée (E), la betterave contient des non-sucre (autres que saccharose notés NS) qui limitent le rendement d'extraction. Parmi ces composés, on peut citer le potassium, le sodium, le glucose, le raffinose et l'azote sous forme α -aminé.



1-2-3. Processus de fabrication

A) Réception et stockage de la betterave :

Les sucreries paient les agriculteurs en se basant sur le poids net de betteraves décolletées et leur richesse en saccharose. .

Le stockage des betteraves se fait dans des silos avec des conditions bien spécifiées dans le but d'éviter le maximum possible la dégradation du saccharose. En effet, les silos doivent être aérés, aussi, doit être le tas suffisamment poreux (Cette porosité est liée à la quantité de terre accompagnant la betterave) et en ce qui concerne le temps de stockage, il est limité à une journée.

B) Alimentation de l'usine :

Du point fixe ou de l'aire de stockage, l'alimentation de l'usine en betteraves s'effectue d'une manière hydraulique ; L'abattage des betteraves s'effectue par des lances hydrauliques à jets d'eau très puissants. Les betteraves tombent dans des caniveaux sillonnant la cour et rejoignent par la suite le caniveau principal. Sur ce caniveau à partir duquel on va alimenter l'usine sont installés un désherbeur et un épierreur, destinés au lavage des betteraves visant la séparation des betteraves de la terre, des pierres, des gravillons et des herbes.

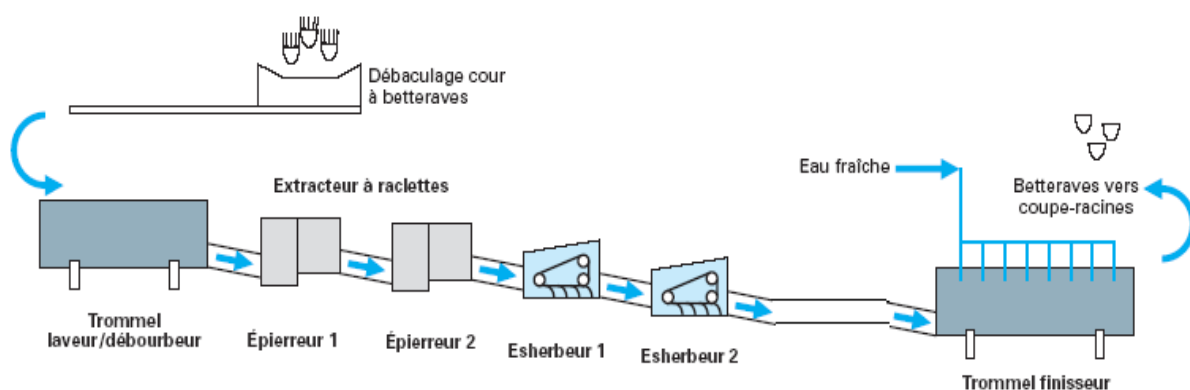


Figure 4 : Circuit d'alimentation de l'usine en betterave

C) Découpage des betteraves :

Les betteraves lavées doivent être découpées pour permettre une bonne extraction par diffusion. Les betteraves sont découpées en « **cossettes** » avec une forme « **faîtière** » pour éviter que les morceaux ne se collent les uns aux autres dans le diffuseur. La forme faîtière est obtenue par passages successifs de couteaux. L'épaisseur des cossettes varie de 0,9 mm à 1,3 mm.

D) Le pressage des pulpes :

À la sortie des diffuseurs, les cossettes épuisées, ont une teneur très élevée en eau (92,5 à 93 %), d'où la nécessité de les soumettre à un pressage avant toute utilisation ultérieure.

Le but de cette opération est :

- ✓ Limiter les pertes dans les pulpes.
- ✓ Récupérer le sucre dans les eaux de presse.
- ✓ Éliminer l'eau résiduelle dans les pulpes
- ✓ Limiter la consommation du fuel au niveau de la sécherie.

E) La diffusion :

À la sortie des coupe-racines, les cossettes tombent sur un tapis peseur dont la vitesse d'avancement est réglée par le conducteur de diffusion ou le système de contrôle informatique. Ces cossettes rejoignent le malaxeur à cossettes où circulent du jus de la tour et jus de circulation réchauffé au préalable à une température de 92 à 95°C.

La figure ci-dessous schématise le circuit de la diffusion :

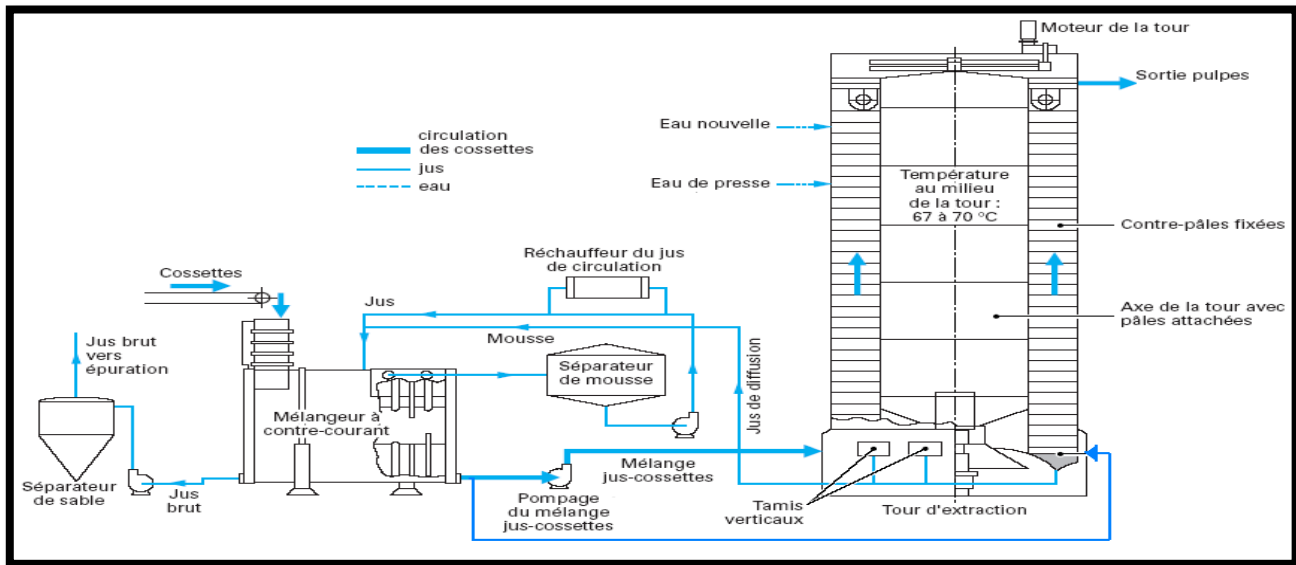


Figure 5 : Le diffuseur à tour

F) Le pressage des pulpes :

A la sortie des diffuseurs, les cossettes épuisées, ont une teneur très élevée en eau (92,5 à 93 %), d'où la nécessité de les soumettre à un pressage avant toute utilisation ultérieure.

Le but de cette opération est :

- ✓ Limiter les pertes dans les pulpes.
- ✓ Récupérer le sucre dans les eaux de presse.
- ✓ Eliminer l'eau résiduelle dans les pulpes
- ✓ Limiter la consommation du fuel au niveau de la sécherie.

G) L'épuration du jus de diffusion :

L'étape de l'épuration du jus est primordiale dans la mesure où elle comprend plusieurs objectifs :

✚ **Élimination des impuretés du jus de diffusion :** A la sortie du diffuseur, le jus de diffusion à un aspect grisâtre et une pureté de 87-89 % avec des betteraves saines et dans des conditions normales. Il contient des particules en suspension auxquelles adhèrent des flocons de matières protéiques coagulées, et il est difficile de filtrer ces particules car elles collent aux filtres et le jus filtré ne serait pas clair.

