



UNIVERSITÉ D'ANTANANARIVO

**INSTITUT D'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR D'ANTSIRABE –
VAKINANKARATRA**

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

en vue de l'obtention du diplôme de MASTER 2

Domaine : Sciences de l'Ingénieur

Mention : AUTOMATISME ET INFORMATIQUE

Parcours: AUTOMATISME ELECTRONIQUE INFORMATIQUE INDUSTRIELLE

Par : **ANDRIANANTENAINA Mirajo**

ETUDE ET REALISATION D'UNE MACHINE DE PRODUCTION DE YAOURT SOJA

Soutenu le Jeudi 03 Décembre 2020, devant la Commission d'Examen composée de :

Président de Jury : Mr. ANDRIANAHARISON Yvon, Professeur titulaire

Examineurs : Mr. RALAHIARIJAONA Zandrison Richard, AESR
Mr. RASAMIMANANA François De Salle, Maitre de conférences
Mr. RANAIVOSOA Rija Mamitiana Olivier, Docteur Ingénierie et
Géosciences

Encadreur pédagogique : Mme. RANAIVOSOA Mamitiana Lalaonirina Olivette,
Docteur Génie électrique

FISAORANA

Tolorana fisaorana etoana, Andriamatoa. RAVELOMANANA Mamy Raoul, filohan'ny Oniversite Antananarivo nohon'ny ezaka izay nataony ho any Oniversite.

Manaraka izany, ny talean'ny Institut d'Enseignement Supérieur d'Antsirabe-Vakinankaratra, Andriamatoa. ANTSONANTENAINARIVONY Ononamandimby, amin'ny fahaizany mitantana sy mampiroborobo ny sekoly.

Izany fisaorana izany dia atolotra ihany koa ho an'i Ramatoa. RANAIVOSOA Mamitiana Lalaonirina Olivette, mpiandraikitra ny Mention Automatique et Informatique ary koa encadreur pédagogique tamin'ny fanampiana sy fanabeazana. Indrindra koa fa ny fanarahamasony sy ireo torolalana nomeny nandritra ny asa fikarohana ary ny famolavolana ity boky ity.

Mankasitraka manokana koa ireo mpampianatra nanaiky hitsara sy hanitsy ary indrindra mitondra hevi-baovao ny asanay mpianatra.

Tsy adino manokana ireo mpampianatra rehetra nitondra fahalalana taminay nandritra izay dimy taona izay.

Isaorana manokana ny fianakaviana tamin'ny fanohanana ara-tsaina sy ara-bola ary arapanahy nandritra ny fanatanterahana ny fikarohana.

Farany indrindra, tolorana fisaorana eto avokoa ireo izay nanampy tamin'ny fahavitan'izao asa izao, na akaiky izany na alavitra.

Misaotra indrindra Tompoko !

REMERCIEMENTS

Au terme de ce modeste travail, nous tenons à exprimer nos remerciements les plus sincères :

- ❖ Monsieur. RAVELOMANANA Mamy Raoul, Président de l'université d'Antananarivo qui m'ont permis de poursuivre mes études au sein de cette honorable Université ;

- ❖ Monsieur. ANTSONANTENAINARIVONY Ononamandimby, Directeur de l'Institut d'Enseignement Supérieur Antsirabe-Vakinankaratra, qui contribue à la bonne gérance, à l'amélioration de l'enseignement et qui n'a pas économisé son temps ni ses efforts pour le bien de l'institut ;

- ❖ Madame. RANAIVOSOA Mamitiana Lalaonirina Olivette, enseignant et Responsable de la Mention Automatisation et Informatique de l'IES-AV ; et aussi notre encadreur pédagogique par ces efforts pour la gestion de la mention ; leur conseils et appuis précieux pendant la rédaction et la réalisation de ce mémoire;

- ❖ Le président et les membres du jury pour l'honneur que nous ont faits pour évaluer notre travail ;

- ❖ L'équipe professorale et Administrative de l'IES-AV; à la mention automatisation et informatique et surtout au parcours AEII par leurs accueil, leurs aptitude pour nous enseignés pendant ces 5 ans ;

- ❖ Ma famille qui ont été toujours présents à mes côtés par leurs prières, soutien, aide financière et encouragements, on a pu surmonter tous les obstacles ;

- ❖ Que tous ceux qui nous ont aidés, de près ou de loin, à mener à bout ce travail, trouvent ici l'expression de notre reconnaissance et notre profonde gratitude.

Merci à toutes et à tous !

TABLE DES MATIERES

FISAORANA	iii
REMERCIEMENTS.....	i
TABLE DES MATIERES	ii
NOTATIONS.....	vii
LISTES DES TABLEAUX ET DES FIGURES	viii
INTRODUCTION GENERAL	1
CHAPITRE 1 : ETAT DE L'ART SUR LE LAIT/ YAOURT D'ORIGINE ANIMAL ET D'ORIGINE VEGETAL (SOJA)	2
1.1 Introduction.....	2
1.2 Généralités sur le lait.....	2
1.2.1 Définition	2
1.2.2 Comparaison du lait de vache et le lait de soja.....	2
1.3 Matière première provenance pour produire le lait de soja en yaourt : 'les grains de soja'	3
1.3.1 Historique du grain à la renommée mondiale.....	3
1.3.2 Caractéristiques botaniques	3
1.3.3 Caractéristiques agronomiques de la plante.....	5
1.3.4 Soja vert / soja jaune.....	6
1.3.5 Avantage de l'expansion mondiale de la culture de soja	6
1.3.6 Compositions.....	6
1.3.7 Diversification alimentaire	7
1.4 Lait de soja	8
1.4.1 Un éventuel blanchiment.....	9
1.4.2 Diagramme de fabrication du lait de soja.....	9
1.4.3 Composition biochimique du lait de soja.....	10
1.4.4 Caractéristiques organoleptiques du lait de soja	10
1.4.5 Les problèmes de conservation du lait	11
1.5 Généralité sur le yaourt.....	11
1.5.1 Définition	11
1.5.2 Historique.....	11
1.5.3 Origine	12

1.5.4 Valeur nutritionnelle	13
1.5.5 Bienfaits sur la santé	13
1.6 Apparition du yaourt soja.....	14
1.6.1 La fermentation issue du lait de soja	14
1.6.2 Différents types du yaourt à base du soja	14
1.6.3 Processus de production du yaourt soja:	15
1.6.4 Explication plus détaillée du processus de la production du yaourt soja	17
1.6.5 Caractéristiques générales des bactéries du yaourt	19
1.6.6 Intérêt et fonction des bactéries lactiques	20
1.7 Conclusion	20
CHAPITRE 2 : ETUDE THEORIQUE DES ELEMENTS DE BASE DU PROJET	21
2.1 Introduction.....	21
2.2 Automatisation.....	21
2.2.1 Définition	21
2.2.2 Objectifs de l'automatisation.....	21
2.2.3 Structure d'un système automatisé	22
2.3 Yaourtière.....	23
2.3.1 Définition	23
2.3.2 Paramètres de fermentation	23
2.4 GRAFCET.....	25
2.4.1 Définition	25
2.4.2 Modèle graphique	25
2.5 GRAFCET du projet partie 1.....	26
2.6 GRAFCET du projet partie 2.....	27
2.6.2 Importance du GRAFCET	29
2.7 Schéma électrique et électrotechnique industriel.....	30
2.7.1 Définition	30
2.7.2 Représentation multifilaire commande du projet	30
2.8 Convoyeur	31
2.8.1 Définition	31
2.8.2 Composants et leur dénomination.....	31
2.8.3 Système de tension	32
2.8.4 Dispositifs de tension	33
2.8.5 Support de glissement.....	34

2.8.6 Largeur minimale de la bande	35
2.8.7 Choix de roulement.....	35
2.8.8 Angle de talutage	35
2.8.9 Angle d'éboulement.....	36
2.8.10 Angle d'inclinaison des stations supérieures.....	36
2.8.11 Éléments mobiles de transmission d'énergie.....	36
2.8.12 Caractéristique du convoyeur et leur produit transporté	37
2.8.13 Formule du nombre de tours du réducteur d'un convoyeur.....	39
2.8.14 Vitesse de bande.....	40
2.8.15 Charge transportée (capacité transporté)	41
2.8.16 Calcul de la longueur de la chaîne du convoyeur	41
2.8.17 Choix du diamètre des rouleaux	41
2.8.18 Puissance du moteur d'entraînement du convoyeur P_{tr}	42
2.8.19 Puissance nécessaire P (kW).....	43
2.9 Conclusion	43
CHAPITRE 3 : CARACTERISTIQUE ET SPECIFICITE DES MATERIELS UTILISES	44
3.1 Introduction.....	44
3.1 Contacteur	44
3.1.1 Introduction	44
3.1.2 Fonctionnement.....	44
3.1.3 Choix d'un contacteur	44
3.2 Relais auxiliaire ou contacteur auxiliaire	45
3.2.1 Constitution.....	45
3.2.2 1. Le circuit principal	46
3.2.3 2. L'organe moteur	46
3.2.4 Le circuit auxiliaire	47
3.2.5 Fonction mémoire.....	47
3.2.6 Fonction temporisée	47
3.3 Arduino.....	47
3.3.1 Introduction	47
3.3.2 Tableau: Comparatif des différentes cartes Arduino	48
3.3.3 Pourquoi Arduino.....	49
3.4 Moteur à courant continu	49
3.4.1 Stator	49
3.4.2 Rotor.....	50

3.5 Servomoteur	50
3.5.1 <i>Point fort</i>	51
3.5.2 <i>Branchement.....</i>	51
3.6 Moteur pas à pas.....	51
3.6.1 <i>Principe de fonctionnement.....</i>	51
3.6.2 <i>Propriétés et applications</i>	52
3.7 Capteurs.....	52
3.7.1 <i>Définition</i>	52
3.7.2 <i>Types de capteur</i>	52
3.8 Capteur de température DS18B20	53
3.9 Capteur à Ultrasons HC-SR04	54
3.9.1 <i>Définition</i>	54
3.9.2 <i>Caractéristiques</i>	54
3.9.3 <i>Le principe de fonctionnement.....</i>	54
3.9.4 <i>Calcul de la distance.....</i>	55
3.9.5 <i>Connecteur du capteur</i>	55
3.9.6 <i>Paramètres électriques.....</i>	55
3.1 Module relais	56
3.1.1 <i>Définition</i>	56
3.1.2 <i>Brochage du relai</i>	56
3.2 La pompe à eau.....	56
3.2.1 <i>Définition</i>	56
3.2.2 <i>Caractéristiques</i>	57
3.2.3 <i>L'alimentation.....</i>	57
3.3 Logiciels interface arduino IDE.....	58
3.3.1 <i>Interface</i>	58
3.3.2 <i>Le langage Arduino</i>	58
3.4 Conclusion	60
CHAPITRE 4 : RESULTAT ET INTERPRETATION	61
4.1 Introduction.....	61
4.2 Présentation et principe de fonctionnement du projet	61
4.3 <i>Partie cuisson des matières premières (grains de soja+ eau) jusqu'au récipient mélangeur.....</i>	62
4.3.1 <i>Partie départ des pots (Convoyeur 1) jusqu'à l'arrivé des pots (convoyeur 2).....</i>	63
4.4 Yaourtière.....	64

4.4.1 <i>Principe de fonctionnement</i>	65
4.5 Armoire électrique.....	65
4.6 Budget du prototype	66
4.7 Rendement.....	67
4.8 Notion de qualité.....	67
4.8.1 <i>Qualité hygiénique</i>	67
4.8.2 <i>Qualité nutritionnelle</i>	67
4.8.3 <i>Qualité sensorielle</i>	68
4.8.4 <i>Qualité commerciale</i>	68
4.8.5 <i>Qualité réglementaire</i>	68
4.9 Le politique marketing	68
4.9.1 <i>Produits</i>	68
4.9.2 <i>Prix</i>	69
4.9.3 <i>Place ou lieu de distribution</i>	69
4.9.4 <i>Publicité et promotion des produits</i>	69
4.10 Conclusion	69
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	70
ANNEXE	x
BIBLIOGRAPHIE	xii
WEBOGRAPHIE	xiv
FICHE DE RENSEIGNEMENTS	xv
RESUME ET MOTS CLES	xvi

NOTATIONS

1. Minuscules latines

- c : Coefficient de frottement des bandes, rouleaux,...
- f : Coefficient de frottement des tambours fixés

2. Majuscules latines

- D : Diamètre des rouleaux (mm);
- G : Poids de la bande et des parties tournantes des tambours de tête et de renvoi [Kg/m]
- L : Distance de centre à centre entre le tambour de tête et le tambour de renvoi (en m)
- N : Vitesse de rotation des rouleaux (tr/mn).
- P : Puissance en Watts (W)
- Q_v : Charge transportée du convoyeur
- V : Vitesse de la bande [m/s]
- V : Vitesse de la bande

3. Majuscules grecques

- Ω : Vitesse angulaire en radians par seconde (rad.s-1)

4. Abréviations

- AEII : Automatismes Electronique Informatique Industrielle
- E/S : Entrée – Sortie
- EEPROM : Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
- GRAF CET : GRAphe Fonctionnel de Commande Etapes-Transitions
- IESAV : Institut d'Enseignement d'Antsirabe Vakinankaratra
- IHM : Interface Homme-Machine
- MPV : Matières Protéiques Végétales
- PC : Partie Commande
- PO : Partie Opérative
- SAP : Système Automatisé de Production
- SAP : Système Automatique de Production
- TOR : Tout Ou Rien

LISTES DES TABLEAUX ET DES FIGURES

Liste des tableaux

Tableau 1.01 : Composition nutritionnelle des grains de soja (en pourcentage du poids total des grains) [4]	7
Tableau 1.02 : Composition de 100g du lait de soja [5]	10
Tableau 2.01 : Fluidité en fonction de l'angle de talutage β [16]	37
Tableau 2.02 : Diamètre recommandé pour les rouleaux. [20]	42
Tableau 3.01 : Comparatif des différentes cartes Arduino [23].....	48
Tableau 3.02 : paramètre électrique du capteur ultrason HC SR 04 [26]	55
Tableau 3.03 : Structure du programme sous le logiciel [28].....	59
Tableau 4.01 : Prix des matériels pour la fabrication de la machine	66

Liste des figures

Figure 1.01 : Le soja, Glycine max, légumineuse herbacée [2].....	4
Figure 1.02 : Diagramme de fabrication du lait de soja.....	9
Figure 1.03 : processus de production du yaourt soja.....	16
Figure 2.01 : Principe d'un système automatisé [8].....	21
Figure 2.02 : Structure d'un système automatisé [9].....	22
Figure 2.03 : Schéma de système d'une yaourtière.....	24
Figure 2.04 : Schéma de principe de la yaourtière à réaliser.....	24
Figure 2.05 : Grafcet du projet 1.....	26
Figure 2.06 : Grafcet partie 2 du projet.....	29
Figure 2.07 : Schéma de commande du projet.....	30
Figure 2.08 : Tensions exercées sur la bande au niveau du tambour de commande [10].....	33
Figure 2.09 : Système auto-réglant.....	33
Figure 2.10 : Système de tension fixe [11].....	34
Figure 2.11 : Support de glissement [12].....	34
Figure 2.12 : Angle talutage [13].....	35
Figure 2.13 : Angle d'éboulement [14].....	36
Figure 2.14 : Angle d'inclinaison des stations supérieures [15].....	36
Figure 2.15 : Système de transmission à haute puissance [17].....	38
Figure 2.16 : Système de transmission à faible puissance [18].....	39
Figure 2.17 : Chaîne cinétique de réducteur [19].....	40
Figure 3.01 : contacteur [21].....	46
Figure 3.02 : Alimentation de la bobine du contacteur [22].....	46
Figure 3.03 : moteur à courant continue. [24].....	50
Figure 3.04 : fonctionnement d'un capteur.....	52
Figure 3.05 : Capteur de température DS18B20 [25].....	54
Figure 3.06 : pompe à eau.....	57
Figure 3.07 : Interface arduino IDE [27].....	58

INTRODUCTION GENERAL

Se nourrir est un besoin fondamental de l'homme. En effet, le lait est un aliment qui apporte une place essentiel dans notre vie quotidienne surtout dans notre organisme. Grâce à ces composants nutritifs, c'est une excellente source de santé saine et équilibrée. Avec les progrès et la créativité de l'homme, le yaourt apparait sous une forme de lait fermenté obtenu par le développement des bactéries lactiques. A l'époque, le yaourt était à la base de lait d'origine animale (comme le lait de vache, le lait des chèvres, etc,...). C'est le produit consommé la plupart du temps parce qu'il convient à toutes les tranches d'âge et peut conserver par rapport au lait.

A Madagascar, l'approvisionnement de la principale matière première, (c'est-à-dire le lait de vache ou le lait en poudre) pour la production du yaourt été devenu difficile et peu bénéfique pour les petite entreprises et grande entreprises parce que le cout de ce lait est plus coûteux. En effet, les produits dans le marché sont donc trop chers et ne couvre la totalité de notre ile.

Face à toutes ces difficultés, il s'avère nécessaire d'explorer encore d'autre source de matière première (le lait). Il s'impose alors à la recherche d'autres sources de laits pouvant additionner valablement le lait de vache. D'ailleurs, le lait d'origine végétale peut être extrait dans les grains de soja pourrait utiliser comme un substitut du lait de vache. La consommation du soja et de ses dérivés apporte aussi de valeur nutritionnelle comme le lait de vache. De plus, a son faible coût des grains de soja, demeure encore sous exploité, la mise en place de tel nouveau yaourt serait donc un nouvel univers commercial concurrentiel par rapport au produit laitier habituel.

C'est pour cela donc l'origine de notre idée de réaliserai un prototype d'une machine automatique de production de yaourt soja en tant que AEII. L'objectif de ce mémoire sera donc : « une étude et une réalisation d'une machine automatisée de production de yaourt soja».

Cet ouvrage comporte quatre chapitres. Le chapitre premier serait consacré à la recherche bibliographique qui traite les généralités sur le lait ainsi les grains de soja et yaourt soja ; ensuite, caractéristique et spécification des matériels utilisés. La troisième traitera une étude théorique de base du projet. Et le dernier chapitre concernera la présentation, l'interprétation du prototype du projet et le résultat de l'étude.