✚ **Eviter l'inversion acide du saccharose en neutralisant le jus de diffusion :** Le jus de diffusion est légèrement acide : $\text{pH}=5.8$ à 6, ainsi un chauffage sans neutralisation préalable conduira à une forte inversion du saccharose, d'où la nécessité de neutraliser le jus.

H) Décalcification :

L'objectif de la décalcification est d'éliminer les sels de calcium restant dans le jus afin qu'ils ne puissent pas précipiter sur les tubes des évaporateurs au moment de la concentration. En effet, ces derniers doivent fonctionner toute la campagne sans nettoyage et il est important qu'ils ne s'encrassent pas.

✚ Evaporation :

L'évaporation a pour but de concentrer le jus épuré par évaporation de la plus grande partie de l'eau qu'il contient. Le jus à 14,5 jusqu'à 16,5 de Brix est transformé en sirop, à 70 de Brix par l'effet de l'évaporation.

L'évaporation s'effectue dans un poste d'évaporation à multiple effet. Ce dernier est constitué par une série d'appareils raccordés entre eux pour la circulation des jus et des vapeurs.



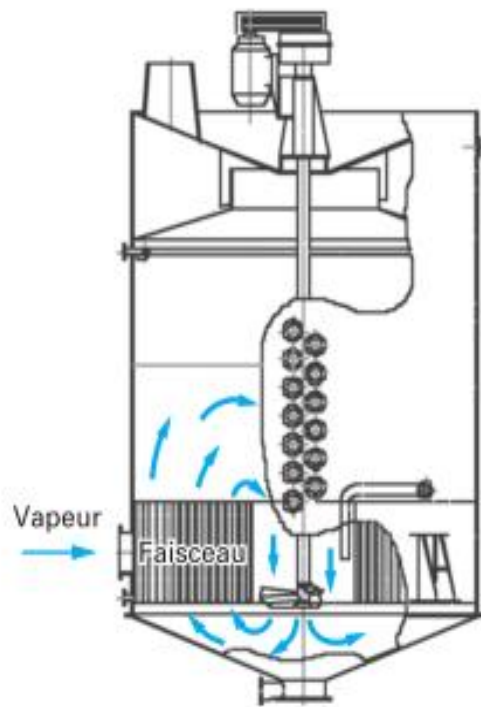
Figure 6 : Les évaporateurs de SUTA

Cristallisation :

La cristallisation est une opération unitaire de séparation faisant intervenir un transfert simultané de masse et de chaleur. En sucrerie, la cristallisation appelée aussi cuisson consiste à concentrer un sirop pour l'emmener à un état tel que le saccharose cristallise les autres impuretés restant en solution. La cristallisation est généralement effectuée en trois étapes appelées « jets ». Chaque jet comprend lui-même trois étapes principales, la cuisson, le malaxage et l'essorage. La solution appelée « liqueur standard » alimentant chaque jet de Cristallisation est le résultat du mélange de différents produits. Dès que l'on est en présence de cristaux en suspension dans un sirop, on parle de « masse cuite » et le sirop prend le nom « D'eau-mère » car c'est lui qui nourrit le cristal lors de l'essorage de la masse cuite pour séparer les cristaux, l'eau-mère est tout d'abord évacuée

et prendre nom « d'égout pauvre ». Puis la surface des cristaux est lavée par pulvérisation d'eau, on parle de « clairçage ». Cette étape entraîne une légère redis solution de sucre cristallisé et le sirop issu du lavage est donc nettement plus pur que le précédent égout, d'où son nom « d'égout riche ».

Figure 7 : Appareil à cuire.



I) Séchage :

Le sucre cristallisé blanc est envoyé dans des appareils de séchage à air chaud, puis refroidi. Il est désormais prêt à la consommation.

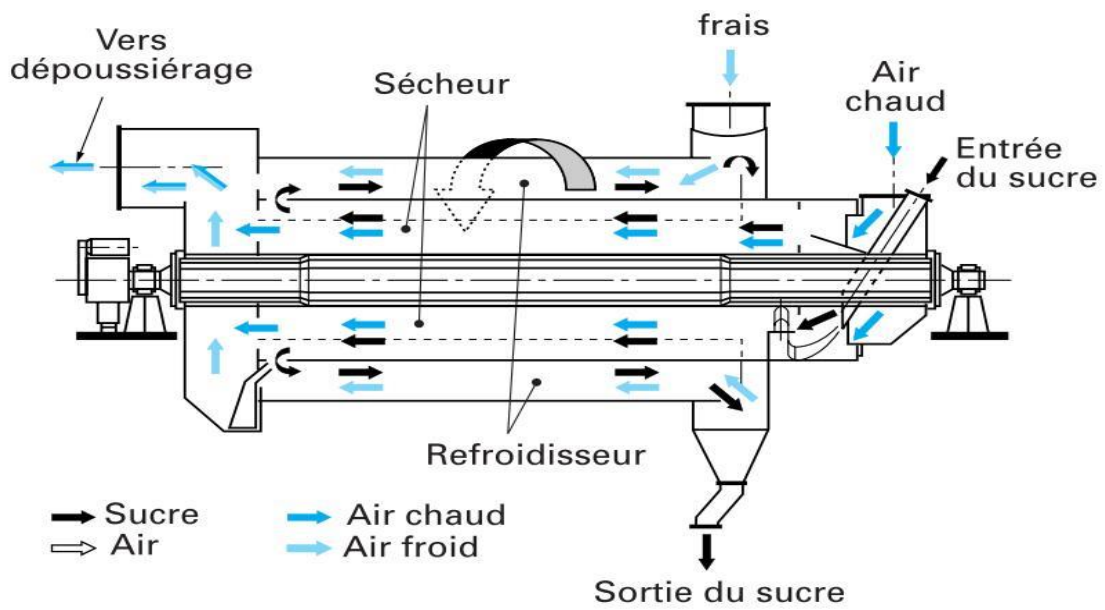


Figure 8 : Sécheur à tambour

J) Le stockage :



Figure 9 : le stockage du sucre

Après le sort du sucre depuis le séchage, il se dirige vers l’emballage et il se stock, puis il sera prêt à la consommation.

K) Conditionnement :

Le sucre cristallisé blanc est évacué du fond de la turbine sur un transporteur à secoueuse. Le sucre est séché par l'air chaud dans des cylindres séchoirs rotatifs, puis refroidi afin d'atteindre une teneur en eau comprise entre 0.03 et 0.06%. Le sucre est ensuite tamisé, classé et pesé, puis dirigé vers l'atelier d'ensachage automatique. Les produits de SUTA sont : le sucre granulé, le sucre en lingot, le sucre en morceau et le pain de sucre.

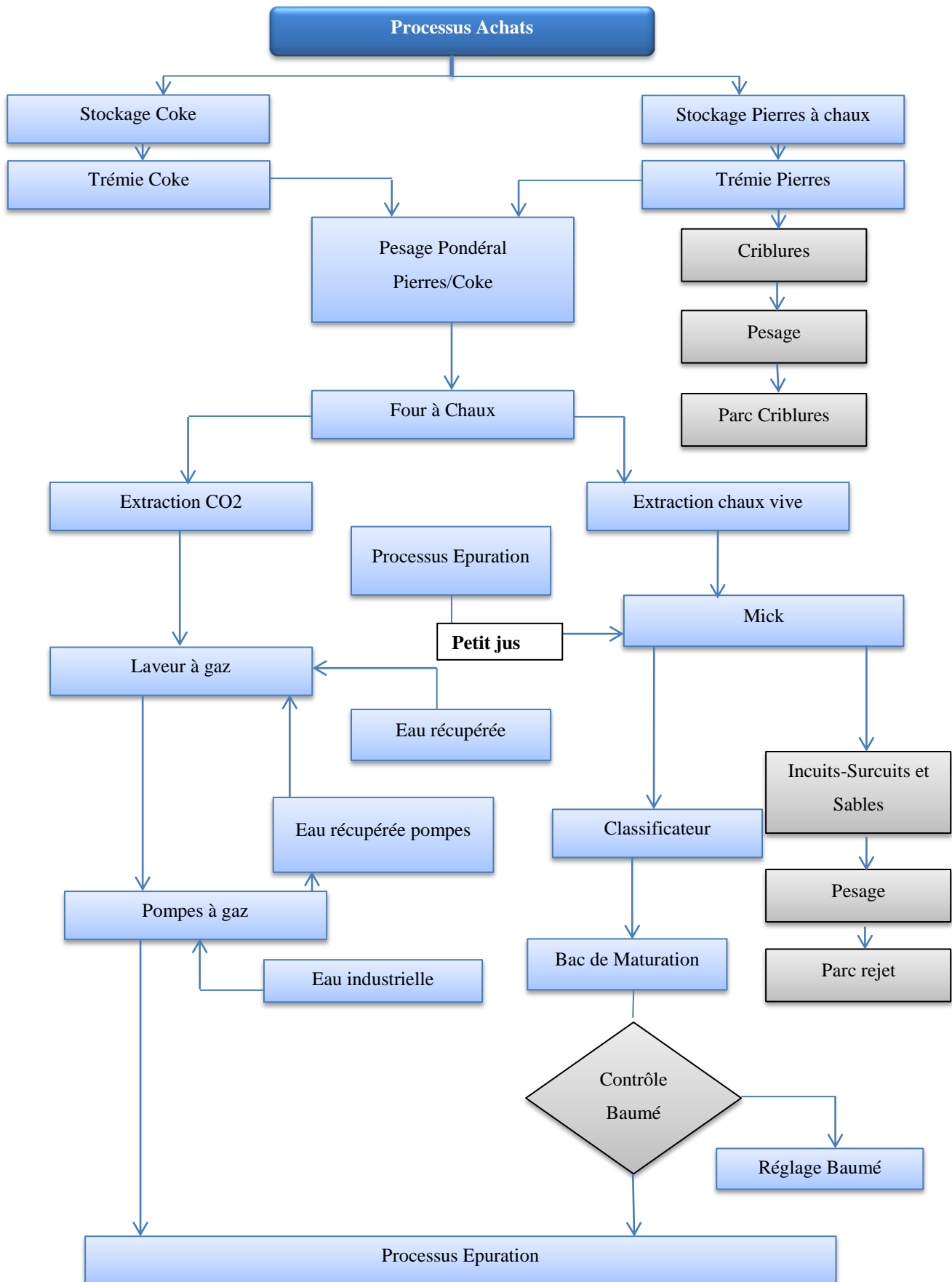
1-2-4. Atelier four à chaux

En sucrerie de betteraves, l'usage de la chaux éteinte et du gaz carbonique est généralisé comme élément principal de l'épuration du jus.

Si l'industrie sucrière a opté pour le procédé calco carbonique pour l'épuration du jus de diffusion devant tous les traitements possibles, c'est par ce que les deux réactifs mis en œuvre, chaux et gaz carbonique, sont de haute efficacité et peuvent s'obtenir à partir de la pierre calcaire, matière première assez répandue. (Il y a des sucreries aux USA qui calcinent les écumes, suite à l'éloignement des carrières).

La chaux éteinte est le résultat de la réaction chimique de l'eau ou du petit jus sur la chaux vive. La chaux vive et le gaz carbonique proviennent de la calcination de la pierre calcaire avec le coke ou d'autres combustibles (anthracite, fuel, gaz,..). Dans ce qui suit l'étude du four à chaux utilisant du coke.

a) le processus de production du lait de chaux et du gaz carbonique



b) Description de l'atelier four à chaux :

Les parties principales de l'atelier sont :

○ Dosage pierre et coke

Ce dosage est réalisé par des bascules dont la justesse doit être régulièrement contrôlée. Il faut s'assurer de l'homogénéité du calibre et alimenter dans un rapport de taille (ouverture moyenne) de coke / pierre de 0,6.

○ Tamisage

La pierre, bien que d'apparence solide, présente une certaine fragilité aux chocs ou à l'écrasement, produisant des fines ou des éclats. Ceux-ci devront être éliminés au tamisage, sinon ils seront la cause de colmatage et de surcuits dans le four.

○ Four à chaux

Le four le plus communément utilisé en sucrerie est constitué par un cylindre vertical, tapissé à l'intérieur de maçonnerie réfractaire résistante à la température dans le four et à l'abrasion par le mouvement de la charge (épaisseur totale du mur de 40 cm environ). Il se termine à la partie basse par un tronc de cône dont la petite base sert d'ouverture pour l'extraction de la chaux. Sur la hauteur le revêtement réfractaire intérieur est cylindrique. Le manteau cylindrique est percé de regards à différents niveaux, pour le contrôle de la marche. La fermeture de ces regards doit être hermétique

L'alimentation du four s'effectue par skips ou bennes qui alimentent un sas. Le sas est un compartiment qui évite les entrées d'air dans les fours en dépression et les pertes de gaz dans les fours en surpression.

Ce sas est équipé, en partie inférieure, d'un système qui permet une répartition homogène de la charge dans le four (cône ou goulotte rotative).

En descendant dans le four, le mélange calcaire- coke va rencontrer 3 zones :

- Zone de réchauffage où le mélange récupère la chaleur cédée par le gaz produit dans la zone où s'effectue la combustion du coke. La température dans cette zone est de 200 à 300 °C, le mur réfractaire est en briques silico-alumineux de 20 à 40 % d'alumine suivant épaisseur des briques
- Zone de dissociation (ou zone de feu, la partie centrale du four) où le coke brûle et fournit les calories nécessaires à la dissociation de la pierre. A ce niveau la température est de l'ordre de 1000 à 1200 °C. Le mur réfractaire est en briques magnésie adaptée aux réactions de la chaux et la T°C, 60 à 65 % Mg O et 20 à 30 % de chromite $\text{Fe O} - \text{Cr}_2 \text{O}_3$ et, construit en terre réfractaire calcinée.
- Zone de refroidissement dans laquelle la chaux vive produite va céder ses calories à l'air entrant, revêtement mur réfractaire en briques silico -alumineux.

A la base du four, l'extraction de la chaux vive doit être régulière sur toute la section du four. Elle est généralement équipée de 3 ou 4 extracteurs qui permettent à la fois cette opération et sont capables, le cas échéant, de corriger des descentes de charge irrégulières.

L'extraction des gaz (CO_2) est réalisée dans la partie supérieure du four par des carneaux circulaires.

Des sondes de température sont installées tout au long du four.

c) La préparation du lait de chaux :

Le lait de chaux résulte d'une réaction chimique d'hydratation, cette réaction est exothermique, c'est-à-dire qu'elle dégage de la chaleur et on a:



La quantité d'incuits ou des surcuits qui sortent du Mick est liée à la qualité de cuisson dans le four.

L'appareil Mick, où s'opère l'hydratation de la chaux vive, est constitué par un tambour horizontal, tournant sur des galets par une vitesse de 1 à 2 tr/mn.