CHAPITRE 1 : ETAT DE L'ART SUR LE LAIT/ YAOURT D'ORIGINE ANIMAL ET D'ORIGINE VEGETAL (SOJA)

1.1 Introduction

Comme dans l'introduction générale, le but final de ce mémoire serait de réaliser un prototype d'une machine de production du yaourt soja. Ce premier chapitre serait donc consacré sur la généralité du yaourt ; les points essentiels mieux à connaître sur le lait et le yaourt habituel (lait de vache) et le yaourt soja ; Ainsi que le processus de fabrication de ce type de yaourt et leur apport énergétique sur notre organisme sera aussi mises en évidence.

1.2 Généralités sur le lait

1.2.1 Définition

« Le lait est le produit intégral de la traite totale et ininterrompue d'une femelle laitière bien portante, bien nourrie et non surmenée. Le lait, sans indication de l'espèce animale de provenance, correspond au lait de vache ». [AFNOR, 1994]. Selon la Fédération Internationale Laitière, le lait doit être secrété par des glandes mammaires normales et n'est ni ajouté ni soustrait de quelconque substance. [1]

C'est un produit alimentaire exceptionnellement riche en protéine et en matière grasse. Cependant sa composition peut être améliorée d'avantage par l'enrichissement en protéine végétale et en acides gras insaturés.

1.2.2 Comparaison du lait de vache et le lait de soja

Ces deux types de lait ont un aspect semblable, seulement la flaveur (odeur et saveur) du lait de soja rappelle celle du haricot d'origine. Du point de vue nutritionnelle, ils se diffèrent surtout par la nature de la matière grasse (le soja est riche en AGI alors que le lait est riche en AGS) et celle des protéines (globulines pour le soja et caséines pour le lait). Ils sont donc complémentaires.

1.3 Matière première provenance pour produire le lait de soja en yaourt : ‘les grains de soja’

1.3.1 Historique du grain à la renommée mondiale

Le soja été d’abord cultivé vers 1700 et 1100 avant J.-C. En Chine en tant qu’engrais vert pour enrichir le sol. Puis, il a principalement contribué au déploiement de la civilisation chinoise avec le riz, le blé et l’orge, grâce à la richesse nutritionnelle de cette graine. De plus, les produits à base de soja profitent d’une grande popularité dans le monde entier. Le soja est reconnu depuis longtemps comme étant un aliment bénéfique pour la santé humaine. En effet, une alimentation à base de soja est pauvre en acides gras saturés et en cholestérol, et amène beaucoup moins de calories qu’une alimentation à de produits laitiers.

1.3.2 Caractéristiques botaniques

Le soja est une plante herbacée annuelle, velue, appartenant à l’ordre des Fabales, famille des Légumineuses, sous-famille des Fabacées (ou Papilionacées), genre Glycine. Le soja possède un port végétatif et un appareil reproducteur caractéristique de la famille des Fabacées.

1.3.2.1 Appareil végétatif

L’appareil végétatif du soja comporte :

- ❖ Un port érigé d’une hauteur de 30 à 150 centimètres,
- ❖ Des feuilles alternes à trois folioles acuminées avec stipelles, qui tombent avant la maturité complète de la plante.

La figure ci-dessous montre la caractéristique végétative de soja :

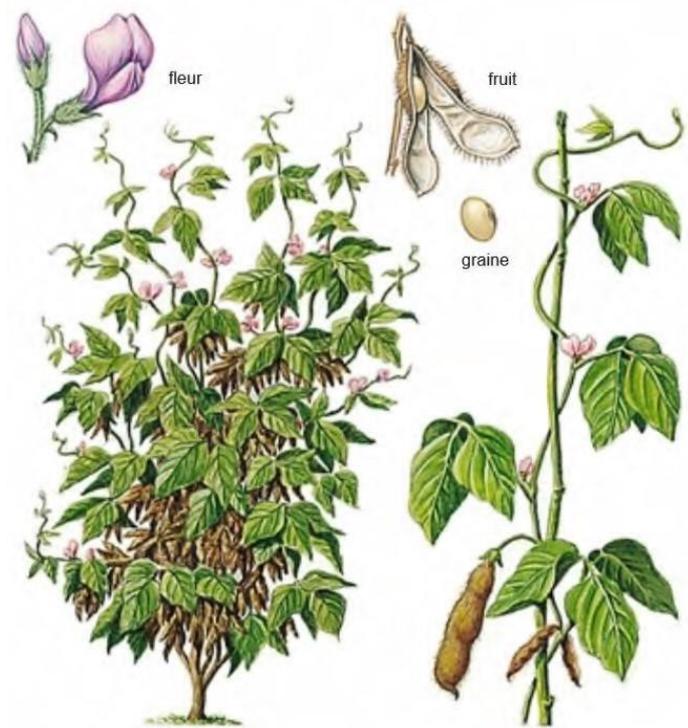


Figure 1.01 : *Le soja, Glycine max, légumineuse herbacée [2].*

1.3.2.2 Appareil reproducteur

L'appareil reproducteur du soja est caractérisé par :

- ❖ Des fleurs isolées, petites, violettes ou jaunâtres, zygomorphes (avec un plan de symétrie), hermaphrodites et autogames,
- ❖ Une corolle avec cinq pétales vexillaires : un pétale dorsal (vexillum) qui encadre deux pétales latéraux (ailes), qui eux resserrent deux pétales ventraux soudés (carène),
- ❖ Un calice avec cinq sépales soudés,
- ❖ Un androcée diadelphé (étamines assemblées en deux groupes), o Un gynécée composé d'un carpelle,
- ❖ une fécondation cléistogame (autofécondation avant même que la fleur ne s'ouvre),
- ❖ Des fruits sous forme de gousses (ou légumes) bosselées et velues, déhiscentes, de longueur et couleur variables en fonction des variétés, contenant deux à quatre graines riches en protéines.

1.3.3 Caractéristiques agronomiques de la plante

1.3.3.1 Exigences édaphiques

Le soja pousse bien dans la plupart des types de sol, à faible capacité de rétention d'eau. Le système racinaire s'organise autour d'une racine pivot qui se ramifie en radicelles. Elles absorbent l'eau et les sels minéraux du sol indispensables à la survie de la plante. En plus d'utiliser l'azote minéral du sol pour la synthèse d'acides aminés et de protéines, les légumineuses telles que le soja, la lentille, la luzerne ont développé un moyen supplémentaire pour fixer l'azote de l'air. Elles vivent en symbiose avec certaines bactéries du sol (*Rhizobium*) qui sont rentrées par les racines de la plante pour former des nodosités. Dans ces nodules accrochés aux racines, les bactéries récupèrent des glucides de la plante issus de la photosynthèse mais en contrepartie, elles synthétisent des acides aminés amides pour la plante, après fixation de l'azote de l'air du sol (N_2) et réduction en ammoniac (NH_4^+).

Grâce à cette voie symbiotique, le soja est donc une légumineuse qui nécessite peu d'engrais azotés et c'est pourquoi il est bien adapté à la production biologique.

1.3.3.2 Exigences climatiques

Il s'agit d'une plante à jour court, c'est-à-dire que sa floraison s'effectue quand les nuits commencent à rallonger. Elle s'adapte bien en zones tropicales. En fait, au cours de son cycle de 90 à 150 j, la moyenne de température devrait être supérieure à 20°C. Une température inférieure à 13°C provoque la coulure des fleurs et la croissance de la plante s'arrête complètement pour des températures inférieures à 10°C.

Une précipitation de l'ordre de 500 à 800 mm est considérée comme optimale [3]. L'alimentation en eau suffisante est importante surtout lors de la période de développement de la gousse et des graines (remplissage des gousses). Si nécessaire, l'irrigation devait être effectuée.

1.3.4 Soja vert / soja jaune

Le soja dit jaune est souvent assimilé au soja dit vert, facilement retrouvé dans le commerce sous forme de pousses fraîches blanches. Ces pousses de soja vert sont en fait des graines de haricot mungo germées.

Par ailleurs le soja jaune ne peut se consommer cru, la graine doit d'abord subir certains traitements (thermiques, hydro-alcooliques, fermentation) afin d'être débarrassée de ses composés antinutritionnels qui perturbent la digestion pour pouvoir être consommée.

De plus d'autres graines portent le nom de soja. On trouve le soja rouge, *Vigna angularis*, dont les graines sont utilisées dans la cuisine indienne ainsi que le soja noir, *Semen sojae praeparatum*, dont les graines doivent également être consommées cuites.

1.3.5 Avantage de l'expansion mondiale de la culture de soja

Le soja est une plante dont les usages sont très variés. Il est cultivé depuis plus de seize siècles avant notre ère comme base à des aliments bénéfiques pour la santé humaine riches en protéines. Le soja est principalement cultivé pour produire une matière azotée destinée aux animaux d'élevage après transformation en tourteaux, coproduit de l'extraction de l'huile de la graine de soja. La graine de soja est aujourd'hui l'une des ressources alimentaires les plus produites au monde grâce aux cultures génétiquement modifiées qui ont vu le jour dans les années 2000.

1.3.6 Compositions

La présence intéressante de protéines, lipides et glucides, la graine de soja contient les vitamines liposolubles A,D,E,K et est particulièrement riche en vitamine B et en minéraux mais aussi en micronutriments tels que les isoflavones, les saponines, les stérols, les phytates et les inhibiteurs de protéases qui apportent au soja des propriétés préventives, prouvées ou à l'étude, à l'égard de certaines pathologies.

Tableau 1.01 : *Composition nutritionnelle des grains de soja (en pourcentage du poids total des grains) [4]*

	Poids total (%)	Poids sec (%) : 91,4 %
Eau	8	
Protéines	34,3	40 - 45
Lipides	18,7	17 - 22
Glucides totaux	31,6	38,4
Glucides digestibles	13,6	16,4
Fermentescible		4 - 6
Amidon	0,7	0,8
Fibres alimentaires	18	22
Minéraux	4,5	5,1

Le rapport idéal Oméga 6/Oméga 3 = 5, correspond bien à la composition de l'huile de soja ce qui est fort bénéfique dans la prévention des pathologies cardiovasculaires. A l'inverse, un excès d'oméga 6 conjoint à un apport insuffisant d'oméga 3 avec un rapport Oméga 6/Oméga 3 > 15 peut induire une baisse de HDL-cholestérol diminuant leur effets protecteurs cardiovasculaire et antiathérogène, et surtout augmenter l'agrégation plaquettaire et donc augmenter le risque d'accident cardiovasculaire.

1.3.7 Diversification alimentaire

Les graines étant la partie la plus intéressante sur le plan nutritionnel à utiliser dans la plante, c'est à partir d'elle que découle depuis des siècles, toute la diversification alimentaire du soja jaune. A partir de ces grains, on peut obtenir différents produits destinés à la consommation et retrouvés

dans le commerce sous forme de produit destiné à l'exploitation industrielle agroalimentaire. Cependant les graines de soja peuvent être consommées sans être transformées à condition de les laver, de les tremper longuement dans de l'eau et de les cuire afin d'enlever les composés antinutritionnels.

Les produits à base des grains de soja traditionnellement consommés en Asie depuis des millénaires sont obtenus par des techniques industrielles ou plus traditionnelles (chauffage, fermentation). On peut classer ces aliments en deux grandes catégories : les produits fermentés et les produits non fermentés.

1.3.7.1 Produit non fermenté

Le tonyu (ou lait de soja) est obtenu à partir des graines de soja après plusieurs trempages successifs dans l'eau, broyage, macération, filtration puis cuisson à l'autoclave quelques minutes à 100 °C. De par son aspect comparable à celui du lait de vache, il est improprement appelé « lait » de soja ou jus de soja mais il est dépourvu de cholestérol et de lactose (glucide absent des graines de soja) et peut être consommé en cas d'intolérance au lactose ; en l'occurrence, les produits dérivés du soja possèdent une très bonne digestibilité.

1.3.7.2 Produits issus de la fermentation du soja

Le processus de fermentation peut se réaliser à partir de la graine ou bien à partir du tonyu ou du tofu. La fermentation du soja utilise des ferments spécifiques composés de microorganismes (levures, bactéries lactiques...).

1.4 Lait de soja

Le lait de soja était toujours consommé partout dans le monde. Il est consommé en tant qu'aliment de régime pour les végétariens et surtout les végétaliens. Mais il procure aussi un moyen pour boire du lait pour ceux ne tolérant pas le lactose.

La composition de ce lait extrait à partir des grains de soja entier dépend du ratio entre la quantité de soja, de l'eau utilisé et des paramètres du processus de fabrication.

1.4.1 Un éventuel blanchiment

Cette opération, qui se fait à haute température (>80°C) et dure entre 5 et 30 minutes, a pour but d'inactiver les di-oxygénases qui sont responsables des «notes vertes» dans le produit fini. Cependant, les protéines peuvent également être dénaturées ce qui diminue le rendement de récupération d'extrait sec.

1.4.2 Diagramme de fabrication du lait de soja

L'extraction du lait de soja peut s'opérer de diverses manières, mais généralement deux méthodes les plus couramment employées sont les suivantes. Pour les deux méthodes, le soja subit d'abord les mêmes prétraitements. Leur différence réside sur l'ordre chronologique des opérations de broyage et de cuisson.

Pour notre technique, le broyage s'effectue juste après le trempage des graines de soja. (Alors qu'inversement, c'est la cuisson qui se fait avant toutes les autres).

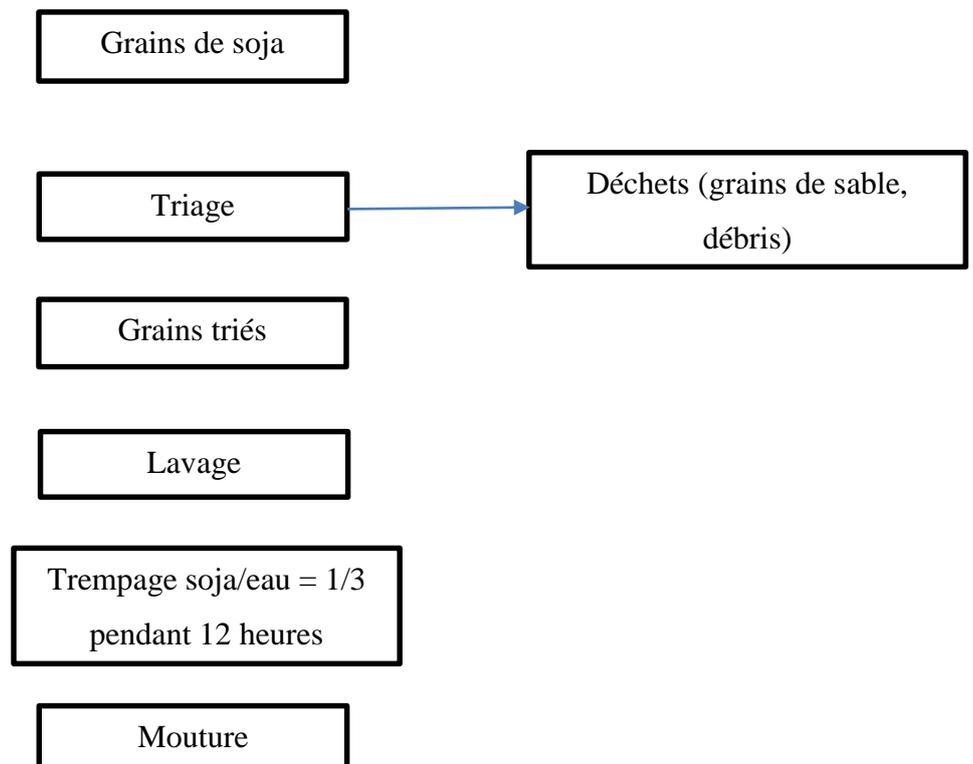


Figure 1.02 : Diagramme de production du lait de soja

1.4.3 Composition biochimique du lait de soja

Le lait de soja est constitué en majeure partie par de l'eau et contient une valeur non négligeable de constituants dont le plus important est sa richesse en protéine provenant de la graine d'origine. Il contient environ 6,7% de matière sèche.

Tableau 1.02 : Composition de 100g du lait de soja [5]

	Unités	Composition théorique (1)	Valeurs expérimentales
Energie	Kcal	33	-
Eau	g	93,3	95,12 (*)
Matière sèche	g	6,7 (*)	4,88
Matière minérale	g	0,2 (*)	-
Calcium	mg	4	-
Fer	mg	0,58	-
Zinc	mg	0,23	-
Sodium	mg	12 (**)	-
Protéine (N * 5,71)	g	2,8	2,7
Matière grasse	g	1,9	1,17
Hydrates de carbone	g	1,8	-

1.4.4 Caractéristiques organoleptiques du lait de soja

Le lait de soja est un liquide plus ou moins visqueux, de couleur blanc jaunâtre. Il possède une odeur caractéristique du soja et une saveur fade. Une aromatisation est donc indispensable si l'on veut le consommer tel quel. Sa transformation par fermentation ou par d'autres procédés peut aussi les atténuer voir les éliminer.

1.4.5 Les problèmes de conservation du lait

Le lait est une denrée très périssable. Il comporte dès la traite une multitude de microorganismes d'origine intrinsèque et d'autres sont introduits pendant les manipulations du lait. Les enzymes sont aussi présentes dans le lait. Sa conservation à la température ambiante ne dure que quelques heures.

Pour conserver le lait, la mise en place d'une chaîne de froid continue ou un traitement thermique comme la pasteurisation ou la stérilisation est indispensable. Autrement, il doit être transformé en produits laitiers tels que les beurres, les crèmes glacées, le lait en poudre, le yaourt (comme dans notre étude).

1.5 Généralité sur le yaourt

1.5.1 Définition

Selon le Codex alimentaires et la FAO le 1975, Le yaourt est un produit laitier coagulé obtenu par la fermentation lactique grâce à l'action de *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus* à partir du lait (pasteurisé, concentré, partiellement écrémé, enrichi en extrait sec) avec ou sans addition de substances (lait en poudre, poudre de lait écrémé, les protéines lactosériques concentrées ou non, la caséine alimentaire... etc.). Les bactéries dans le produit fini doivent être viables et abondantes. La FIL) fixe la quantité de ferment vivant, égale à 10^7 bactéries par gramme.

L'origine du mot "yaourt" se retrouve d'ailleurs dans le mot turc « yogurmark », qui signifie « épaissir ». Le yaourt dit « nature » constituait l'essentiel de laits fermentés, mais à partir des années 1970 sont apparus les produits sucrés puis aromatisés et aux fruits.

1.5.2 Historique

Depuis le Néolithique et le début de l'élevage, soit vers 8500 ans avant notre ère, les éleveurs se sont aperçus que le lait caillait spontanément sous l'influence de ses propres bactéries ou sous celle d'enzymes lorsqu'il était conservé dans des outres fabriquées avec des estomacs de bovins (par l'action de la présure). La maîtrise de la fermentation lactique permettait de conserver les laitages

sans altération et d'offrir des boissons rafraîchissantes ou des aliments faciles à transporter comme le yaourt.