La chaux vive et le petit jus, sont introduits en tête du tambour et ils cheminent vers la sortie, entraînés par des palettes inclinées et des godets.

A la sortie et tournant avec le tambour, un cône tamiseur permet d'éliminer les gros morceaux et de les séparer du lait de chaux. Tout sort du tambour par débordement.

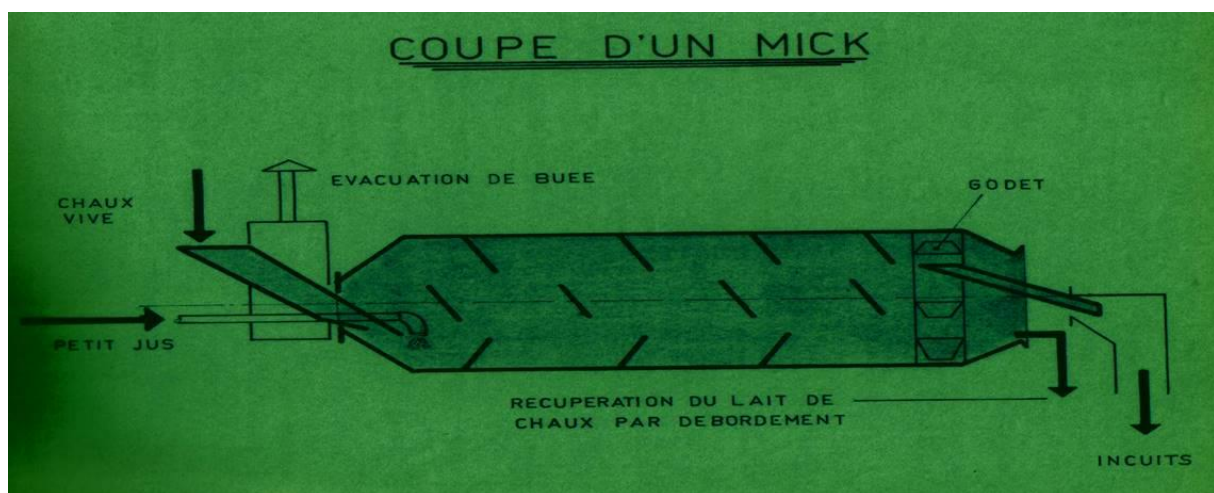


Figure 10 : Le MIC

○ Epuration du lait de chaux

A la sortie du Mick, Il y a dans le lait de chaux des impuretés abrasives qu'il faut éliminer (cendres, sable, incuits, surcuits).

En général, les usines épurent physiquement le lait de chaux sortant du Mick. On utilise :

- **Le tamisage** qui permet la séparation des grosses impuretés telles les incuits et les surcuits.
- **Le cyclonage** afin d'éliminer les fines qui ont traversé le tamisage. Cette technique présente des risques importants de pertes de lait de chaux.
- **L'épurateur Giard** (classificateur) qui sépare les fines et les grosses impuretés
- On peut également utiliser une combinaison **cyclone et Giard**, le Giard travaillant sur la sous-verse du cyclone.

○ Maturation

Après l'épuration du lait de chaux, il existe un peu de chaux vive sur cuite à laquelle il faut laisser le temps de s'hydrater : c'est la maturation.

On vise une concentration en Ca O de l'ordre de 200 à 250 g/ litre de lait de chaux par régulation de densité, qui doit être aussi stable que possible afin d'obtenir la régularité du préchauffage et du chaulage, (régulation volumétrique de débit à l'entrée du préchauffeur et du chaulage). Ceci est d'autant plus vrai que l'on veut réduire la consommation de chaux.

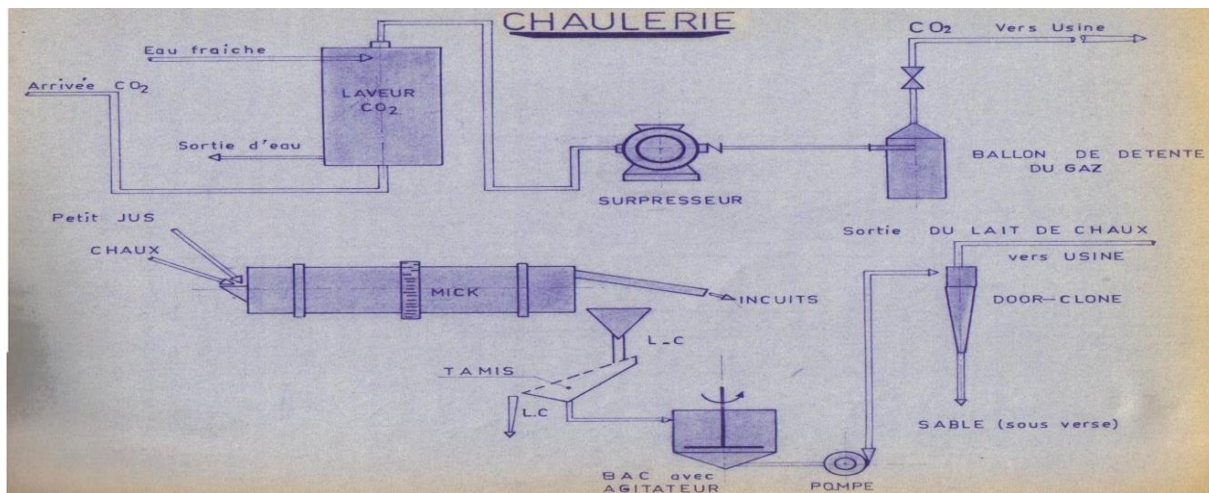


Figure 11 : Processus de production du lait de chaux et épuration du gaz

1-3. Conclusion :

Après avoir introduit la société d'accueil et montré son organigramme ainsi que le processus de fabrication du sucre, nous allons présenter le cahier des charges et définir l'état actuel.

Chapitre 2 :

L'analyse de l'existant

2-1 Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons commencer par identifier le cahier des charges de l'entreprise, définir l'état actuel de la production du lait de chaux, établir le thème de notre projet, puis la solution proposée pour notre problématique.

2-2 Cahier des charges :

COSUMAR, unique opérateur sucrier marocain, s'est engagé dans un processus d'amélioration continue afin d'atteindre l'excellence dans l'ensemble de ses métiers.

Le four à chaux est l'une des stations fondamentales de la sucrerie, elle occupe une place importante dans la stratégie de l'entreprise, et aussi contribue à influencer sur la qualité et le rendement du sucre. Dans cette station, la régulation de la densité du lait de chaux produit se fait manuellement en utilisant un densimètre. Pour lire cette densité, on a souvent l'intervention humaine sur les vannes de réaction afin d'obtenir une valeur acceptable qui varie entre 26 et 30 gr/l, ce qui entraîne des imprécisions.

La station d'épuration qui reçoit le lait de chaux depuis la station Four à chaux, fixe des paramètres qui doivent être soigneusement respectés et qui sont :

- Ph
- All

Or, actuellement la non régularité de la densité du lait de chaux présente certains problèmes qui influent sur la marche de l'épuration, à savoir :

- Une consommation élevée du lait de chaux
- La coloration du sucre
- Variation de la carbonatation

Ainsi vient notre projet qui a pour objectif d'automatiser ce paramètre. Et donc pour remédier à ces problèmes nous proposons l'installation d'une boucle de régulation de la densité du lait de chaux pour maintenir ce paramètre à des valeurs régulées.

2-3 Description de l'état actuel :

La station FOUR A CHAUX est une station de production du lait de chaux qui doit être utilisé au niveau de l'épuration afin d'éliminer les bactéries existant dans le jus.

Le processus de la production est débuté par le mélange du petit jus et de l'eau chaude dans un bac à eau d'extinction. Puis on agit sur la vanne de type tout ou rien TOR selon une valeur mesurée par un densimètre manuel. Cette vanne permet de faire passer l'eau du bac à eau d'extinction vers le Mick.

Le lait de chaux est obtenu par le mélange de l'eau du bac à eau d'extinction et la chaux. Ce dernier n'est absolument propre, et pour cela on le met dans des classificateurs puis dans des hydro-cyclones pour le faire purifier. Et enfin on obtient un lait de chaux propre prêt à être utiliser.

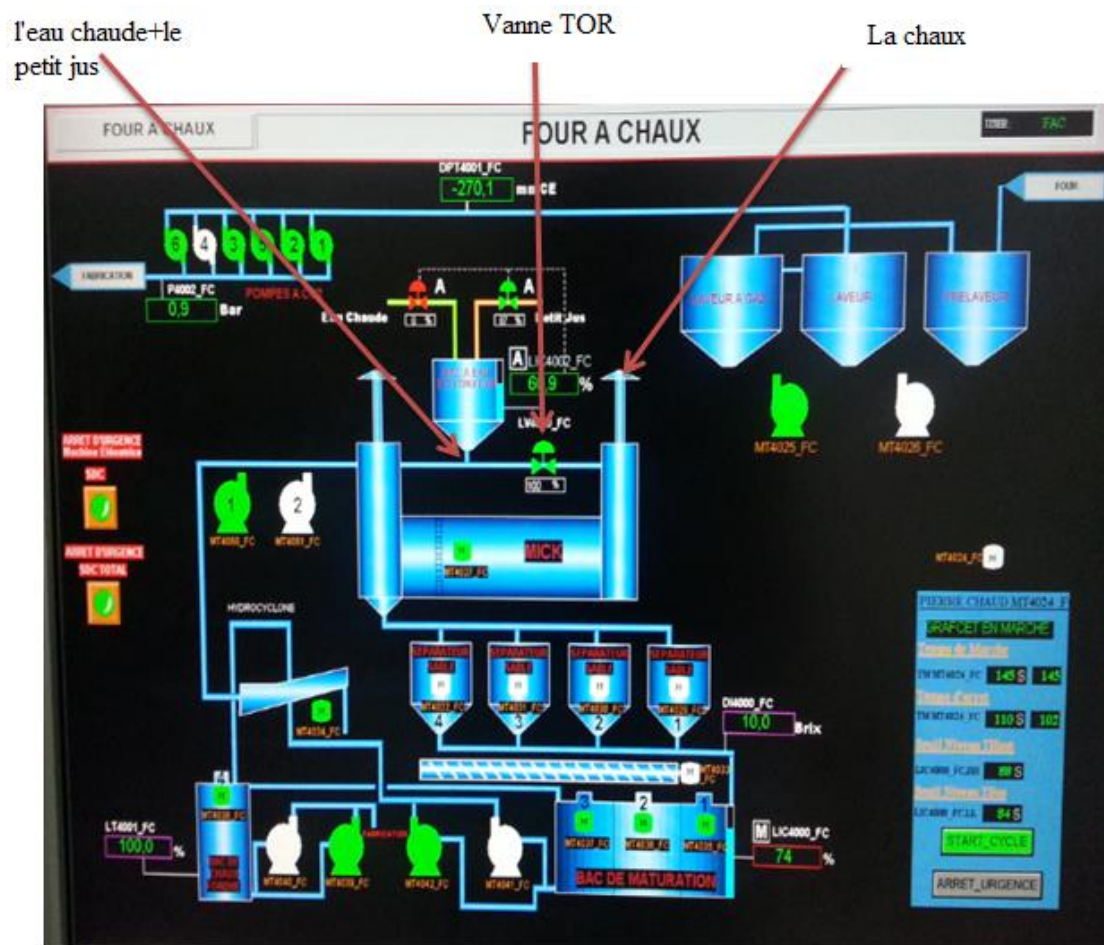


Figure 12 : fenêtre de supervision de l'atelier four à chaux

2-4 La solution proposée :

L'étude de l'état actuel du fonctionnement de système nous a permis de définir une solution technique qui est l'installation d'une boucle de régulation pour la densité du lait de chaux, dont l'objectif est de maintenir le procédé le plus près possible de son optimum de fonctionnement prédéfini par des conditions ou performances imposées.

Les éléments constituant la boucle de régulation sont :

- un capteur-transmetteur de pression à membrane DN80-PN6
- Régulateur 53MC5000 ABB
- Positionneur intelligent SIPART PS2 I/P SIEMENS
- Vanne régulatrice à papillon DN80 avec étanchéité en PTFE

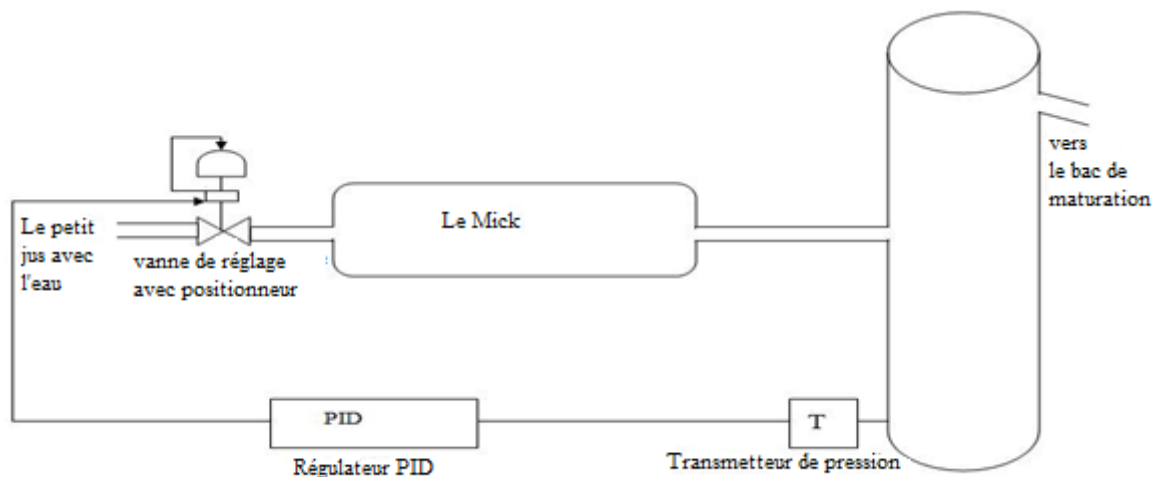


Figure 13 : Le schéma bloc

2-5 Description du schéma bloc :

Le schéma bloc ci-dessus montre l'installation de la boucle de régulation proposée :

En effet, l'installation d'un capteur-transmetteur de pression différentielle au niveau d'une bouteille alimentant le bac de maturation pour la mesure de la densité du lait de chaux. Donc le signal correspondant à cette grandeur physique est converti en un signal électrique proportionnel à la valeur captée (le signal délivré est de 4 à 20 mA). Un régulateur PID compare le signal mesuré et le point de consigne pour faire sortir un signal de correction (Agit sur la vanne régulatrice selon le besoin).