Les premières productions de lait fermenté ont été faites à partir de fermentations spontanées dues au développement de la microflore naturellement présente dans le lait frais. Les agents de la fermentation sont principalement des bactéries lactiques qui transforment les sucres du lait en acide lactique. L'acidification du milieu déstabilise les agrégats de protéines en suspension aqueuse et entraîne la formation d'un gel (le caillé). Mais la fermentation peut être aussi affectée par les micrococci, les corynéformes, les levures et les moisissures. D'une région à l'autre, la très grande diversité des souches fermentaires et des techniques de fabrication artisanale conduit à des produits de goût, de couleur et de texture très différents. Les bactéries lactiques de nombreux genres ont été identifiées dans les laits fermentés traditionnels (*Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus*, *Streptococcus*, et *Bifidobacterium*) mais aussi des bactéries pathogènes comme *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* ou *Listeria monocytogenes*.

Dans la seconde moitié du XXe siècle, lorsque les yaourts sont devenus des produits de grande consommation vendue sur un marché de plus en plus large, le besoin s'est fait sentir de savoir à quoi référait de manière précise et constante l'étiquette « yaourt ».

Le yaourt est un produit vivant très différent des produits traités thermiquement (étuvés ou pasteurisés) dont on allonge la durée de conservation en inactivant leur flore bactérienne. L'intérêt d'avoir un produit vivant tient au fait que les cultures vivantes améliorent la digestion du lactose chez les individus ayant des difficultés à les digérer. [6]

1.5.3 Origine

Même si l'origine exacte des laits fermentés ou yaourt a été difficile à établir, les données archéologiques et historiques de l'Antiquité incitent à penser qu'elle se situe dans la zone allant du Moyen-Orient aux Balkans.

Les premiers témoignages archéologiques des techniques de fermentation lactique sont des poteries à trous avec des traces de lait caillé datant de 7000 avant notre ère (av. n.e.), des bas-reliefs sumériens (de 3000 av. n.e.) et des tombes égyptiennes (datées de 2350-2200 av. n.e.). Un bas-relief du sarcophage de la reine Kaout (XIe dynastie égyptienne) représente un petit personnage en train de traire une vache, avec un petit veau attaché à sa patte avant, pour le tenir à l'écart de la mamelle[7].

Ainsi, il existe des preuves de l'existence de produits laitiers fermentés dans un but alimentaire depuis au moins le III^e millénaire avant JC.

1.5.4 Valeur nutritionnelle

En plus d'être apprécié pour son goût et sa texture, le yaourt a une valeur nutritionnelle remarquable : un apport énergétique relativement faible (en moyenne 90 kcal pour un pot de 125 g de yaourt nature classique). Pauvre en sel et en matières grasses, il est riche en protéines et en potassium. Le yaourt contient également l'ensemble des vitamines B, de la vitamine A, D et K.

Un pot de yaourt fournit 140 à 180 mg de calcium, soit 18 % de l'apport quotidien conseillé pour un adulte, et 23 % pour un enfant. Le calcium des produits laitiers serait mieux assimilé par l'organisme que celui d'origine végétale, en raison de sa teneur en protéines et en phosphore qui participent à une meilleure assimilation.

La composition d'un yaourt nature non sucré est proche de celle du lait de vache. L'apport en calcium, phosphore, riboflavine (vitamine B2) et en vitamine B12 représente un certain intérêt nutritionnel.

1.5.5 Bienfaits sur la santé

La présence de 100 à 1 050 millions de bactéries vivantes par millilitre de yaourt aurait un impact positif sur la santé de l'humain. Les nombreuses recherches menées, pour certaines par les producteurs de yaourt, pour d'autres par des agences de santé, apportent à ce sujet des résultats contradictoires. Le yaourt reste, avec la levure de bière, un produit couramment recommandé par les médecins et les pharmaciens lors d'un traitement antibiotique afin de reconstituer la flore intestinale et éviter les diarrhées médicamenteuses.

La consommation élevée de produits laitiers pourrait même favoriser l'ostéoporose, c'est un sujet controversé. Il faut savoir que l'essentiel de l'humanité se satisfait de 350 mg de calcium par jour, et que la teneur en calcium du lait maternel est beaucoup plus faible que celle du lait de vache ou soja. Grâce à sa composition riche en nutriments (phosphore, calcium, protéines, potassium...) et en vitamines, le yaourt contribue à la minéralisation des os et à la croissance. Il favorise le développement de la masse osseuse pendant l'enfance et l'adolescence.

1.6 Apparition du yaourt soja

Alors que les yaourts de lait de vache, de chèvre sont consommés dans nombreux pays depuis longtemps. Le yaourt de soja est un produit relativement nouveau. C'est un produit fermenté à partir de l'extrait liquide de soja (lait de soja). Et ce lait est extrait aussi par les grains de soja. En fonction de la composition du lait de soja utilisé ou des procédés de fabrication, les yaourts à base de soja peuvent être classifiés en des yaourts à texture assez visqueuse, en des gels plus mous ou encore sous forme d'une boisson ou un dessert congelé. Le soja était originaire de l'Asie centrale.

1.6.1 La fermentation issue du lait de soja

La conservation du lait de soja, ou des produits issus du soja en général, se fait sous formes très variées. Comme la fermentation est l'une des plus vieilles méthodes de transformation et de conservation d'un aliment, elle est aussi utilisée pour transformer le lait de soja. Elle permet en outre d'améliorer la digestibilité et sa valeur nutritionnelle, grâce par exemple à la synthèse de vitamines par les microorganismes.

Selon BOURGEOIS et LARPENT (1996), les composés complexes tels que glucides, protides, lipides sont transformés en composés simples rapidement assimilables (sucres simples, acides aminés, acides gras) grâce à cette fermentation. Les caractéristiques organoleptiques (goût, texture, arômes) sont renforcées avec l'élimination du goût de farine. Enfin, le produit est bactériologiquement stabilisé et certains facteurs antinutritionnels disparaissent.

1.6.2 Différents types du yaourt à base du soja

1.6.2.1 Yaourt de soja brassé

Dans la formulation du yaourt de soja brassé, le lait de soja est inoculé, fermenté, refroidi, brassé et éventuellement mixé (ex : avec les fruits préparés) dans les récipients. Le yaourt est emballé à la dernière étape.

1.6.2.2 Yaourt de soja à boire

Le yaourt de soja à boire est un produit à basse viscosité. Sa formulation est identique à celle du yaourt brassé sauf que le yaourt est « violemment » brassé après la fermentation afin de détruire

une partie du gel formé et rendre le produit moins visqueux. La fermentation du yaourt classique produit de l'acide lactique ainsi qu'une petite quantité de sous-produits comme les composés carbonylés et les acides gras volatiles. Alors que l'acide lactique évoque le goût acide et la fraîcheur du yaourt, les sous-produits contribuent à des arômes bien caractéristiques du yaourt. L'acétaldéhyde est le composant carbonyle principal produit par les cultures bactériennes et une des molécules qui évoque l'arôme « yaourt ».

1.6.2.3 Yaourt de soja gélifié

Dans la formulation du yaourt de soja gélifié, le lait de soja est inoculé, mis dans le pot de yaourt qui est ensuite fermé. La fermentation et le refroidissement ont lieu dans les pots.

1.6.3 Processus de production du yaourt soja:

Ci-dessous en page 16, le diagramme technologique de production du yaourt à base du lait de soja

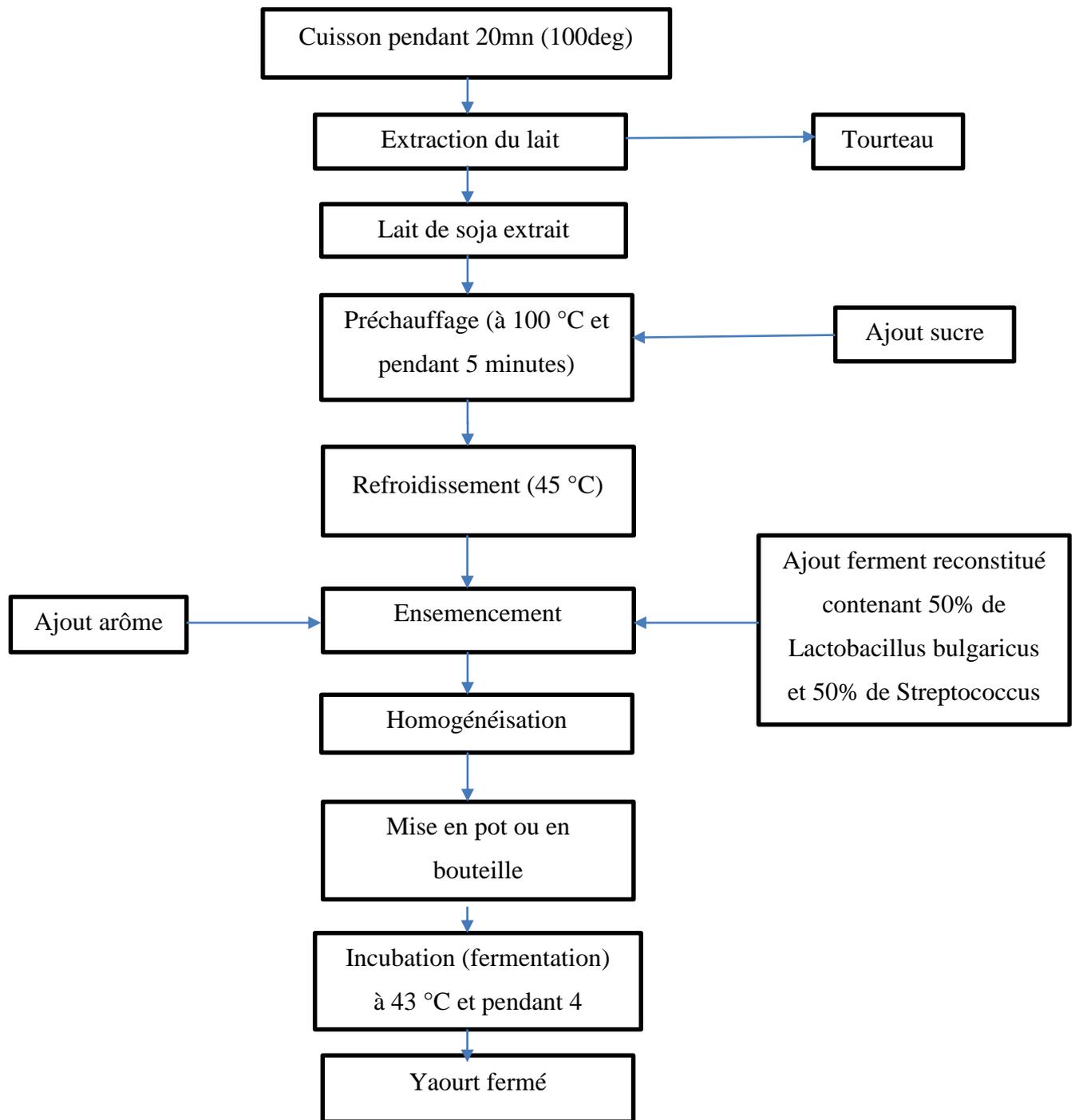


Figure 1.03 : processus de production du yaourt soja

1.6.4 Explication plus détaillée du processus de la production du yaourt soja

Pour avoir de lait de soja, il faut d'abord produire de lait à partir des grains de soja. Le lait de soja doit avoir une teneur en protéines d'environ 5%. La formulation (ou la standardisation du lait de soja) a lieu dans un réservoir/mixeur où celui-ci est mélangé à d'autres ingrédients comme le sucre, le concentrat protéique, la matière grasse etc. La teneur en matières sèches totales détermine la viscosité du produit final. Si celle-ci est insuffisante, le yaourt sera liquide et pauvre en composants aromatiques. Cette teneur devra atteindre 20% ou plus. La teneur suffisante en matières grasses est aussi importante et donnera au yaourt une texture à la fois ferme et onctueuse ainsi qu'un profil aromatique intéressant.

Le mélange est ensuite homogénéisé afin d'améliorer la stabilité du caillé et la viscosité du produit final. L'homogénéisation assure l'interaction protéine-lipide à l'aide de la dispersion des gros globules gras en des globules de taille plus petite. Ce fait augmente la surface totale qui est couverte par des protéines et permet une bonne distribution des globules gras à l'intérieur du réseau de gel formé. Cela améliore l'aspect épais et crémeux du produit final. Le traitement thermique (90 à 95°C pendant 3 minutes) a pour but de pasteuriser le mélange et de dénaturer les protéines. Le mélange est refroidi à 43°C, la température appropriée pour l'inoculation. La fermentation peut se dérouler à la température variant entre 37 à 45°C pendant 4 ou jusqu'à 12 heures. Le yaourt est ensuite conservé à une température inférieure à 10°C.

1.6.4.1 Préparation et traitement du lait ou enrichissement en matière sèche

La teneur en matière sèche du lait mis en œuvre dans la fabrication du yaourt est un facteur important, car elle conditionne la viscosité et la consistance du produit.

Les protéines ont un rôle déterminant sur la texture et la matière grasse sur les caractéristiques organoleptiques (saveur, arôme). Les protéines et la matière grasse contribuent également à masquer l'acidité du produit. Cet enrichissement est réalisé par concentration (évaporation ou osmose inverse) ou plus fréquemment par addition de poudre de lait écrémé ou de protéines de lactosérum à des doses variant de 1 à 3%. Le poudrage, effectué à 40°C environ pour une bonne réhydratation des poudres, est généralement suivi d'une étape de filtration et de désaération.

1.6.4.2 **Traitement thermique ou la pasteurisation**

Si cette étape de pasteurisation n'est pas obligatoire à l'obtention d'un yaourt, elle est toutefois effectuée le plus souvent afin d'éliminer les micro-organismes présents dans le lait et indésirables pour l'homme. La pasteurisation consiste à chauffer le lait jusqu'à une température de 90 à 95°C pendant 3 minutes.

Le lait enrichi subit un traitement thermique qui a pour but :

- ❖ De détruire tous les germes pathogènes et indésirables (bactéries, levures, moisissures), ce qui favorisera le développement ultérieur des ferments;
- ❖ D'inactiver les γ -globulines et de nombreuses enzymes (phosphatase, peroxydase) et de favoriser le développement de la flore lactique spécifique par la formation d'acide formique et d'autres facteurs de croissance;
- ❖ La dénaturation de la β -globuline qui en se fixant sur la caséine κ de la surface des micelles, participera à la formation d'un gel ferme et sans synérèse;

Le couple température/temps utilisé, est généralement supérieur à 90°C pendant 3 min.

1.6.4.3 **Ensemencement**

Avant d'êtreensemencé, le lait est refroidi et maintenu à une température de 43°C, température à laquelle les enzymes présents dans les ferments lactiques effectueront au mieux leur tâche. L'ensemencement consiste ainsi à introduire des ferments lactiques spécifiques dans le lait, afin que celui-ci prenne une nouvelle consistance.

1.6.4.4 **Etuvage**

Une foisensemencé, le lait est mis en pots. Les pots fermés entrent ensuite en salle chaude pendant environ 3 heures afin de permettre aux ferments de se multiplier et d'ainsi transformer le lait en yaourt grâce à l'action de l'acide lactique.

1.6.4.5 **Refroidissement et le respect de la chaîne du froid**

Puis, les yaourts sont réfrigérés et stockés en chambre froide. Les modalités de stockage et de conservation (durée et température) sont bien encadrées. Les bactéries contenues dans les ferments lactiques doivent demeurer vivante au moment de la consommation du yaourt. Il est

important de bien respecter à chaque étape du transport (de la laiterie au supermarché, puis à la maison) la chaîne du froid.

1.6.4.6 Conservation

Produits issus du vivant, les produits laitiers sont soumis à des mesures strictes en matière de conservation et d'emballage avant d'arriver dans nos supermarchés, jusqu'à chez soi. Une fois entre nos mains, il faut alors respecter quelques règles simples, afin de les consommer dans de bonnes conditions de conservation et de préserver leurs saveurs.

Sur le marché, afin de respecter au maximum la chaîne du froid, prendre les produits laitiers frais en dernier et les mettre dans un sac isotherme avant de les ranger le plus rapidement disponible au réfrigérateur en rentrant à la maison. Ils doivent être conservés au réfrigérateur à une température maximum de 4°C pour les yaourts.

1.6.5 Caractéristiques générales des bactéries du yaourt

1.6.5.1 *Streptococcus thermophilus*

St. thermophilus est un coque à Gram positif, anaérobie facultatif, se trouve dans les laits fermentés et les fromages. Cette espèce se distingue essentiellement des autres Streptocoques lactiques par la croissance thermophile avec un optimum autour de 42-45 °C, l'absence de tout antigène de groupe D, sa thermorésistance à 60 °C (parfois 65 °C) pendant 30 minutes, une activité fermentaire le plus souvent réduite à quelques sucres et une forte sensibilité au NaCl,

Le rôle principal de *St. thermophilus* est la fermentation du lactose du lait en acide lactique. En plus de son pouvoir acidifiant, elle est responsable de la texture dans les laits fermentés. Cette bactérie augmente la viscosité du lait par production de polysaccharides (composés de galactose, glucose, ainsi que de petites quantités de rhamnose, arabinose et mannose).

1.6.5.2 *Lactobacillus delbrueckii ssp. bulgaricus*

Lb. bulgaricus appartient au Groupe I de la subdivision du genre *Lactobacillus* de la classification d'Orla –Jensen (1919), qui regroupe les espèces homofermentaires obligatoires.

C'est un bacille Gram+, non sporulé, immobile, il est isolé sous forme de bâtonnets en chainettes. *Lb. bulgaricus* est une bactérie thermophile et sa température optimale de croissance est variée de 43-46°C. Le GC% de son ADN varie de 49-51%.

Lactobacillus bulgaricus produit la majorité de l'acétaldéhyde lors de la fermentation. Cependant elle se développe seulement sur trois types de sucre qui ne sont pas présents dans le soja. Par conséquent, glucose ou lactose sont habituellement ajoutés afin d'assurer une fermentation correcte et une production suffisante de l'acétaldéhyde.