2-6 Conclusion :

D'après notre diagnostique, les points déterminés comme résultat sont :

- Définir la solution proposée
- Elaboration du schéma fonctionnel et sa description

Chapitre 3 :

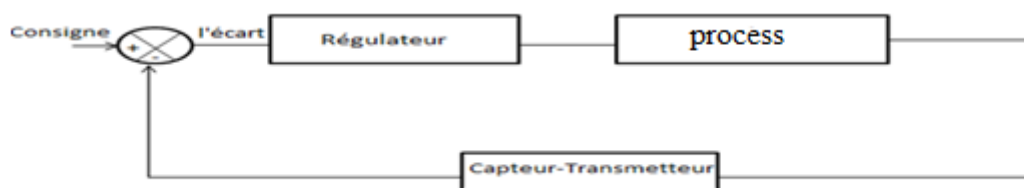
Travail effectué

3.1 Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons débiter par une étude détaillée sur les éléments constituant la boucle, ainsi que des tests et des essaies pour s'assurer du bon fonctionnement de cette dernière avant sa mise en service, et enfin la réalisation de la boucle sur site.

3.2 Etude du système :

Le schéma fonctionnelle que nous allons étudier est le suivant :



3.2.1 Capteur transmetteur

C'est un appareil qui capte une grandeur physique et la convertit en un signal électrique proportionnel à la valeur capté.



Figure 14 : le capteur-transmetteur

a) Les caractéristiques techniques :

- ❖ Service : liquide, gaz ou vapeur
- ❖ Serial : No J400D901129
- ❖ Calibre : 0-2400mmH₂O
- ❖ Entrée-Sortie : 4-20mA
- ❖ L'alimentation extérieure nécessaire : 11,5-45 V DC

b) L'étalonnage du capteur :

Le capteur-transmetteur mesure la pression du lait de chaux dans la cuve, et cette pression est proportionnelle à la densité car on a **$P=D \times H$** .

En effet, dans la station les valeurs se calculent par unités de °Baumé, mais elles peuvent être également mesurées par la densité puisqu'on a les formules suivantes:

- La densité > 1 => **$d=145/(145 - ^\circ B)$**
- La densité < 1 => **$d=140/(^\circ B + 130)$**

Or, la concentration en CaO du lait de chaux dans la cuve peut arriver jusqu'à 30 °B, et donc on a étalonné le capteur utilisé sur l'intervalle [10 ; 30] °B.

Ainsi le signal de mesure délivré est une intensité dans l'intervalle [4-20] mA ce qui correspond à [0.2-1] bar en pression.

➤ On considère une hauteur fixe telle que $H=2\text{m}$, et puisqu'on a $1\text{bar}=10\text{mCe}$, donc :

- Pour un baumé de 10°B , on a :

$$d = 145 / (145 - 10) \Rightarrow d = 1.07$$

$$\text{Alors la pression est } P_0 = 1.07 * 2 = 2.14 \text{ mCe} \Rightarrow P_0 = 0.214 \text{ bar}$$

- Pour un baumé de 30°B , on a :

$$d = 145 / (145 - 30) \Rightarrow d = 1.26$$

$$\text{Alors la pression } P_{\text{max}} = 1.26 * 2 = 2.52 \text{ mCe} \Rightarrow P_{\text{max}} = 0.252 \text{ bar}$$

c) Réglage du capteur-transmetteur :

- Réglage du zéro (10°B) : $2.14\text{mCe} \Rightarrow 2140\text{mmCe}$
- Réglage d'échelle (30°B) : $2.52\text{mCe} \Rightarrow 2520\text{mmCe}$

Donc, on a l'étalonnage du capteur transmetteur est le suivant :

$$2140\text{mmCe} \Rightarrow 4\text{mA}$$

$$2520\text{mmCe} \Rightarrow 20\text{mA}$$

On trace la courbe d'étalonnage du capteur-transmetteur sous MATLAB telle que :

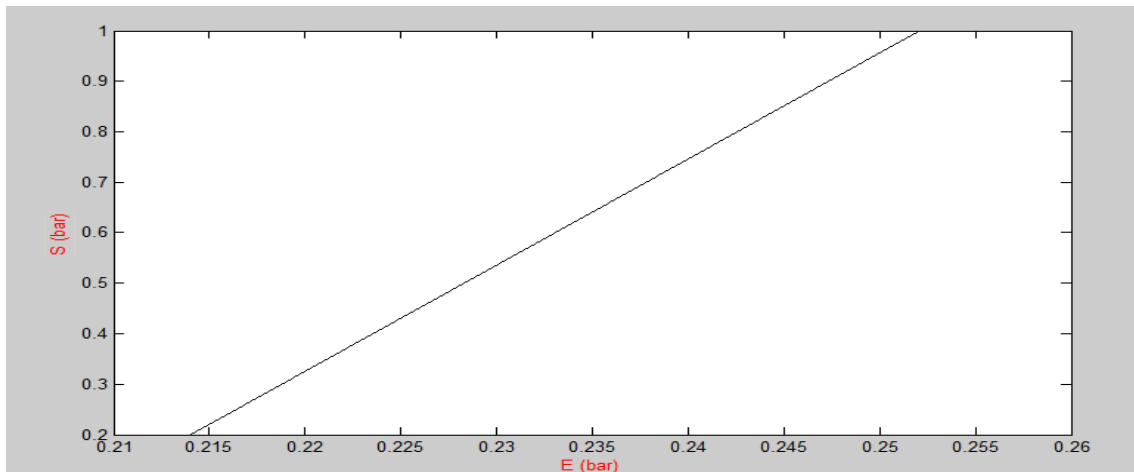


Figure 15 : Courbe d'étalonnage du capteur-transmetteur

D'après la courbe, on calcule la sensibilité du capteur tel que $S = (1 - 0.2) / (0.252 - 0.214)$,
et on obtient la valeur suivante : **S=21.05**

3.2.2 Vanne régulatrice

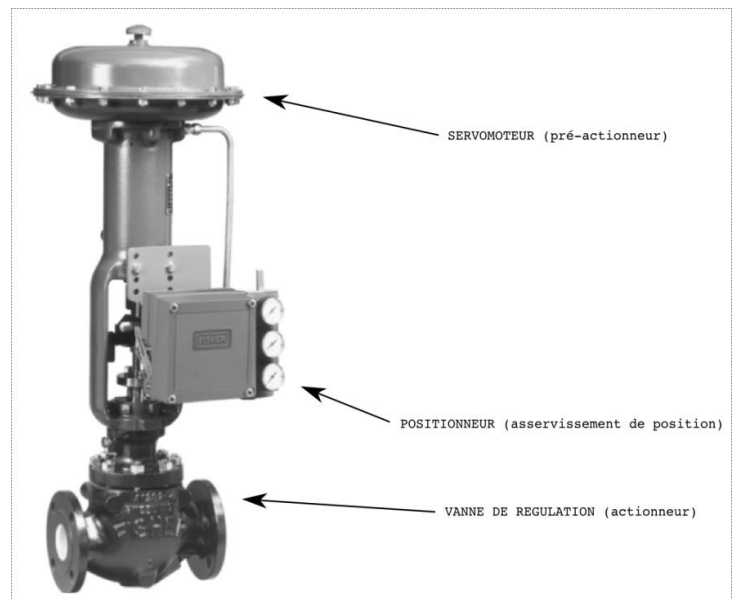
La vanne automatique ou vanne de régulation, est un organe qui relève de la régulation industrielle des procédés physico-chimiques. Elle est commandée par un actionneur dont les variations continues de la position modifient la taille de l'orifice de passage du fluide. De cette façon, la chute de pression aux bornes de la vanne est modulée lors du passage d'un fluide, avec pour conséquence la maîtrise du débit traversant.



Figure 16 : vanne régulatrice

Une vanne automatique est composée :

- d'un corps de vanne monté en série sur la canalisation, contenant le clapet et son siège ;
- d'un servomoteur, accouplé au clapet par une tige ou un axe de commande, et dont le rôle est de déplacer le clapet à partir d'un ordre de commande pneumatique, électrique ou hydraulique ;
- d'un positionneur dont le rôle est d'asservir la position de l'obturateur, en fournissant à l'actionneur l'énergie motrice nécessaire pour vaincre les frottements dus au dispositif d'étanchéité et les forces exercées par la poussée du fluide, en fonction d'un signal de commande issu du système de contrôle-commande, électrique analogique ou numérique, voire hydraulique. [4]



✚ Les caractéristiques techniques :

- ❖ L'alimentation 24V(Dc)
- ❖ Le signal d'entrée 4..20mA
- ❖ La température -30..+80°C
- ❖ La pression du positionneur 1,4..7 bar
- ❖ La pression de la vanne 0.2..1 bar

On trace la courbe d'étalonnage de la vanne telle que :

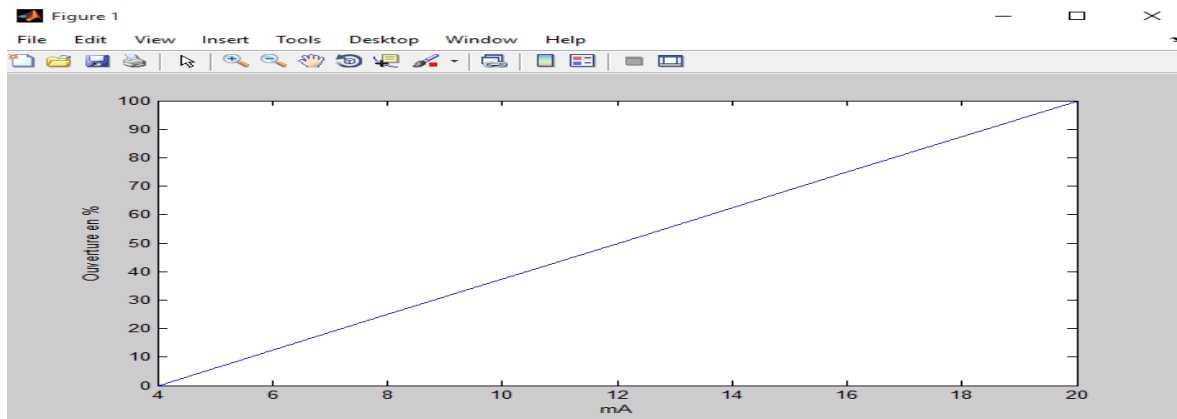


Figure 17 : courbe d'étalonnage de la vanne régulatrice

On a la pression qui agit sur le papion de la vanne est proportionnelle au courant à l'entrée du positionneur [3], telle que:

$$4\text{mA} \quad \text{-----} \rightarrow \quad 20\text{mA}$$

$$0.2\text{bar} \quad \text{-----} \rightarrow \quad 1\text{bar}$$

Et donc lorsque ce dernier reçoit un courant faible, la force aussi créée est faible et donc la vanne s'ouvre d'un pourcentage faible et vis-versa.

3.2.3 Régulateur

Le régulateur de type 53MC5000 de FISCHIER et PORTER est un régulateur à base de microprocesseur qui est unique en instrumentation parce que les algorithmes de régulation peuvent être sélectionnés ou définis par l'utilisateur à partir d'un clavier intégré dans l'appareil. Des fonctions additionnelles peuvent être combinées avec les fonctions de régulation présélectionnées pour configurer des algorithmes complexes qui font de ce régulateur, un appareil d'une grande souplesse. [1]

Ce régulateur dispose également des possibilités de calculs internes. Il inclue des fonctions arithmétiques spécifiques à la caractérisation et la linéarisation des signaux.

a) Les caractéristiques techniques :

- ❖ Type d'alimentation 21 à 28 Vcc
90-264 V 50/60Hz
- ❖ Consommation 20 VA
- ❖ Alimentation interne (Utilisable pour alimenter les transmetteurs) : 25Vcc
80mA
- ❖ Tension résiduelle de sortie 200mV crête à crête maximum

b) Les fonctions qui caractérisent le régulateur 53MC5000 :

1-Configuration de la base de données :

Le fonctionnement du régulateur 53MC5000 s'articule autour d'une base de données, quelle que soit la stratégie, ou le mode de programmation utilisé, une configuration des différents paramètres du régulateur est nécessaire.

On distingue en mémoire de l'appareil des données de type logique, de type analogique simple ou haute précision, de type « Bytes » et de type alphanumérique.

Chacun de ces paramètres assure ou participe à la réalisation d'un calcul logique ou analogique, ou d'une fonction d'affichage. L'utilisateur suivant l'application à réaliser devra configurer un ou plusieurs de ces paramètres.

Chaque donnée est représentée par son adresse, composée d'une lettre, image du type de la donnée, et d'un chiffre correspondant à l'index de l'adresse de la donnée. [1]

Donnée de type « L » : Représente un bit logique (valeur 1 ou 0)

Il existe 2048 données de type L de L000 à L2047.

Donnée de type « B » : Représente une valeur entière positive comprise entre 0 et 255. Il existe 768 données de type B de B000 à B767.

Donnée de type « C » : Représente une valeur analogique simple précision. Un « C » a une résolution de 1 sur 32768 (15 bits) et une étendue de $\pm 10^{38}$. Il existe 768 données de type « C » de C000 à C767.

Donnée de type « H » : Représente une valeur analogique haute pression. Un « H » a une résolution de 1 sur 2 milliards (31 bits) et une étendue de $\pm 10^{38}$. Il existe 256 données de type « H » de H000 à H255.

Donnée de type « A » : Représente une légende de 10 caractères alphanumériques. Il existe 320 données de type « A » de A000 à A319.

Donnée de type « F » : Représente une légende de 5 caractères alphanumérique. Il existe 640 données de type « F » de F000 à F639.

2-Mode de fonctionnement :

Le mode FCS offre à l'utilisateur la possibilité de choisir le mode de fonctionnement du régulateur parmi une bibliothèque de stratégie de régulation(CS).

CS1 Régulateur mono boucle PID

CS2 Régulateur de secours pour calculateur externe (Mode DDC)

CS3 Régulateur de rapport

CS4 Station de commande manuelle

CS5 Station de proportion

CS20 Régulateur bi-boucle PID

CS21 Régulateur cascade

CS22 Régulateur override

CS40 Double régulateur cascade

CS41 Régulateur quatre boucles PID

3-Configuration de l'affichage :

Les différents affichages sont stockés dans une matrice dont la taille est déterminée par l'utilisateur. Chaque colonne représente un groupe d'affichages contenant de une à huit vues. La matrice d'affichage peut contenir un maximum de 8 groupes de 8 vues choisies dans la bibliothèque de l'appareil.

4-Réglage des actions PID :

Le réglage des actions proportionnelle, intégrale, et dérivée des différentes boucles PID composant le régulateur 53MC5000 peut être effectué de façon manuelle par l'utilisateur, ou de façon automatique en utilisant l'algorithme auto-réglant « EASY TUNE » en mémoire de l'appareil. Le choix des actions, comme le choix du type de réglage est fonction du procédé à contrôler. [5]

❖ L'action proportionnelle

Produit un signal de sortie proportionnel à l'écart mesure-consigne. La valeur de l'écart en % nécessaire pour faire évoluer l'élément de contrôle final de 0 à 100% est appelé « Bande proportionnelle ». Un régulateur qui a une grande bande proportionnelle (% élevé) est un régulateur à faible gain.

Un régulateur qui a une faible bande proportionnelle (% faible) est un régulateur à gain élevé.