1.6.6 Intérêt et fonction des bactéries lactiques

1.6.6.1 Activité aromatique

Divers composés volatiles et aromatiques interviennent dans la saveur et l'appétence du yaourt. L'acétaldéhyde est le composé aromatique le plus caractéristique de la flaveur du yoghourt, d'autres molécules intervenant dans la note aromatique ont également été identifiées. L'acétaldéhyde est principalement produit par *Lb. bulgaricus* à partir de la thréonine, réaction catalysée par la thréonine aldolase.

1.6.6.2 Activité texturant

Les bactéries lactiques produisent des polysaccharides qui jouent le rôle d'agents de texture et donneront au produit fini son caractère onctueux ou filant. La production de polysaccharides a été mise en évidence avec *Lb. bulgaricus*, ainsi qu'avec *St. thermophilus*. Elle est variable suivant les souches utilisées.

Les polysaccharides reliés aux micelles de caséine augmentent le pouvoir de rétention d'eau du caillé lactique et protègent ce dernier contre les traitements mécaniques durant la fabrication (pompage, réfrigération).

1.7 Conclusion

Pour conclure ce premier chapitre, on a été compris que le yaourt soja est un produit plutôt nouveau et ayant beaucoup de valeur nutritionnel par rapport au yaourt de vache. Dans le chapitre prochain, on va consacrer sur l'étude théorique de la machine de production du yaourt.

CHAPITRE 2 : ETUDE THEORIQUE DES ELEMENTS DE BASE DU PROJET

2.1 Introduction

Ce deuxième chapitre concerne l'étude de parties importantes du prototype de la machine de production du yaourt soja. Comme le grafctet du projet ; le schéma électrique du commande et le convoyeur a bande.

2.2 Automatisation

2.2.1 Définition

L'automatisation consiste à « rendre automatique » les opérations qui exigeaient auparavant l'intervention humaine ». Il existe deux concepts technologiques : les automatismes séquentiels et les asservissements, la régulation ou « feedback control ».

Cependant, dans la plupart des systèmes complexes modernes, ces deux types d'automatismes se trouvent imbriqués.

2.2.2 Objectifs de l'automatisation

L'objectif de l'automatisation des systèmes est de produire, en ayant recours possible. Le système automatisé est soumis à des contraintes : énergétiques, de configuration, de réglage et d'exploitation qui interviennent dans tous les modes de marche et d'arrêt du système.

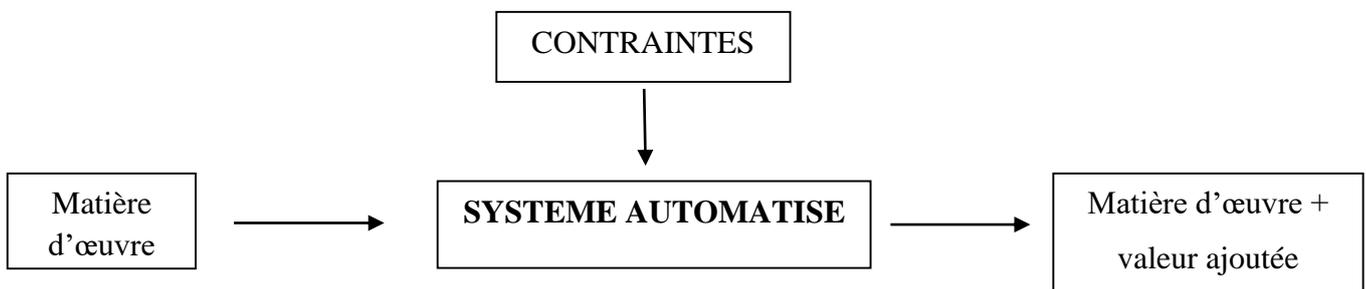


Figure 2.01 : *Principe d'un système automatisé* [8]

2.2.3 Structure d'un système automatisé

Tout système automatisé peut se décomposer selon le schéma ci-dessous

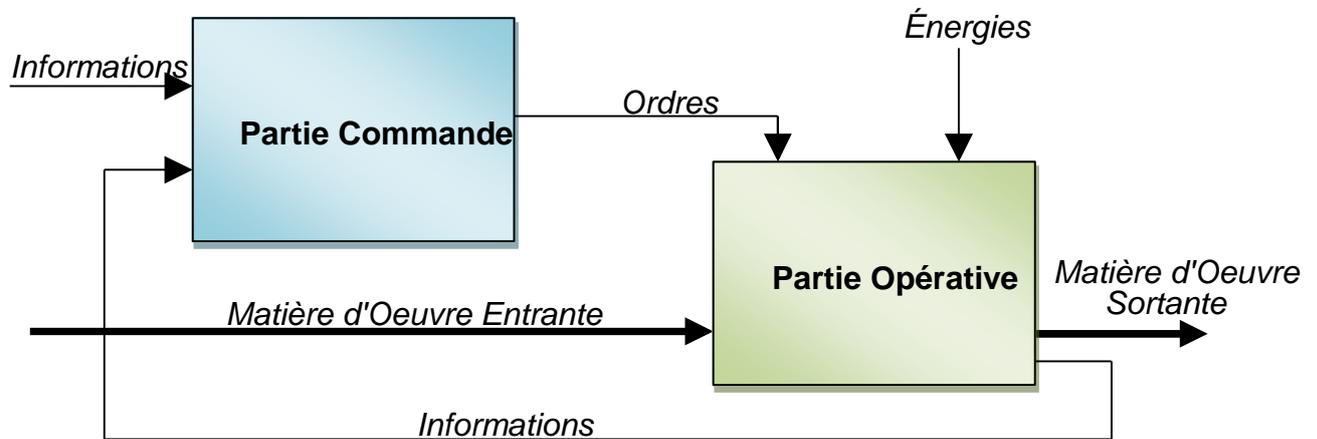


Figure 2.02 : Structure d'un système automatisé [9]

2.2.3.2 Partie opérative

Elle agit sur la matière d'œuvre afin de lui donner sa valeur ajoutée. Les actionneurs (moteurs, vérins) agissent sur la partie mécanique du système qui agit à son tour sur la matière d'œuvre. Les capteurs / détecteurs permettent d'acquérir les divers états du système.

2.2.3.3 Partie commande

Elle donne les ordres de fonctionnement à la partie opérative. Les préactionneurs permettent de commander les actionneurs ; ils assurent le transfert d'énergie entre la source de puissance (réseau électrique, pneumatique ...) et les actionneurs.

Exemple : contacteur, distributeur ...

Ces préactionneurs sont commandés à leur tour par le bloc traitement des informations. Celui-ci reçoit les consignes du pupitre de commande (opérateur) et les informations de la partie opérative transmises par les capteurs / détecteurs.

En fonction de ces consignes et de son programme de gestion des tâches (implanté dans un automate programmable ou réalisé par des relais (on parle de logique câblée)), elle va commander le pré

actionneurs et renvoyer des informations au pupitre de signalisation ou à d'autres systèmes de commande et/ou de supervision en utilisant un réseau et un protocole de communication.

2.2.3.4 Poste de contrôle

Composé des pupitres de commande et de signalisation, il permet à l'opérateur de commander le système (marche, arrêt, départ cycle ...).

Il permet également de visualiser les différents états du système à l'aide de voyants, de terminal de dialogue ou d'interface homme-machine (IHM).

2.3 Yaourtière

2.3.1 Définition

La yaourtière est une machine servant à fermenter le lait pour produire du yaourt. C'est une machine consistant essentiellement en une enceinte close, aseptique, maintenue à température constantes par des systèmes de régulation, et où sont placés les pots de yaourts pour la durée d'une fermentation.

2.3.2 Paramètres de fermentation

2.3.2.1 La température

La yaourtière doit fournir une température ambiante est compris ou égal entre 42 et 45 degré. Un thermomètre est indispensable de même que le maintien de la bonne température Nécessite une bonne isolation.

La température obtenue par chauffage se règle automatique à l'aide d'un thermostat ou autre système équivalent.

Les systèmes de régulation de la température (thermostat) sont de plusieurs types : bilames, tubes de mercure à contacts électriques, ou thermostats électroniques à microcontrôleur. Ces derniers sont préférables aux autres du fait de leur précision de régulation.

2.3.2.2 La ventilation

Une bonne ventilation est nécessaire pour renforcer la température de la résistance chauffante partout dans la yaourtière.

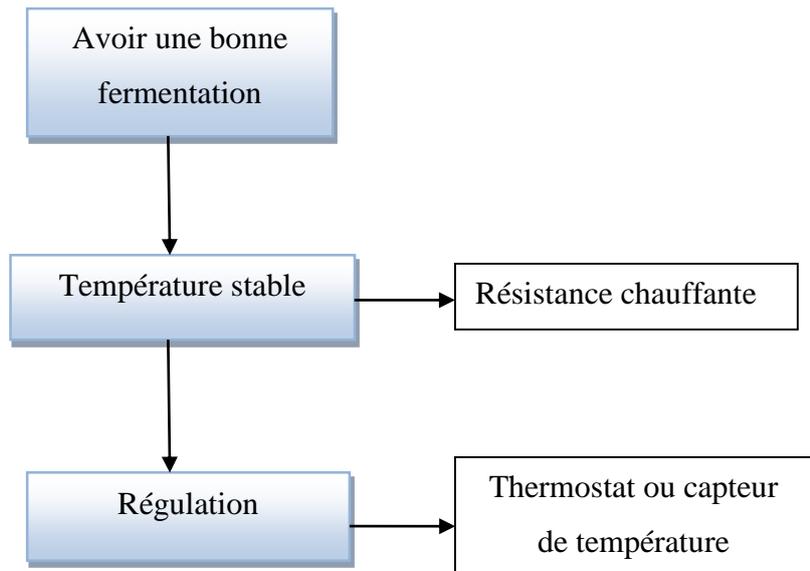


Figure 2.03 : Schéma de système d'une yaourtière

Donc le principe d'algorithme du système à réaliser serait comme ceci avec le microcontrôleur arduino :

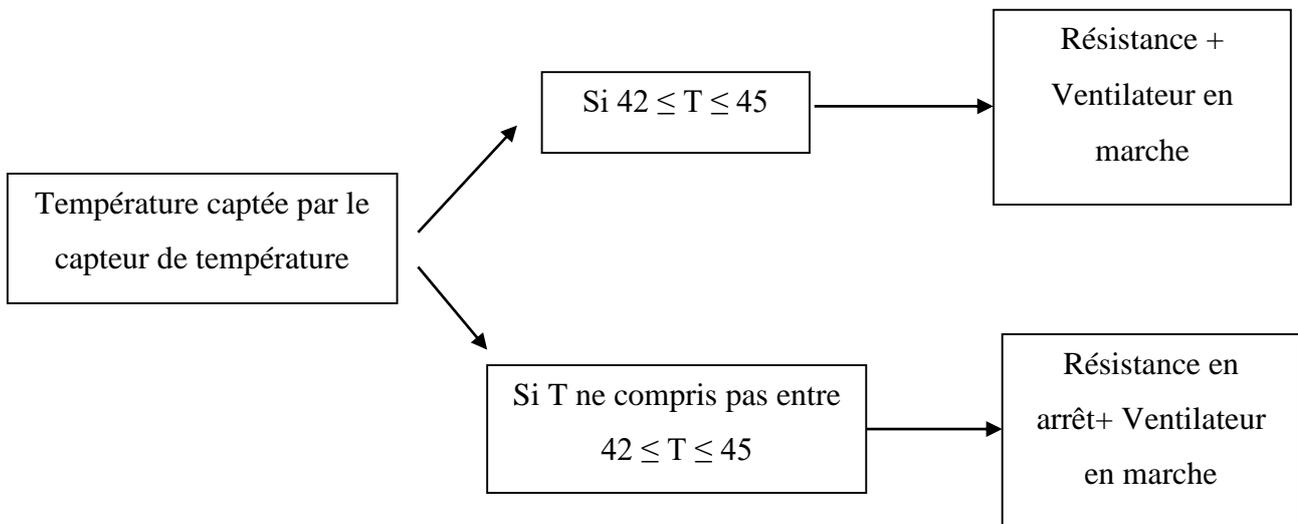


Figure 2.04 : Schéma de principe de la yaourtière à réaliser

2.4 GRAFCET

2.4.1 Définition

La présentation du GRAFCET (GRAPhe Fonctionnel de Commande Etapes-Transitions) en tant qu'outil de description des automatismes industriels, permet de traiter la majorité des problèmes rencontrés lors de la spécification, la conception et la réalisation d'une partie commande d'un automate industriel (Système Automatisé de Production : SAP).

2.4.2 Modèle graphique

Le GRAFCET est un modèle de représentation graphique des comportements dynamiques de la partie commande.

Il décrit les interactions entre la partie commande et la partie opérative à partir de la frontière d'isolement. Il établit une relation entre:

- ❖ les entrées, correspondant aux transferts d'informations de la partie opérative vers la partie commande ;
- ❖ les sorties, correspondant aux ordres transmis de la partie commande vers la partie opérative.

Le GRAFCET est défini par :

- ❖ un ensemble d'éléments graphiques de base :
- ❖ les étapes,
- ❖ les transitions,
- ❖ les liaisons orientées reliant les étapes aux transitions et les transitions aux étapes ;
- ❖ une interprétation, traduisant le comportement de la partie commande vis-à-vis de ses entrées et de ses sorties, caractérisée par :
- ❖ les actions associées aux étapes,
- ❖ les réceptivités associées aux transitions ;
- ❖ des règles d'évolution, définissant formellement le comportement dynamique de la partie commande ainsi décrite.

2.5 GRAFCET du projet partie 1

C'est le Grafcet de la partie récipient 1 (cuisson des matières premières) jusqu'au récipient 2:

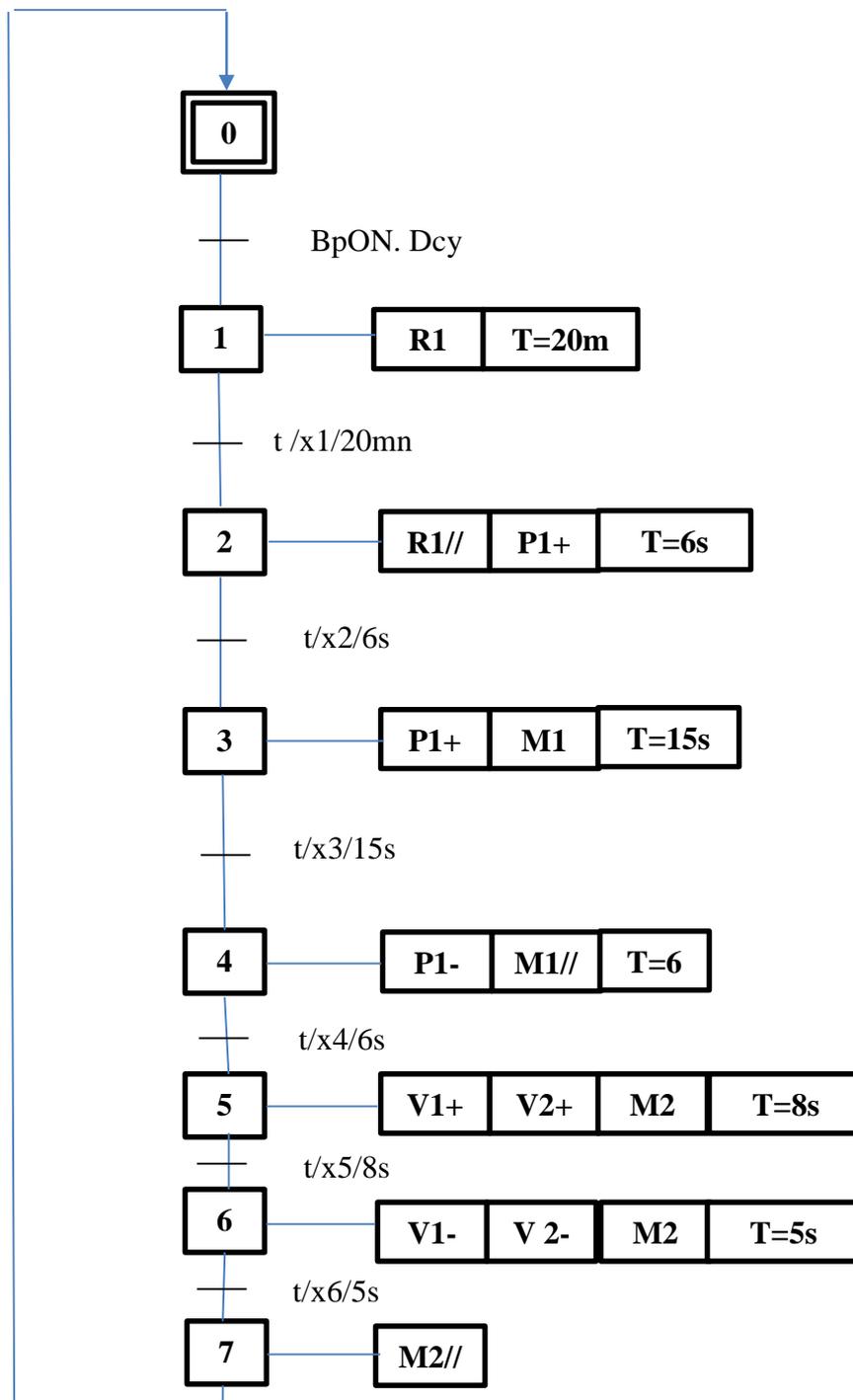


Figure 2.05 : Grafcet du projet 1

Désignation :

- ❖ R1 : résistance dans le récipient 1 pour la cuisson des matières premières ;
- ❖ P1+ : vanne état ouvert ;
- ❖ P1- : vanne état fermé ;
- ❖ M1 : moteur pompe à eau en marche ;
- ❖ M1// : moteur pompe à eau en arrêt ;
- ❖ M2 : moteur mélangeur en marche ;
- ❖ M2// : moteur mélangeur en arrêt ;
- ❖ V+ : ouverture vanne sucre ;
- ❖ V- : fermeture vanne sucre.

(Explication voir Chapitre 4.1)

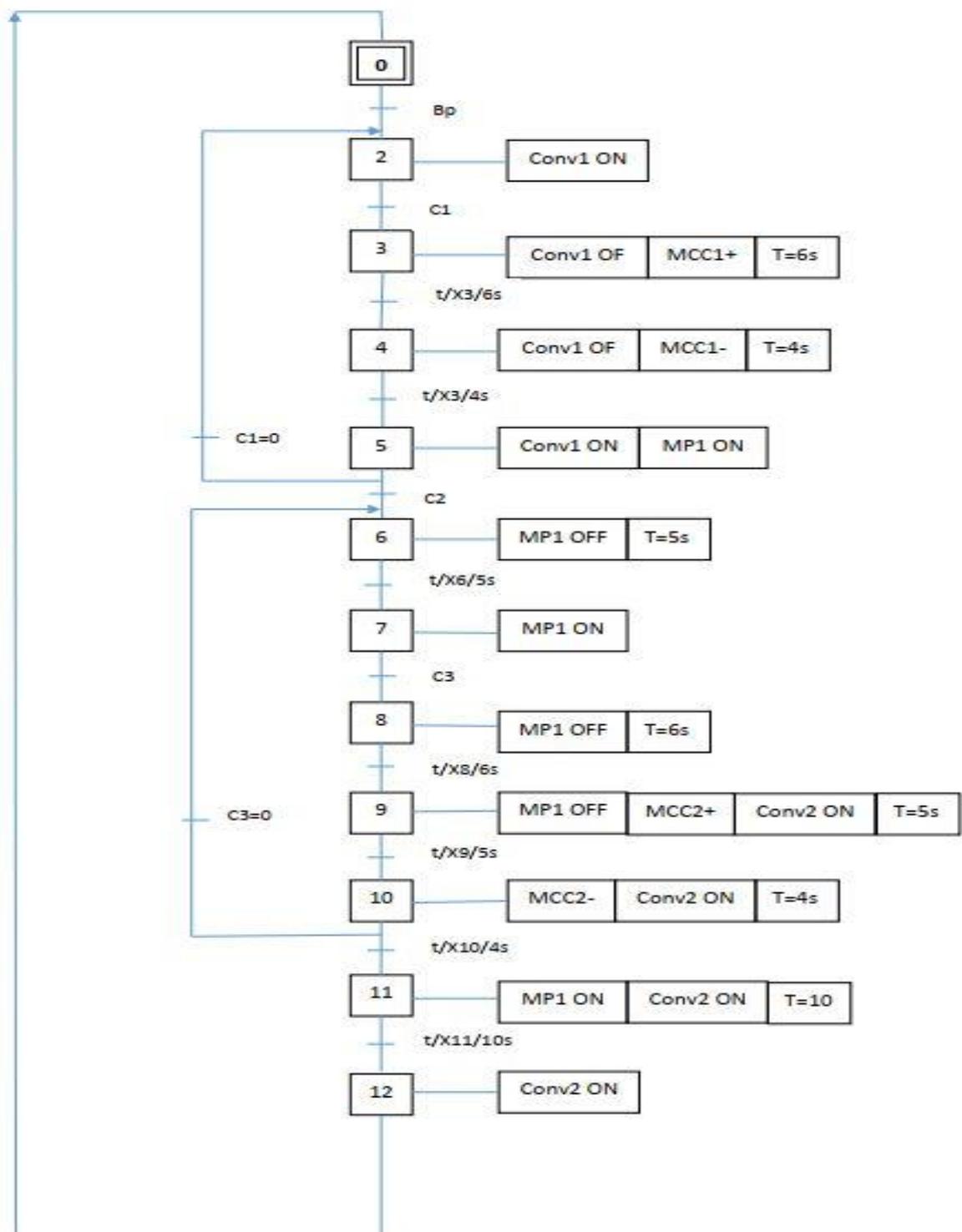
2.6 GRAFCET du projet partie 2

C'est le Grafcet de la partie départ des pots vide (convoyeur 1) jusqu'au arrive des pots chargés (convoyeur 2).

Désignation :

- ✓ BpON : Bouton poussoir à l'état 1
- ✓ Conv1 ON : Convoyeur 1 départ pots en marche ;
- ✓ Conv1 OFF: Convoyeur 1 départ pots en arrêt ;
- ✓ Conv2 ON: Convoyeur 2 arrivé pots en marche ;
- ✓ Conv2 OFF: Convoyeur 2 arrivé pots en arrêt ;
- ✓ MP1 ON: Moteur qui transporte le disque tournant en rotation ;
- ✓ MP1 OFF: Moteur qui transporte le disque tournant en arrêt ;
- ✓ MCC1+: Moteur pose les pots sur le disque tournant alimenté par le moteur MP1 en marche avant;
- ✓ MCC1-: Moteur pose les pots sur le disque tournant alimenté par le moteur MP1 en marche retour;
- ✓ MCC2+: Moteur pose les pots sur le convoyeur 2 en marche avant ;
- ✓ MCC2-: Moteur pose les pots sur le convoyeur 2 en marche retour;
- ✓ MCC3+: Moteur pose les pots sur la position finale en marche avant;

✓ MCC3-: Moteur pose les pots sur la position finale en marche retour.



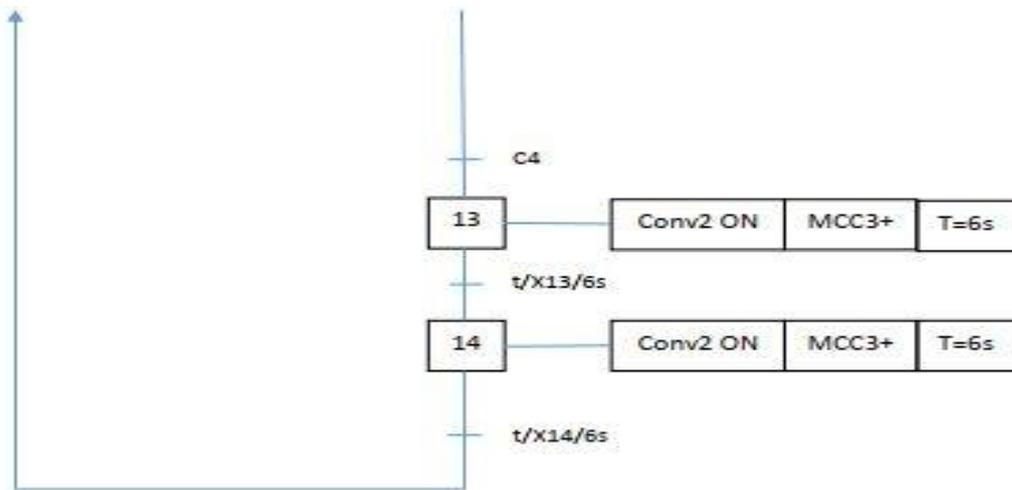


Figure 2.06 : *Grafcet partie 2 du projet*

(Explication : Voir Chapitre 4.1)

2.6.2 Importance du GRAFCET

Pour une machine donnée, la description et la compréhension des cycles automatiques doivent être claires pour toutes les personnes chargées d'intervenir. Or lorsque certaines spécifications sont exprimées en langage courant, il y a un risque permanent d'incompréhension. D'une part, certains mots sont peu précis, mal définis ou possèdent plusieurs sens. D'autre part, le langage courant est mal adapté pour décrire précisément les systèmes séquentiels.

Le GRAFCET est un langage graphique pour décrire, étudier, réaliser et exploiter les automatismes. Il est composé d'un ensemble d'étapes et de transitions représentant le déroulement du cycle de l'automatisme. Cette représentation graphique permet une meilleure compréhension de l'automatisme par tous les intervenants.

Un GRAFCET est établi pour chaque machine lors de sa conception, puis utilisé tout au long de sa vie : réalisation, conception, mise au point, maintenance, modifications, réglages. Le langage GRAFCET doit donc être connu de toutes les personnes concernées par les automatismes, depuis leur conception jusqu'à leur exploitation.

2.7 Schéma électrique et électrotechnique industriel

2.7.1 Définition

Un schéma électrique représente, à l'aide de symboles graphiques, les différentes parties d'un réseau, d'une installation, d'un équipement qui sont reliées et connectées fonctionnellement.

Un schéma électrique a pour but : d'expliquer le fonctionnement de l'équipement (il peut être accompagné de tableaux et de diagramme) et de fournir les bases d'établissement des schémas de réalisation ; - de faciliter les essais et la maintenance.

2.7.2 Représentation multifilaire commande du projet

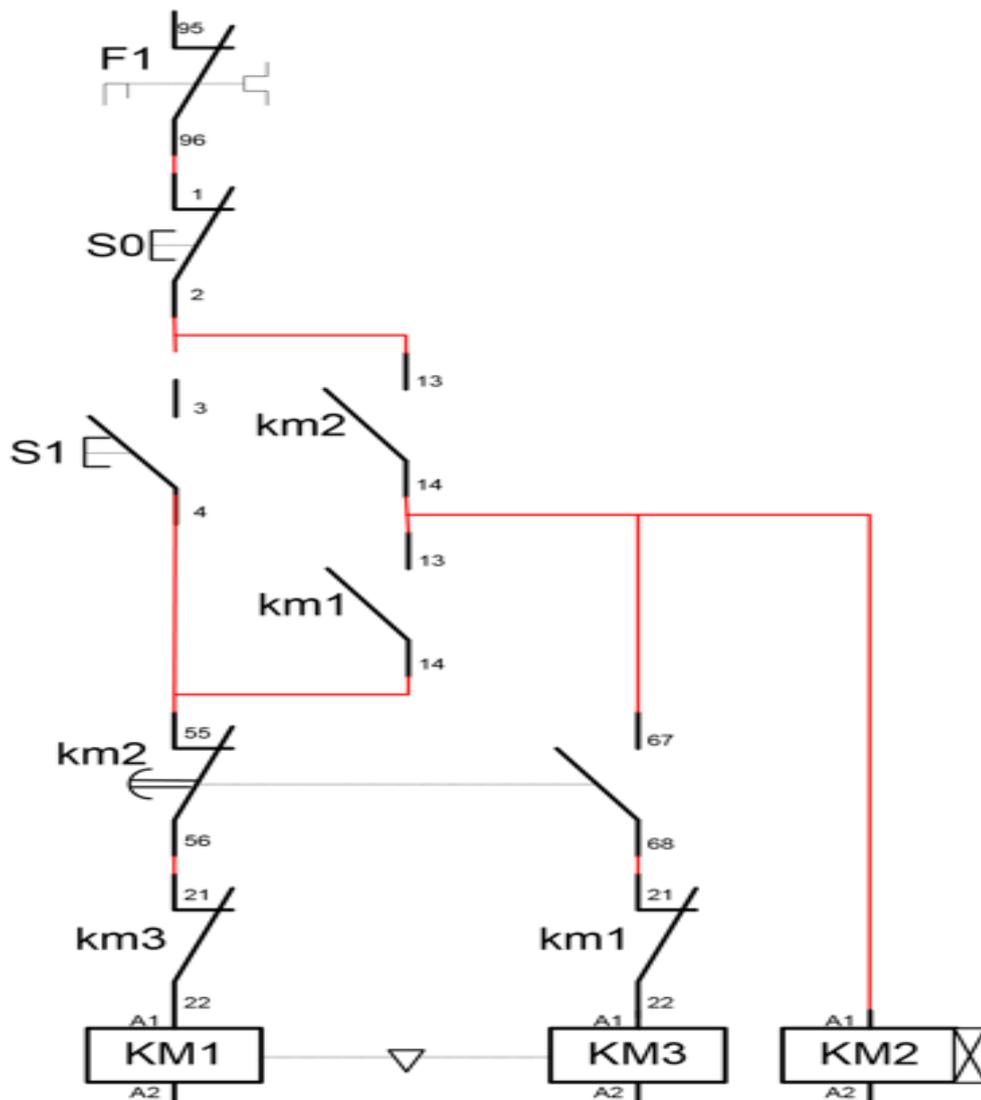


Figure 2.07 : Schéma de commande du projet

2.8 Convoyeur

2.8.1 Définition

Le convoyeur est un mécanisme ou machine qui permet le transport d'une charge isolée (cartons, bacs, sacs, pots,...) ou de produit en vrac (terre, poudre, aliments...) d'un point A à un point B par le mécanisme de transmission de puissance. Cette dernière est transmise d'un arbre moteur vers un ou plusieurs arbres récepteurs par l'intermédiaire de courroies ou de chaînes.

Les produits étant placés sur une bande, et se déplace d'une manière uniforme dans un circuit fermé. La vitesse de déplacement est relative à la vitesse de rotation du moteur et peut être réduite ou augmentée selon la volonté de l'opérateur en tenant compte de quelques paramètres tels que la productivité et la cadence de production.

2.8.2 Composants et leur dénomination

La figure ci-dessous représente les différents composants des 2 convoyeurs.



Photo 2.01 : Schéma d'un convoyeur à bande

2.8.2.1 La bande

La bande transporte les matières premières de la queue jusqu'à la tête du convoyeur. Elle se présente sous deux formes principales, plate et en auge, toute bande comporte deux faces :

- ❖ La face externe, qui est en contact avec les matériaux transportés ;
- ❖ La face interne, qui est en contact avec les rouleaux ou les tambours.

2.8.2.2 Tambour

Sa fonction est d'entraîner la bande ou l'amener à changer de direction. Les tambours peuvent être recouverts d'un revêtement afin d'augmenter le coefficient de frottement entre la bande et le tambour, de réduire l'usure par abrasion de ce dernier ou de créer un effet autonettoyant.

2.8.2.3 Les rouleaux

Ils soutiennent la bande et tournent librement et facilement sous la charge. Ce sont les composants les plus importants du convoyeur et ils représentent une part considérable de l'investissement total.

2.8.3 Système de tension

Celui-ci a pour fonction de donner une précontrainte à bande devant assurer :

- ❖ L'entraînement de la bande par le tambour moteur dans toutes les conditions d'utilisation.
- ❖ La réduction de la flexion de bande entre les rouleaux porteurs et les rouleaux de retour.

Les tensions au niveau de la bande doivent être prises en considération.

T1 : C'est la tension sur le brin supérieur de la bande due à l'entraînement de cette dernière par le tambour de commande.

T2 : C'est la tension sur le brin inférieur elle est uniforme sur la surface de la bande en contact avec le tambour de commande.

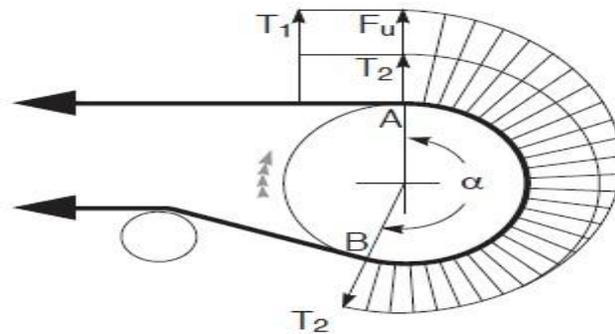


Figure 2.08 : *Tensions exercées sur la bande au niveau du tambour de commande [10]*

2.8.4 Dispositifs de tension

L'effort nécessaire pour maintenir la bande en contact avec le tambour d'entraînement et l'inclinaison des parois doit être en fonction de la manière dont le produit est transporté, de sa trajectoire, ainsi que de la vitesse du convoyeur.

La granulométrie et la masse volumique du produit, ainsi que ses propriétés physiques, telles que l'humidité, la corrosion, et autres, ont également une importance pour la conception.

D'après leur mode de fonctionnement, les systèmes de tension se divisent en deux groupes principaux : le système de tension fixe et le système de tension auto-réglant.

2.8.4.1 Système auto-réglant

Ce système maintient la précontrainte constante tout en assurant que la tension admissible de la bande ne sera pas dépassée. La forme la plus couramment employée est celle d'un contre poids. Le meilleur effet est normalement obtenu en plaçant le contrepoids à proximité du tambour moteur.

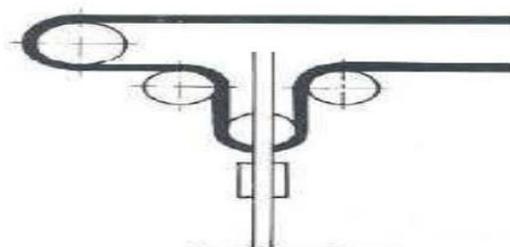


Figure 2.09 : *Système auto-réglant*

2.8.4.2 Système de tension fixe

La tension à vis est souvent employée pour les transporteurs de courte longueur à charge modérée, ce système exige une surveillance constante et un réglage fréquent, principalement lors de la mise en service d'une nouvelle bande.

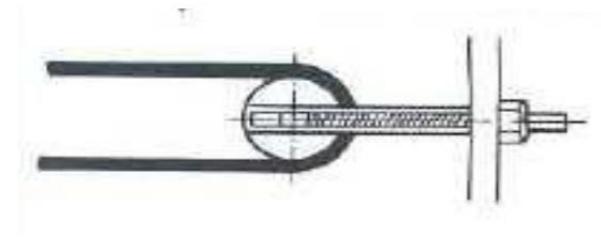


Figure 2.10 : *Système de tension fixe [11]*

2.8.5 Support de glissement

Peut être utilisé pour le transport de charges individuelles ou de produits en vrac. Le support de glissement peut être réalisé en acier, en tissu synthétique ou en bois dur on utilise normalement, sur la face inférieure de la bande des bandes à faible frottement en raison des forces de friction entre la bande et le support de glissement.

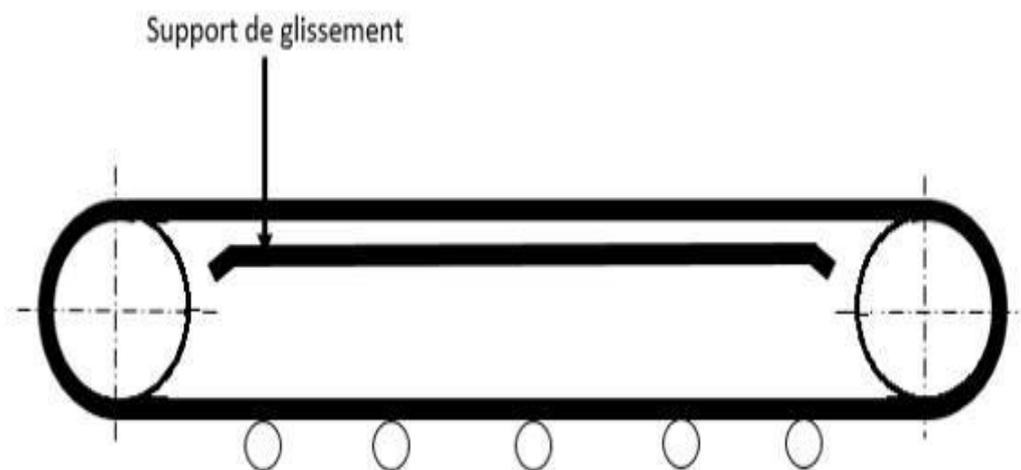


Figure 2.11 : *Support de glissement [12]*

2.8.6 Largeur minimale de la bande

Pour le calcul des dimensions de la bande, on doit tenir compte des valeurs minimales de la largeur de la bande en fonction de sa charge de rupture et de l'inclinaison des rouleaux latéraux.