❖ L'action intégrale

Produit un signal de correction proportionnel à l'écart et à la durée pendant laquelle la mesure a été éloignée de la consigne. L'intégral est exprimé comme la durée du temps nécessaire au circuit d'intégral pour produire un changement de sortie égal à l'amplitude du signal produit par l'action proportionnelle

▪ L'action intégrale manuelle

L'action intégrale manuelle est sélectionnée en réglant le temps d'intégrale à plus ou moins 0.

❖ L'action dérivée

Produit un signal de correction proportionnel à la vitesse de variation de la mesure. L'action dérivée exprimée en minute est la durée du temps dont est avancée l'action proportionnelle(ou proportionnelle plus intégrale)

3.3 Test :

3-3-1. La mise en marche du régulateur :

Dans un premier temps, le régulateur est configuré par défaut selon les adresses suivantes :

1) Stratégie de régulation CS1	B16=1
2) Mode FCS	B00=1
3) La bande proportionnelle	C106=100
4) Pas d'action intégrale	C107=0
5) Pas d'action dérivée	C108=0
6) Alarme haute et basse sur la mesure	B335=1
7) Entrée mesure 1-5V. Echelle 0-100%	C256=100
8) Régulateur en inverse	L106=1
9) Consigne locale en face avant	L115=0

Et pour travailler suivant nos conditions, on entre les adresses suivantes :

- A00, pour écrire le nom de repère
- C115, pour déterminer l'échelle du régulateur
- C116, pour déterminer le décalage d'échelle du régulateur
- C265, pour déterminer l'échelle physique
- C267, pour déterminer le décalage de l'échelle physique
- L106=0, pour rendre le régulateur direct
- A289, pour faire entrer l'unité physique

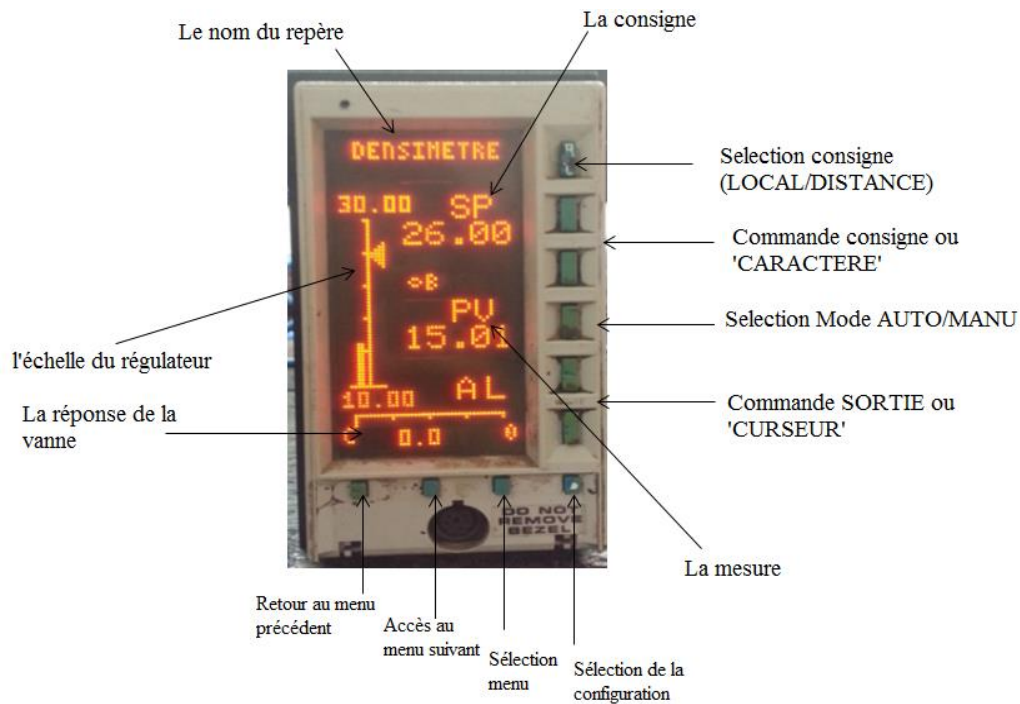


Figure 18 : Mise en marche du régulateur

3-3-2. la simulation :

Pour faire nos tests, on réalise notre boucle en utilisant le régulateur et un simulateur qui jouera le rôle du capteur-transmetteur, et enfin un multimètre pour mesurer la valeur du courant issu du capteur, puis on commence à délivrer des valeurs différentes pour ensuite visualiser la réponse de la vanne:

1-On considère que le capteur délivre un courant de 4 mA et qui correspond à 0.214bar tel que :



Sur l'écran du régulateur, on remarque que la vanne est totalement fermée puisqu'on a un C=0%. En effet, le signal issu du capteur correspond à une densité très faible, et donc il faut diminuer l'eau dans le Mick c'est à dire fermer la vanne (L'envoi d'un signal de 4 mA par le régulateur).

2-On délivre un courant de 12mA et qui correspond à une pression de 0.233 bar tel que :



D'après le régulateur, on observe que la vanne commence à s'ouvrir pour que la mesure atteigne la consigne, mais la réponse est très lente car les valeurs des actions par défauts sont « 0 » pour l'intégral et « 100 » pour la bande proportionnelle, donc on doit augmenter l'intégral et diminuer la bande proportionnelle, et on a :



4-On prend un courant de 20mA qui correspond à une pression de 0.252 bar tel que :



Puisqu'on a la mesure a dépassé la consigne, donc la vanne doit s'ouvrir totalement pour ajouter de l'eau, ce qui est montré sur l'écran du régulateur « C=100% ».

3.4 Conclusion :

En guise de conclusion, nous avons réalisé un circuit représentant la boucle de régulation qu'on a proposé pour l'objectif de la tester, et après avoir effectué plusieurs essais on a obtenu un résultat favorable montrant le bon fonctionnement de celle-ci, ce qui nous permet par suite son installation dans l'atelier four à chaux.

Conclusion générale

En termes de conclusion, le but de notre projet est la mise en place d'une boucle de régulation de la densité du lait de chaux au niveau de la station four à chaux.

Une analyse faite sur le système de fonctionnement existant nous a permis de déterminer les points critiques affectant la qualité du sucre produit afin de proposer une solution adéquate pour résoudre la problématique.

En effet, nous avons réussi à réaliser une boucle de régulation automatique répondant au besoin de la station Four à chaux. Pour cela, nous avons utilisé un matériel très performant à savoir un régulateur 53MC5000 ABB, un capteur-transmetteur de pression à membrane DN80-PN6 et une vanne régulatrice à papillon DN80 avec étanchéité en PTFE. Cette boucle permettra de minimiser les causes influençant la qualité du sucre.

Ainsi, une étude sur les composants de la boucle proposée a été réalisée. Pour chaque composant, nous avons déterminé les caractéristiques importantes permettant le bon fonctionnement telles que l'étalonnage et les gains. Ensuite nous avons exécuté des essais pour différentes valeurs pour pouvoir analyser le résultat obtenu afin de montrer la fiabilité de notre boucle.

Bibliographie

- [1] NOTICE « INSTRUCTION » *pour* REGULATEUR μ DCI MODELE 53 MC 1100
- [2] SIEMENS SIPART PS, 6DR3000-1N/E -2N/E
- [3] LE CARNET DU REGULEUR, MESURE-REGULATION
- [4] Catalogue 2007/2008 : *Produits, services et solutions pour l'automatisation de process*
- [5] INSTRUCTION MANUAL : *Multi-Loop Process Controller 53MC5000*
- [6] SIEMENS : *Régulateurs électriques SIPART DR20 pour la technique des processus- Catalogue MP 31.7*