2.8.7 Choix de roulement

Le choix du type de roulements à utiliser dépend des exigences techniques propres à chaque cas

- ❖ Nature des charges : axiale, radiale ou combinée ;
- ❖ Place disponible ;
- ❖ Vitesse de rotation ;
- ❖ Température de fonctionnement ;
- ❖ Importance des charges (intensité) ;
- ❖ Des déformations possibles de l'arbre par flexion ou du mauvais alignement des paliers.

2.8.8 Angle de talutage

L'angle de talutage est l'angle que forme l'horizontale avec la surface du produit lors de son transport sur une bande en mouvement.

Cet angle est généralement compris entre 5° et 15° (jusqu'à 20° pour certains produits) et est bien inférieur à l'angle d'éboulement comme le montre la figure.

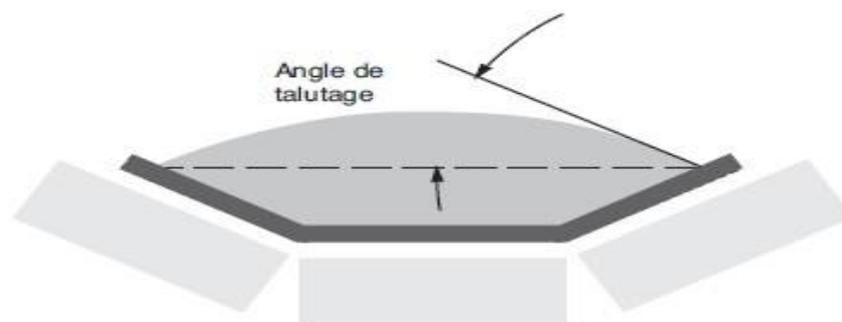


Figure 2.12 : Angle talutage [13]

2.8.9 Angle d'éboulement

La figure ci-dessous montre l'angle d'éboulement :

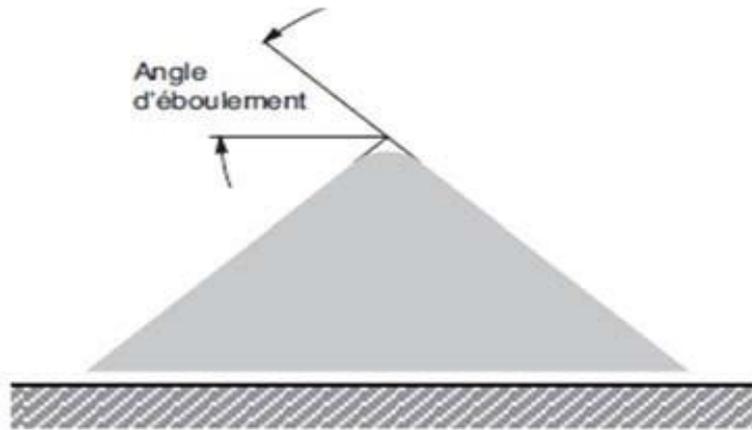


Figure 2.13 : *Angle d'éboulement [14]*

2.8.10 Angle d'inclinaison des stations supérieures

La bande transporteuse doit avoir une inclinaison de $\lambda = 30^\circ$ au niveau des rouleaux des stations porteuses supérieures, comme est montré sur la figure ci-dessous.

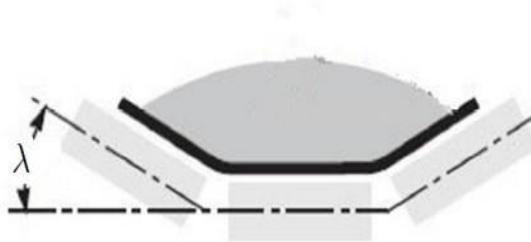


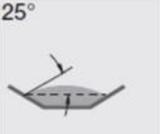
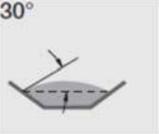
Figure 2.14 : *Angle d'inclinaison des stations supérieures [15]*

2.8.11 Éléments mobiles de transmission d'énergie

Sa fonction est de produire et transmettre l'énergie nécessaire au tambour d'entraînement afin de mouvoir ou de retenir la courroie. Plusieurs configurations sont utilisées.

2.8.12 Caractéristique du convoyeur et leur produit transporté

Tableau 2.01 : Fluidité en fonction de l'angle de talutage β [16]

Très élevée	Élevée	Moyenne		Faible	Profil sur une bande plate
5° 	10° 	20° 	25° 	30° 	B 
Angle d'éboulement					
0-19°	20-29°	30-34°	35-39°	40° et plus	D'autres
Caractéristiques des produits					
Dimensions uniformes, particules rondes, de très petite taille. Très humides ou très secs, tels que sable sec, silice, ciment, poussière de calcaire humide, etc.	Particules partiellement rondes, secs et lisses. Poids moyen comme par ex. céréales, graines et fèves.	Produit irrégulier, granulats de poids moyen, tels que par ex. anthracite, argile, etc.	Produits ordinaires, tels que par ex. charbon bitumineux et la plupart des minerais, etc.	Produits irréguliers, visqueux, fibreux dont l'état tend à se détériorer pendant la manutention, tels que par ex. copeaux de bois, produits dérivés de la canne à sucre, sable de fonderie, etc.	On peut inclure ici des produits présentant diverses caractéristiques es.

2.8.12.2 Système de transmission à haute puissance

Qui comprend :

6a1 moteur

6a2 accouplement moteur réducteur

6a3 réducteur

6a4 accouplement réducteur tambour d'entraînement

4a tambour d'entraînement

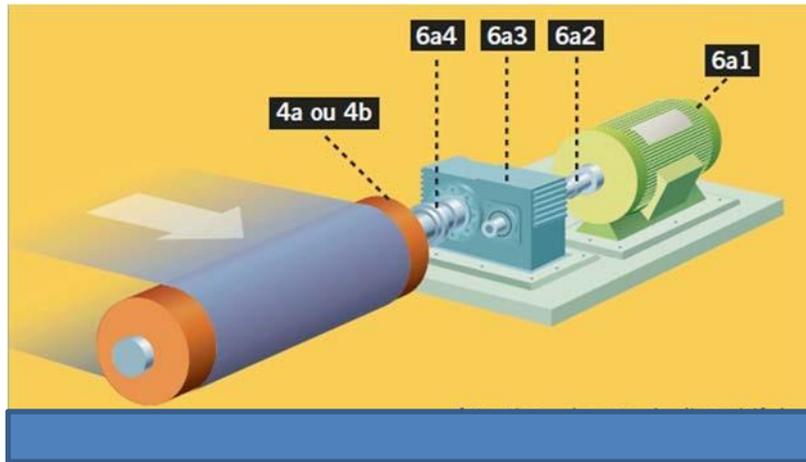


Figure 2.15 : *Système de transmission à haute puissance [17]*

2.8.12.3 Système de transmission à faible puissance qui comprend

6b1 moteur

6b2 poulie motrice en « V »

6b3 courroies en « V »

6b4 poulie en « V » mue

6b5 réducteur

6b6 pignon

6b7 chaîne à rouleaux

6b8 roue dentée

4a tambour d'entraînement

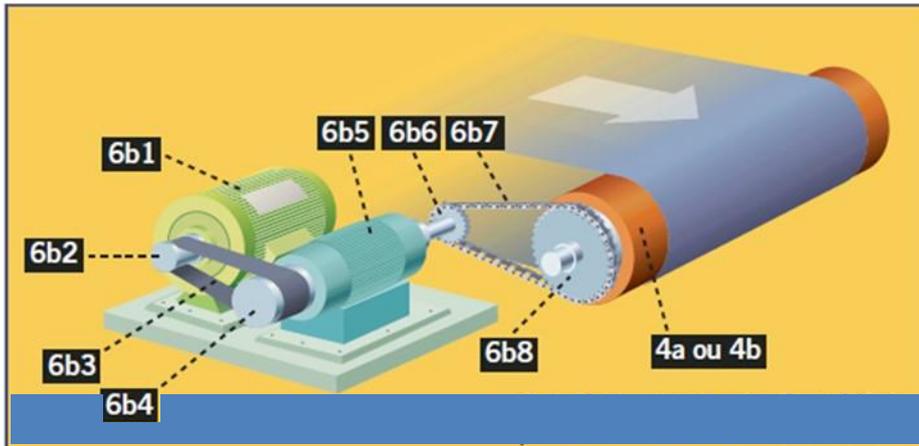


Figure 2.16 : Système de transmission à faible puissance [18]

D'autres configurations sont aussi possibles (notamment l'utilisation de coupleurs ou de moteurs hydrauliques). Un frein peut être intégré aux éléments mobiles de transmission d'énergie si c'est nécessaire lorsque le convoyeur est en montée ou en descente.

2.8.13 Formule du nombre de tours du réducteur d'un convoyeur

Vitesse:

$$\omega_s = \frac{\omega E}{K} \quad [2.01]$$

Rapport de réduction :

$$K = \frac{\omega E}{\omega_s} = \frac{NE}{Ns} = \frac{Zs}{ZE} \quad [2.02]$$

Où :

ωE - Vitesse en rd.s-1

ω_s - Vitesse en rd.s-1

NE - Vitesse en tr.min-1

Ns - Vitesse en tr.min-1

ZE - Nombre de dents

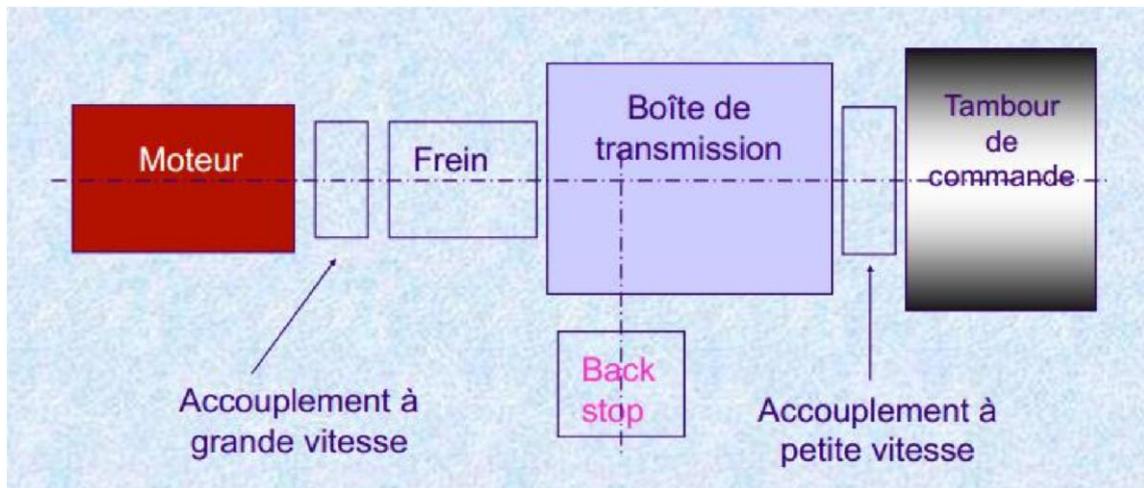


Figure 2.17 : Chaîne cinétique de réducteur [19]

2.8.14 Vitesse de bande

Une augmentation de la vitesse de la courroie entraîne une augmentation proportionnelle du volume de matériaux transportés et une conception économique de l'installation (une réduction au niveau de la conception des rouleaux et des stations-supports et de la tension de la bande, et ceci devient de plus en plus évidente pour les longs trajets.

La vitesse doit être adaptée au type de matériaux transportés ainsi qu'au profil de la courroie. La trémie d'alimentation doit aussi être adaptée à cette vitesse:

$$V = \frac{Qv}{A \times 3600} = \frac{Qm \times \rho}{A \times 3600} \quad [2.03]$$

Où :

Qv - Débit-massique en (t/h)

Qm - Capacité en (m³/h)

ρ - Densité apparente en (t/m³)

V - Vitesse de la bande en (m/s)

A - Surface transversale matière en (m²)

2.8.15 Charge transportée (capacité transporté)

La capacité de la bande transporteuse est calculée à partir de la section de la charge transportée et de la vitesse de la bande (m/s). C'est ce qu'on appelle la capacité souhaitée Q :

On obtient ainsi de débit volumique [m³/h]

$$Q_v = S \times V \times 3600 \quad [2.04]$$

Où :

S : La capacité sectionnelle [m²] et V : La vitesse de la bande [m/s]

Le débit massique [t/h] et donné par la formule :

$$Q_m = S \times V \times 3600 \times f \quad [2.05]$$

Où f : est la masse volumique du matériau

Ces deux valeurs vont déterminer la capacité de transporteuse que doit avoir la bande transporteuse, dont il faut faire le choix.

2.8.16 Calcul de la longueur de la chaîne du convoyeur

La longueur de courroie du convoyeur est égale.

$$L = 2A + \frac{\pi}{2} \times (d1 + d2) + \frac{d2-d1}{4A} \quad [2.06]$$

A - Entraxe

$d1$ et $d2$ - Diamètres des poulies menant et menés

2.8.17 Choix du diamètre des rouleaux

Le choix du diamètre de rouleau doit tenir compte de la largeur et de la vitesse linéaire de la bande. Le tableau (2.02) indique le diamètre des rouleaux en fonction de ces deux paramètres.

Tableau 2.02 : Diamètre recommandé pour les rouleaux. [20]

Largeur de la bande [mm]	Diamètre recommandé pour les rouleaux pour une vitesse de 3 m/s								
	6 2 m/s			De 2 à` 4 m/s			> 4 m/s		
	ø rouleaux [mm]			ø rouleaux [mm]			ø rouleaux [mm]		
650	89			89	108				
800	89	108		89	108	133	133		
1000	108	133		108	133		133	159	
1200	108	133		108	133	159	133	159	
1400	133	159		133	159		133	159	
1600	133	159		133	159	194	133	159	159
1800	159	159	194	159	194				

La vitesse de déplacement de la bande par rapport aux conditions de charge requises est un facteur important pour la conception d'un convoyeur. A partir de la vitesse linéaire de la bande et du diamètre des rouleaux, on peut d'exterminer la vitesse de rotation (en tr/min) des rouleaux a` l'aide de la formule suivante :

$$N = \frac{v \times 100 \times 60}{D \times \pi} \quad [2.08]$$

Avec :

D : Diamètre des rouleaux (mm);

N : Vitesse de rotation des rouleaux (tr/mn).

2.8.18 Puissance du moteur d'entraînement du convoyeur P_{tr}

La puissance en (kw) d'entraînement nécessaire d'un transporteur, qui doit être transmise à la bande par un seul ou simultanément par plusieurs tambours est donnée par la formule:

$$P = C \times \omega \quad [2.09]$$

P : Puissance en Watts (W)

C : Couple en Newtons mètre (Nm)

ω : Vitesse angulaire en radians par seconde (rad.s-1)

2.8.19 Puissance nécessaire P (kW)

La puissance nécessaire à l'entraînement d'un transporteur peut se composer en puissance pour la marche à vide, et une puissance pour le transport horizontal de la charge

2.8.19.1 Puissance nécessaire pour la marche à vide

$$P_1 = \frac{3.6 \times G \times L \times C \times F \times V}{367} \quad [2.10]$$

C : Coefficient de frottement des bandes, rouleaux,...

f : Coefficient de frottement des tambours fixés

L : Distance de centre à centre entre le tambour de tête et le tambour de renvoi (en m)

G : Poids de la bande et des parties tournantes des tambours de tête et de renvoi [Kg/m]

V : Vitesse de la bande [m/s]

Q : Capacité [t/h]

2.8.19.2 Puissance nécessaire pour le transport horizontal de la charge P2

Puissance nécessaire pour le transport horizontal de la charge est représentée sous la forme suivante :

$$P_2 = \frac{Q \times L \times F \times C}{367} \quad [2.11]$$

2.9 Conclusion

Nous avons détaillés tous les études essentielles et qui servent à réaliser le prototype du projet dans ce deuxième chapitre. Le chapitre suivant concerne donc les caractéristiques des matériels utilisés.

CHAPITRE 3 : CARACTERISTIQUE ET SPECIFICITE DES MATERIELS UTILISES

3.1 Introduction

Ce chapitre concerne la caractéristique et spécificité des composants pour le prototype de ce projet à réaliser, comme : le contacteur ; le relais auxiliaire ; la carte arduino, les capteurs ; les moteurs ; le module relais,...

3.1 Contacteur

3.1.1 Introduction

Le contacteur est un appareil mécanique de connexion ayant une seule position de repos et une seule position de travail. Il est capable d'établir, de supporter et d'interrompre des courants dans les conditions normales du circuit, y compris les conditions de surcharges en service. L'intérêt du contacteur est de pouvoir être commandé à distance. Il fait partie de la famille des pré-actionneurs puisqu'il se trouve avant l'actionneur dans la chaîne des énergies. Un contacteur peut être actionné à partir des éléments du circuit de commande (Bouton poussoir, Capteur, Etc...)

Un contacteur est composé de deux parties. C'est la partie fixe appelée «armature fixe » et une partie mobile appelée « armature mobile ».

3.1.2 Fonctionnement

La bobine du contacteur peut être alimentée aussi bien par un courant alternatif que par un courant continu (de 24 à 400 V). Elle génère un champ magnétique. La partie mobile de son armature est attirée contre la partie rigide. En fonction du modèle, les contacts se ferment ou s'ouvrent alors. Si la bobine n'est pas alimentée, le ressort de rappel renvoi en position initial la partie mobile de l'armature et les contacts reprennent leur position.

Ce mécanisme permet de contrôler la mise en service des appareils électriques en cautionnement

3.1.3 Choix d'un contacteur

L'élément à prendre en compte pour le choix d'un contacteur est caractérisés par les suivant : la catégorie d'emploi et les accessoires complémentaires.

3.1.3.1 Catégorie d'emploi

- ❖ Le courant d'emploi (I_e), Il est défini suivant la tension d'emploi, la fréquence et le service assignés, la catégorie d'emploi.
- ❖ La tension d'emploi (U_e) entre pôles, pour les circuits triphasés, elle s'exprime par la tension entre phases.
- ❖ La puissance consommée par le récepteur
- ❖ La valeur de la tension d'alimentation de la bobine de commande (12V à 400V; alternatif ou continu).

3.1.3.2 Accessoires complémentaires

- ❖ Contact instantané
- ❖ Contact temporisé

3.2 Relais auxiliaire ou contacteur auxiliaire

Le relais auxiliaire utilise les lois de l'électromagnétisme pour fonctionner. Il permet à partir d'une information électrique, d'actionneur des contacts qui peuvent modifier, amplifier ou multiplier cette information.

Le contacteur est un appareil mécanique de connexion, capable d'établir, de supporter et d'interrompre des courants dans les conditions normales du circuit.

Le contacteur auxiliaire est utilisé dans la partie commande des circuits. Il est utilisé pour relayer les capteurs (plus de contacts), permettre de réaliser des commandes plus complexes. On peut lui ajouter des blocs de contacts auxiliaires temporisés ou non. Il est repéré dans les schémas par KA, (KA1, KAA...) aussi bien pour la bobine et les contacts.

3.2.1 Constitution

Le contacteur auxiliaire comporte 3 ensembles fonctionnels :

Le circuit principal,

Les différents contacts l'électro-aimant

Le circuit auxiliaire (bloc supplémentaire)

3.2.2 1. Le circuit principal

Il est constitué de contacts différents selon les modèles.

Les modèles peuvent avoir de 4 à 5 contacts soit tous NO ou NC ou les deux associés. Exemples :

Contacts 3 NO et 2NC



Figure 3.01 : contacteur [21]

3.2.3 2. L'organe moteur

L'électro-aimant est l'élément moteur du contacteur. Il comprend : une bobine alimentée sous une tension alternative ou continue en 24V ; 48V ; 110V ; 230V ; 400 V. Elle est repérée par les bornes A1,

A2.

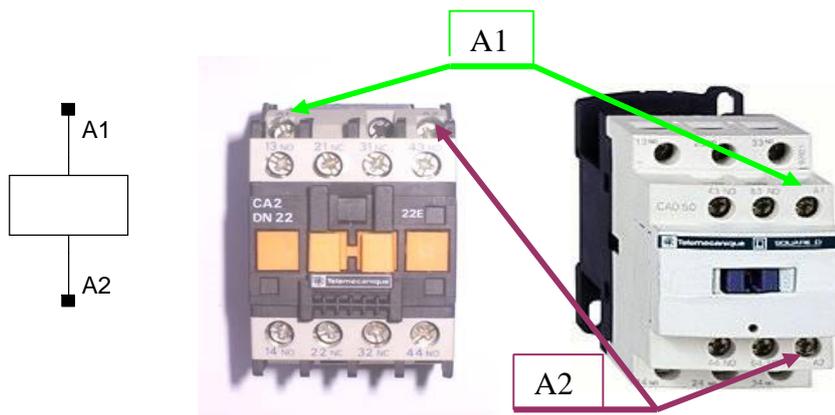


Figure 3.02 : Alimentation de la bobine du contacteur [22]

3.2.4 Le circuit auxiliaire

Le circuit auxiliaire est réalisé par l'addition d'un bloc auxiliaire, il est destiné à remplir des fonctions autres :

Ajout de contacts supplémentaires, temporisation.

Il comporte essentiellement des contacts auxiliaires instantanés et temporisés. Ils ont la particularité de s'installer sur la face.

(Consulter la fiche technique correspondante)

3.2.5 Fonction mémoire

Dans bien des applications d'automatisme, on utilise le relais auxiliaire en fonction mémoire, c'est à dire la commande d'un élément par des BP "Marche" et Arrêt".

3.2.6 Fonction temporisée

Il existe 2 types de temporisations :

- ❖ Temporisation travail : les contacts changent d'état un certain temps après la mise sous tension de la bobine.
- ❖ Temporisation repos : les contacts changent d'état dès la mise sous tension de la bobine et reviennent à leur état initial un certain temps après la mise hors tension de la bobine.

3.3 Arduino

3.3.1 Introduction

L'arduino est un circuit imprimé en matériel libre sur lequel se trouve un microcontrôleur qui peut être programmé pour analyser et produire des signaux électriques, de manière à effectuer des tâches très diverses comme la domotique (le contrôle des appareils domestiques - éclairage, chauffage, le pilotage d'un robot, etc...).

3.3.2 Tableau: Comparatif des différentes cartes Arduino

Tableau 3.01 : Comparatif des différentes cartes Arduino [23]

Les cartes				
Caractéristiques	UNO	NANO	LEONARDO	MEGA
microcontrôleur	ATmega 328	ATmega 168 ou 328	ATmega 32U4	ATmega 2560
Fréquence d'horloge	16 MHZ	16 MHZ	16 MHZ	16MHZ
Tension de service	5 V	5 V	5 V	5V
Tension d'entrée (recommande)	7-12 V	7-12 V	7-12 V	7-12V
Tension d'entrée (limites)	6-20 V	6-20 V	6-20 V	6-20V
Porte numériques	14 entrées et sorties	14 entrées et sorties	20 entrées et sorties	54 entrées et sorties
Porte analogiques	6 entrées analogiques	8 entrées analogiques	12 entrées analogiques	16 entrées analogiques
Mémoire	32 Ko Flash, 1Ko SRAM, 1Ko EEPROM	32 Ko Flash, 1Ko SRAM, 512Ko EEPROM	32 Ko Flash, 2.5Ko SRAM, 1Ko EEPROM	256 Ko Flash , 8 Ko SRAM, 4Ko EEPROM
Chargeur d'amorçage	0.5 Ko (en mémoire flash)	2 Ko (en mémoire flash)	4 Ko (en mémoire flash)	8 Ko (en mémoire flash)
Interface	USB	USB	USB	USB
Dimensions	6.86 cm*5.3cm	1.9 cm*4.3cm	6.86 cm*5.3cm	10.16 cm* 5.3cm

Le tableau ci-dessus montre une comparaison technique entre les différentes cartes Arduino, on doit intéresser aux caractéristiques des chaque cartes pour avoir une idée très détaillée pour la suite de ce projet.

3.3.3 Pourquoi Arduino

- ❖ Le prix (réduits) : les cartes Arduino sont relativement peu coûteuses comparativement aux autres microcontrôleurs. Environnement de programmation clair et simple ;
- ❖ Multiplateforme : le logiciel Arduino, écrit en JAVA, tourne sous les systèmes d'exploitation Windows, Macintosh et Linux. La plupart des systèmes à microcontrôleurs sont limités à Windows ;
- ❖ Nombreuses bibliothèques disponibles avec diverses fonctions implémentées ;
- ❖ Logiciel et matériel open source et extensible : les cartes Arduino sont basées sur les Microcontrôleurs Atmel ATMEGA8, ATMEGA168, ATMEGA 328, les schémas des modules sont publiés sous une licence créative Commons, et les concepteurs des circuits ;
- ❖ Nombreux conseils, tutoriaux et exemples en ligne (forums, site perso etc...) ;
- ❖ Existence de « shield » (boucliers en français) : ce sont des cartes supplémentaires qui se connectent sur le module Arduino pour augmenter les possibilités comme par exemple : afficheur graphique couleur, interface Ethernet, GPS, etc... ;
- ❖ Un environnement de programmation clair et simple : l'environnement de programmation Arduino (le logiciel Arduino IDE) est facile à utiliser pour les débutants ; tout en étant assez flexible pour que les utilisateurs avancés puissent en tirer profit également.

3.4 Moteur à courant continu

Le moteur à CC est un actionneur électromécanique très utilisé notamment dans les applications à vitesse variable. L'avantage principal des machines à courant continu réside dans leur adaptation simple aux moyens permettant de régler ou de faire varier leur vitesse, leur couple et leur sens de rotation.

Les machines électriques à courant continu sont constituées : d'un stator et d'un rotor.

3.4.1 Stator

Le stator qui est à l'origine de la circulation d'un flux magnétique longitudinal fixe, crée soit par des enroulements statiques (bobinage) soit par des aimants permanents ; à l'arrière

du stator se trouve la partie porte balais et les balais assurant les contacts électriques avec le rotor. Il est aussi appelé inducteur.

3.4.2 Rotor

Le rotor est constitué d'un ensemble de bobines reliées à un collecteur rotatif. Le collecteur rotatif permet d'inverser la polarité du champ magnétique crée par le stator avant que celui-ci ne soit en phase avec celui crée par le rotor. Grace à ce dispositif, les champs rotoriques et statiques sont toujours en quadrature provoquant ainsi la rotation du rotor. Les enroulements rotoriques sont aussi appelés enroulements d'induit, ou communément induit.



Figure 3.03 : *moteur à courant continue. [24]*

3.5 Servomoteur

Le servomoteur est un moteur à courant continu ou un moteur sans balais (brushless), pour produire un mouvement précis en réponse à une commande externe, C'est un actionneur qui mélange l'électronique, la mécanique et l'automatique. Un servomoteur est composé :

- ❖ d'un moteur à courant continu ;
- ❖ d'une boîte à vitesse (un réducteur en sortie de ce moteur diminuant la vitesse mais augmentant le couple);
- ❖ d'un capteur de retour de position (très souvent un potentiomètre) ;
- ❖ une carte électronique de commande;
- ❖ Un axe dépassant hors du boîtier avec différents bras ou roues de fixation.

3.5.1 Point fort

Un servomoteur est capable d'atteindre des positions prédéterminées dans les instructions qui lui ont été données, puis de les maintenir. Par exemple pour un servomoteur : on lui envoie un signal de commande qui définit l'angle désiré (consigne), et le moteur va corriger sans angle de départ pour tendre vers la consigne de l'utilisateur. Et il réalise cette opération en boucle. Pour pouvoir réaliser la correction de l'angle, le servo utilise une électronique d'asservissement. Cette électronique est constituée d'un comparateur qui compare la position du bras du servo à la consigne.

Pour ce projet, ont été utilisé le servo moteur SG90 pour un rôle de déplacer la barre et entraine à verser le sucre dans le récipient 2.

- ❖ Dimensions : 22 x 11.5 x 27 mm.
- ❖ Poids : 9 gr.
- ❖ Tension d'alimentation : 4.8v à 6v.
- ❖ Vitesse : 0.12 s / 60° sous 4.8v.
- ❖ Couple : 1.2 Kg / cm sous 4.8v. – Amplitude : de 0 à 180°.

3.5.2 Branchement

Le servomoteur a besoin de trois fils de connexion pour fonctionner. Deux fils servent à son alimentation, le dernier étant celui qui reçoit le signal de commande :

- ❖ Rouge : pour l'alimentation positive (4.5V à 6V en général) ;
- ❖ Noir ou marron : pour la masse (0V) ;
- ❖ Orange, jaune, blanc: entrée du signal de commandes.

3.6 Moteur pas à pas

3.6.1 Principe de fonctionnement

Le moteur pas à pas constitue un convertisseur électromécanique destiné à transformer le signal électrique (impulsion ou train d'impulsions de pilotage) en déplacement (angulaire ou linéaire) mécanique.

3.6.2 Propriétés et applications

Le moteur pas à pas a été conçu à partir de deux démarches logiques très différentes

- ❖ d'une part, on a cherché un moteur capable de développer un couple important à faible vitesse, voire même à l'arrêt ;
- ❖ d'autre part, on a étudié un dispositif capable de convertir des informations de caractère discret.

3.7 Capteurs

3.7.1 Définition

Un capteur est un organe de prélèvement d'information qui élabore à partir d'une grandeur physique, une autre grandeur physique de nature différente (très souvent électrique).

Cette grandeur représentative de la grandeur prélevée est utilisable à des fins de mesure ou de commande.

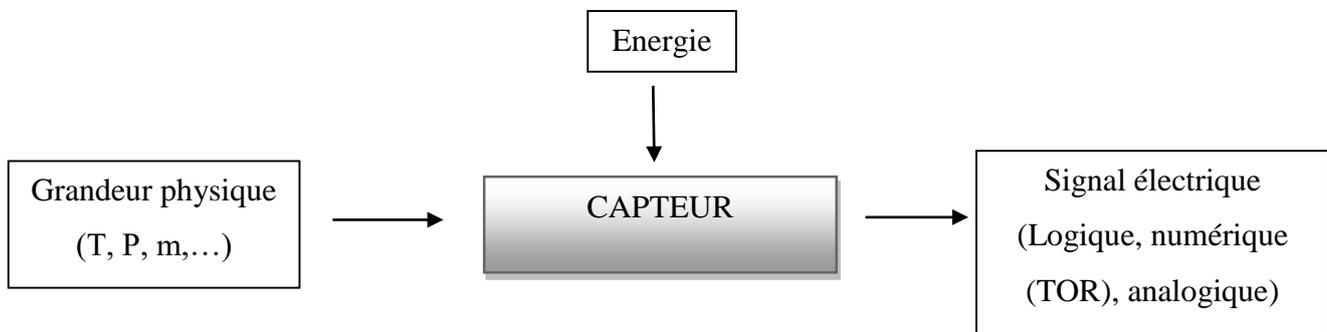


Figure 3.04 : *fonctionnement d'un capteur*

3.7.2 Types de capteur

On distingue deux types de capteur: les capteurs passifs et les capteurs actifs.

3.7.2.1 Capteurs actifs

Un capteur actif est généralement fondé dans son principe sur un effet physique qui assure la conversion en énergie électrique de la forme d'énergie propre à la grandeur physique à mesurer

(énergie thermique, mécanique ou de rayonnement). La valeur fournie étant généralement faible, il faudra l'amplifier.

Exemple : photodiodes, phototransistors (capteur de vitesse LFIIP), thermocouples.

3.7.2.2 Capteurs passifs

Il s'agit généralement d'impédances (résistance, inductance, capacité) dont l'un des paramètres déterminants est sensible à la grandeur mesurée. Il faut l'intégrer dans un circuit avec une alimentation. La variation d'impédance résulte :

- ❖ d'une variation de dimension du capteur (capteurs de position, potentiomètre, inductance à noyaux mobile, condensateur à armature mobile)
- ❖ d'une déformation résultant d'une force ou d'une grandeur s'y ramenant (pression accélération). Exemples : armature de condensateur soumise à une différence de pression, jauge d'extensomètre liée à une structure déformable.

Exemples : résistance à fil de platine (sonde Pt100), thermistance (alerte température dans le SGA, TD11), capteur de niveau capacitif, inductance de fin de course. Il s'agit généralement d'impédances (résistance, inductance, capacité) dont l'un des paramètres déterminants est sensible à la grandeur mesurée.

3.7.2.3 Domaines d'utilisation

Les réseaux de capteurs sont également largement courants dans le domaine médical, militaire, architectural, environnemental, commercial, agriculture, domotique, robotique et surtout dans le domaine industriel.

3.8 Capteur de température DS18B20

Le DS18B20 est un capteur de température précis intégrant un convertisseur analogique-numérique

- ❖ Plage de température mesurable : -55 à +125 °C
- ❖ Temps de conversion d'une mesure : environ 750 ms (12 bits)



Figure 3.05 : *Capteur de température DS18B20 [25]*

3.9 Capteur à Ultrasons HC-SR04

3.9.1 Définition

Le capteur HC-SR04 utilise les ultrasons pour déterminer la distance d'un objet. Il offre une excellente plage de détection sans contact, avec des mesures de haute précision et stables. Son fonctionnement n'est pas influencé par la lumière du soleil ou des matériaux sombres, bien que des matériaux comme les vêtements puissent être difficiles à détecter.

3.9.2 Caractéristiques

- ❖ Dimensions : 45 mm x 20 mm x 15 mm
- ❖ Plage de mesure : 2 cm à 400 cm
- ❖ Résolution de la mesure : 0.3 cm
- ❖ Angle de mesure efficace : 15 °
- ❖ Largeur d'impulsion sur l'entrée de déclenchement : 10 μ s.

3.9.3 Le principe de fonctionnement

- ❖ Envoyer un signal numérique à l'état haut sur l'émetteur pendant 10 μ s.

- ❖ Le capteur envoie automatiquement 8 impulsions d'ultrasons à 40 kHz et détecte les signaux qui reviennent.
- ❖ Si le signal revient, la durée de l'état haut du signal reçue correspond au temps entre l'émission des ultrasons et leur réception.

3.9.4 Calcul de la distance

Distance = (temps à l'état haut signal reçu * vitesse du son)/2 (vitesse du son dans l'air : 340 m/s).

3.9.5 Connecteur du capteur

- ❖ Alimentation 5V
- ❖ Entrée émetteur d'impulsion d'ultrasons
- ❖ Sortie récepteur d'impulsion d'ultrasons
- ❖ Masse 0V

3.9.6 Paramètres électriques

Tableau 3.02 : paramètre électrique du capteur ultrason HC SR 04 [26]

Tension d'alimentation	5V DC
Courant d'alimentation	15mA
Fréquence de travail	40Hz
Distance maximale de détection	4m
Distance minimale de détection	2cm
Angle de détection	15 degrés
Signal d'entrée de l'émetteur	Impulsion à l'état haut de 10µs
Signal de sortie du récepteur	Signal numérique à l'état haut et la distance proportionnellement
Dimension	45*20*15mm

Remarque :

- ❖ Il n'est pas suggérer de brancher le capteur directement sur une source électrique. Si c'est le cas, la masse doit être connectée en première sinon cela affectera le bon fonctionnement du capteur.

- ❖ Les objets détectés doivent avoir une superficie supérieur à 0.5 m² et doivent être plutôt plats sinon cela affectera la mesure de distance.

3.1 Module relais

3.1.1 Définition

Le relais est un interrupteur commandé que l'on peut commander en envoyant un petit courant. Au repos, il est normalement fermé, ou normalement ouvert, selon le modèle. On peut s'en servir avec l'Arduino pour commander des machines en haute tension (220v par exemple), ou pour déclencher toute machine ou lumière.

Les principales caractéristiques techniques du relai utilisé dans notre projet sont :

- ❖ Signal de commande 5V ;
- ❖ Maximum AC courant et voltage : 10A 250VAC ;
- ❖ Maximum DC courant et voltage: 10A 30VDC ;
- ❖ Il existe un contact normalement ouvert et un contact normalement fermé ;
- ❖ Pour que la bobine du relais soit excitée, vous devez avoir une entrée de 0 dans la broche de signal.

3.1.2 Brochage du relai

- ❖ + : 5V source ;
- ❖ -: Masse ;
- ❖ S : Signale de commande en 5V;
- ❖ NC : normalement fermé ;
- ❖ NO : normalement ouvert.

3.2 La pompe à eau

3.2.1 Définition

Une pompe est un dispositif permettant d'aspirer et de refouler un fluide, il existe pas mal de pompes conforme à chaque besoin, le choix d'une pompe s'effectue toujours selon son usage et la détermination des paramètres de performances.

Pour notre prototype, nous avons utilisé une pompe de 12v, alimentée par une source de tension 5v/12v.



Figure 3.06 : *pompe à eau*

3.2.2 Caractéristiques

- ❖ Débit est réglable avec bouton en face de la pompe
- ❖ Tension d'entrée : DC 3.5-12 v
- ❖ Puissance : 1-3 w
- ❖ Dimension (L x P x H) : Env. 3.7x3.3x2.7 cm/1.5x1.3x1.1 pouces
- ❖ Composé de deux files : rouge = VCC (+) / noir = GND (-) [w2]

3.2.3 L'alimentation

Nous avons besoin d'une alimentation avec les caractéristiques suivantes :

- ❖ Entrée : une tension alternative de 220V à 50Hz ;
- ❖ Sorties : trois tensions continuent de 12V pour les actionneurs et 5V pour la partie commande.

3.3 Logiciels interface arduino IDE

Aujourd'hui, l'électronique est de plus en plus remplacée par de l'électronique programmée. On parle aussi d'électronique embarquée ou d'informatique embarquée.

3.3.1 Interface

L'interface du logiciel Arduino se présente de la façon suivante :

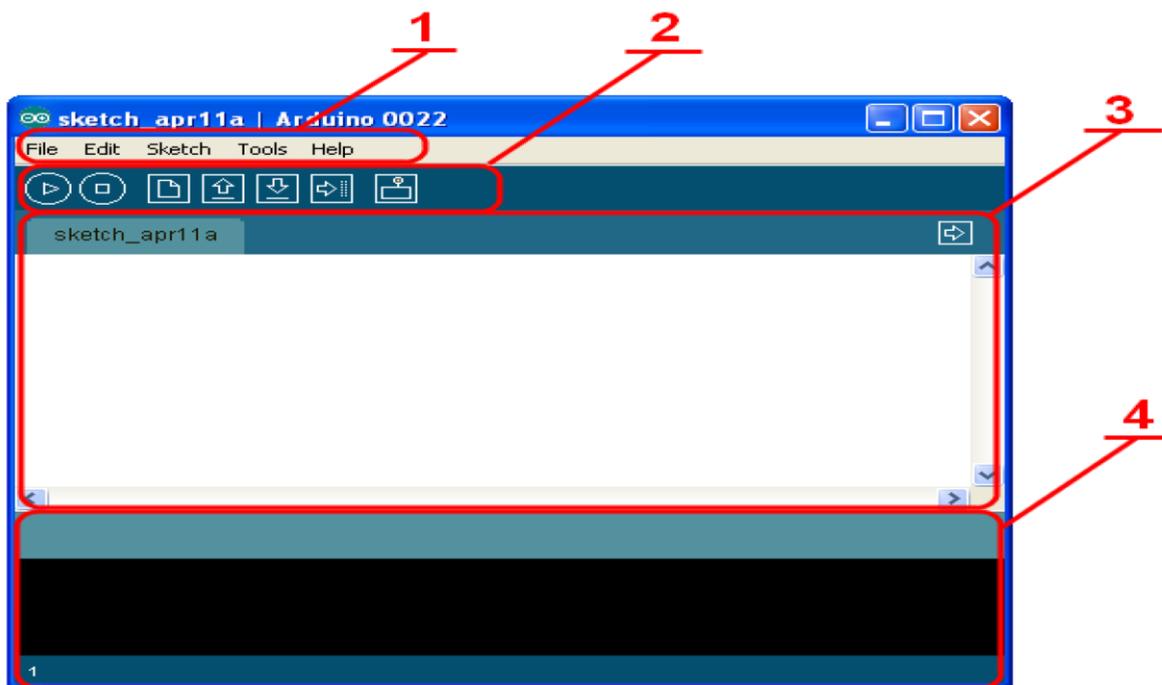


Figure 3.07 : *Interface arduino IDE [27]*

1. options de configuration du logiciel
2. boutons pour la programmation des cartes
3. programme à créer
4. débogueur (affichage des erreurs de programmation)

3.3.2 Le langage Arduino

Le projet Arduino était destiné à l'origine principalement à la programmation multimédia interactive en vue de spectacle ou d'animations artistiques. C'est une partie de l'explication de la descendance de son interface de programmation de Processing.

Processing est une librairie java et un environnement de développement libre. Le logiciel fonctionne sur Macintosh, Windows, Linux, BSD et Android.

Références : Le langage Java ; le langage C et l'algorithmique.

Cependant, le projet Arduino a développé des fonctions spécifiques à l'utilisation de la carte qui ont été listées ci-dessous.

Tableau 3.03 : Structure du programme sous le logiciel [28]

Structure	Constants	Fonctions
setup() loop()	HIGH, LOW INPUT, OUTPUT, INPUT_PULLUP LED_BUILTIN	E/S numérique pinMode() digitalWrite() digitalRead() E/S analogique analogReference() analogRead() analogWrite() - PWM E/S avancée tone() noTone() shiftOut() shiftIn() pulseIn() Temps millis() micros() delay() delayMicroseconds()

Structure	Constants	Fonctions
setup() loop()	HIGH, LOW INPUT, OUTPUT, INPUT_PULLUP LED_BUILTIN	Bits et octets lowByte() highByte() bitRead() bitWrite() bitSet() bitClear() bit() Interruptions externes attachInterrupt() detachInterrupt() Interruptions interrupts() noInterrupts() Communication Serial ; Stream

3.4 Conclusion

Dans ce troisième chapitre, ont été bien détaillés les matériels utilisés pour la réalisation du prototype du projet. Nous allons voir dans le dernier chapitre le résultat de réalisation du prototype de projet.

CHAPITRE 4 : RESULTAT ET INTERPRETATION

4.1 Introduction

Ce dernier chapitre concerne le résultat des études dans les 3 chapitres précédent. Ainsi que le cout de la réalisation et le rendement de ce projet.

4.2 Présentation et principe de fonctionnement du projet



Photo 4.01 : machine de production du yaourt soja

Comme dans le grafcet (Chapitre 3), ce projet peut se décomposer en générale sur 3 parties :

- ❖ La partie cuisson des matières premières dans le récipient 1 jusqu'au récipient 2 (mélangeur) ;
- ❖ La partie convoyeur 1, c'est-à-dire le départ des pots vides jusqu'au convoyeur 2 (pots chargés) ;
- ❖ Et enfin la yaourtière.

4.3 Partie cuisson des matières premières (grains de soja+ eau) jusqu'au récipient mélangeur



Récipient 1



Récipient 2



Vanne d'ouverture du lait

Photo 4.02 : récipients 1, 2 et la vanne ouverture du lait dans le tuyau

Les matières premières se cuisent pendant 20mn dans le récipient 1 par le contacteur KM2. Tandis que la période 20mn serait atteinte, le contacteur KM2 actionne entraînant la mise en marche de l'arduino 1. Dès que l'arduino 1 serait alimentée, la vanne s'ouvre automatiquement et le lait de soja remplis dans le tuyau. Après, la pompe à eau met en marche pour monter le lait vers le récipient 2. Enfin le moteur (ferment, sucre, mélangeur) marche automatiquement pendant 5 seconde.

4.3.1 Partie départ des pots (Convoyeur 1) jusqu'à l'arrivée des pots (convoyeur 2)



Photo 4.03 : Partie départ des pots (Convoyeur 1) jusqu'à l'arrivée des pots (convoyeur 2)

La mise en état 1 du bouton poussoir numéro 2 s'entraîne le fonctionnement du convoyeur. Et ce convoyeur est le départ des pots vides. Quand les pots vides seront détectés par le capteur, le convoyeur 1 s'arrête et le moteur MCC1 pousse les pots vers le disque tournant. Le MCC1 revient à l'état initial et le convoyeur 1 remet en marche.

Le disque tournant transporte les pots vides. Et quand le capteur 2 capte la présence des pots, le disque tournant s'arrête et l'électrovanne, pompe marche simultanément pour remplir les pots du lait déjà mélangé dans le récipient 2. Quand les pots seraient chargés, l'électrovanne, pompe s'arrête et le disque tourne. Quand le capteur 3 capte les pots, le disque s'arrête et le moteur MCC2 pousse les pots chargés vers le convoyeur 2. Ensuite, le moteur MCC2 se met à la position initiale. Le disque tourne vers la position de départ et le convoyeur 2 transporte les pots chargés.

Quand le capteur 4 trouve la présence des pots, le moteur MCC3 pousse les pots chargés vers la position finale. Ensuite le moteur MCC3 revient à la position initiale.

Ce cycle serait automatique et sans cesse quand le bouton poussoir 2 est égal à 1.

4.4 Yaourtière

La photo ci-dessous montre la yaourtière du prototype :



Photo 4.04 : yaourtière du projet

Pour ce réalisation, les principaux éléments de base pour la fabrication de ce yaourtière sont : la résistance chauffante 12V à tension continue ; Un capteur de température qui sert a mesuré la température dans à l'intérieur de l'yaourtière ; et un moteur homogénéiser pour propager la chaleur/température provenant de la résistance chauffante homogène partout dans la yaourtière.

4.4.1 Principe de fonctionnement

Si la température mesurée à l'intérieur de la yaourtière est compris entre 42°C et 45°C, la résistance chauffante et le ventilateur se met en marche simultanément. Dès que la température ne compris pas entre 42°C et 45°C, la résistance chauffante et le ventilateur s'arrêtent. Le même cycle recommence automatiquement dès que la plage de température sera atteinte

4.5 Armoire électrique

Ci-dessous la photo à l'intérieur de l'armoire électrique du prototype de projet :

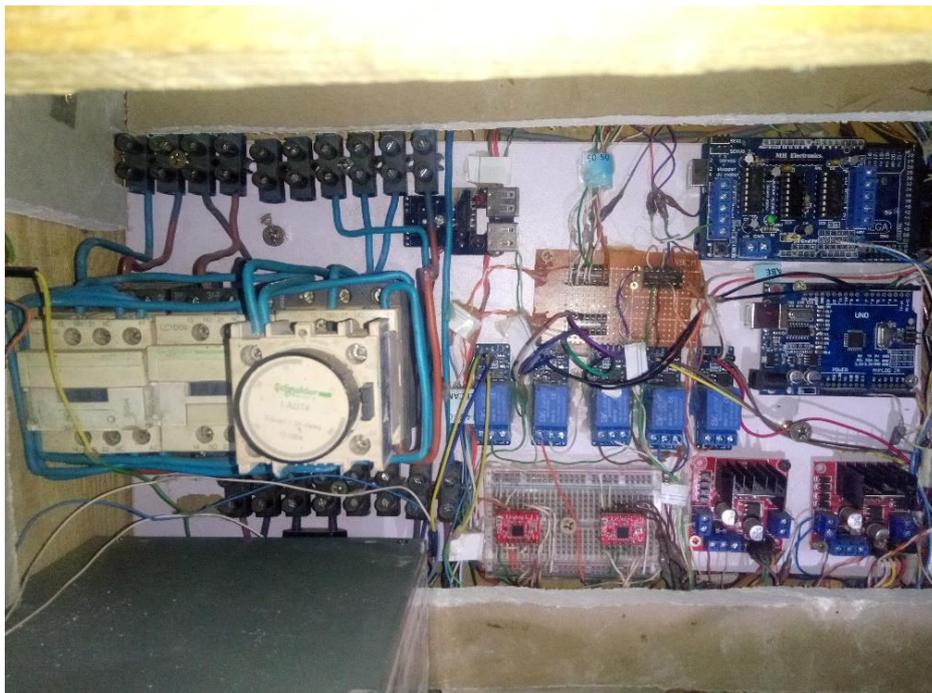


Photo 4.05 : machine de fabrication du yaourt soja

L'armoire électrique compose :

- ❖ Des organes de commande comme les 2 cartes arduino ;

- ❖ Les préactionneurs : 3 contacteurs ; du driver qui commande les 2 moteurs à courant continu et 2 servomoteur (L293D) ; du driver moteur pas à pas (L298N) et les 5 modules relais,

4.6 Budget du prototype

Après l'étude expérimentale du projet, ce qui nous permet de définir les matériels ou pièces mis en place sur la réalisation de ce projet, la première idée dans notre tête est le budget de la réalisation du projet. Mais pour permettre de bien définir ce budget, il faut connaître le prix de chaque matériel et d'en faire la somme.

Tableau 4.01 : Prix des matériels pour la fabrication de la machine

Matériels	Nombre	Prix unitaire en Ariary	Montant en Ariary
Alimentation	1	10000	10000
Arduino Mega	1	70000	70000
Arduino Uno	2	50000	100000
bouton poussoir	3	4000	12000
Capteur de température	1	5000	5000
Capteur ultrason	4	6000	24000
Contacteur	3	40000	120000
Driver A4988	1	12000	12000
Driver L293D	1	15000	15000
Driver L298N	2	15000	30000
Electrovanne	1	15000	15000
Jumpers complet	1	7000	7000
MCC	4	2000	8000
module relais	5	5000	25000
Moteur pas à pas	4	20000	80000
pompe à eau	1	10000	10000
récipient	2	30000	60000
Résistance chauffante	1	20000	20000
Servo moteur	1	10000	10000
Temporisateur	1	25000	25000
Autres (colle; planche; penture,...)	1	20000	20000
Prix total			678000

4.7 Rendement

Grace à la recherche et l'expérience qu'on a vécue, 1kg des grains de soja pourrait donner 6 litres de lait. Et ce 6 litres de lait produit 60 pots de yaourt soja. Le prix moyen de grains de soja vaut 1800 Ar par kg. Ce chiffre est égal au prix d'un (1) litre du lait de vache.

Dans ce modèle, la machine produit 15 pots de yaourt par 30 minutes. Mais la productivité dépend de la yaourtière et le récipient 1, 2. Ce dernier sera donc enrichir en fonction de besoin du client.

En plus, les graines de soja extrait aussi seront un autre gain pourrai fabriquer d'aliment pour les bétails (provende). Les grains de soja seront donc aucune perte après la transformation en yaourt.

4.8 Notion de qualité

D'après la norme AFNOR (X 50 – 109), " la qualité est l'aptitude d'un produit ou d'un service à satisfaire les besoins des utilisateurs". Elle devient de plus en plus importante en raison de la concurrence. On parle surtout de qualité hygiénique, nutritionnelle, sensorielle, réglementaire et commerciale.

4.8.1 Qualité hygiénique

Elle garantit une sécurité sanitaire des consommateurs. Elle est liée à :

- ❖ La toxicité microbiologique présence de microorganismes pathogènes, toxinogènes ou d'altérations; ou d'autres métabolites contaminants.
- ❖ La toxicité chimique : présence de résidus de pesticides ou de métaux lourds, excès d'utilisation des additifs et auxiliaires alimentaires.

4.8.2 Qualité nutritionnelle

Elle repose sur trois points fondamentaux :

- ❖ L'énergie fournie par l'aliment considéré ;
- ❖ Sa composition en constituants majeurs et en micro-éléments ;
- ❖ Son facteur d'assimilation correspondant à la digestibilité de l'aliment.

4.8.3 Qualité sensorielle

Cette qualité est la propriété d'un produit perceptible par les organes de sens de l'homme. Il s'agit de déterminer son aspect, sa texture, son odeur et sa saveur. Mais elle comprend aussi le niveau d'acceptabilité des produits par les consommateurs.

4.8.4 Qualité commerciale

Cet aspect vise à faciliter l'usage du produit en question, tout en préservant ses qualités sensorielle, nutritionnelle et hygiénique. Ses qualités concernent surtout :

- ❖ La facilité d'usage (ouverture, et manipulation) et de conservation ;
- ❖ La rentabilité : rapport entre qualité et prix ;
- ❖ La disponibilité des produits dans le temps et dans l'espace.

4.8.5 Qualité réglementaire

Son principal intérêt est de protéger la santé des consommateurs et d'éviter la concurrence déloyale. Elle renseigne sur la conformité du produit par rapport aux normes préétablies (traçabilité, étiquetage, caractères physico-chimiques et microbiologiques, etc.)

4.9 Le politique marketing

Le yaourt soja est un nouveau produit, une bonne politique de commercialisation est de ce fait plus que nécessaire. Cette politique touche surtout le lancement des produits et la fidélisation des clients. La politique marketing adoptée est celle du marketing mix qui concerne les quatre points dits 4P.

4.9.1 Produits

Le yaourt écoulé au marché est des aliments nutritionnellement équilibrés. La mise en valeur de cette particularité par rapport aux autres produits laitiers apparentés renforcée par une standardisation de leur qualité va contribuer à la satisfaction des consommateurs. De même, la quantité vendue sur les étalages du marché doit répondre à leurs attentes et doit être ininterrompue.

4.9.2 Prix

Le prix doit être concurrentiel pour que les clients puissent adopter le yaourt soja. Les prix de vente au marché est de 400 Ariary. (500ar voir même 600ar pour le yaourt d'origine lait de vache)

4.9.3 Place ou lieu de distribution

Le circuit de distribution est large. Le yaourt sera écoulé dans les épiceries, etc. Ils seront aussi vendus sur commande des clients accompagnés de la livraison gratuite sur aux alentours de la ville.

Le choix des centres de distribution est basé sur l'effectif de la population, son pouvoir d'achat et enfin l'accessibilité. Les premières cibles sont d'abord les personnes qui connaissent déjà l'importance de lait d'origine végétal (végétariens). Viennent ensuite tous les personnes partout au région de distribution.

4.9.4 Publicité et promotion des produits

- ❖ Les stratégies pour la promotion du yaourt soja envisagé seront les suivantes :
- ❖ Des prix promotionnels en début de production et pendant les évènements
- ❖ Spéciaux comme les fêtes nationales ou religieuses ;
- ❖ Des publicités par les mass médias : émissions radio et télé d'éducation, et surtout les reseau sociaux le plus courant et pratiqué à Madagascar le Facebook.

4.10 Conclusion

Dans ce dernier chapitre, on a tout tiré le principe de fonctionnement et présentation du prototype de projet a réalisé ainsi que quelque résumé code de programmation et les avantages de ce projet. D'après l'étude, ce projet sera rentable et apportera une autre source de revenu.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Au terme de cet ouvrage, nous pouvons observer que la valorisation du lait de soja en yaourt apporte plus des valeurs nutritionnelles comme le lait habituel d'origine animal (vache, chèvre,...). Et le soja s'adapte bien aux conditions climatiques et édaphiques à Madagascar. L'acquisition des matières premières n'est donc pas un problème.

En tant qu'Automatisme Electronique Informatique Industrielle, on a fait l'étude et la réalisation de la machine pour produire du yaourt soja. La technologie de fabrication adoptée est alors très pratique, en utilisant des matériels adaptés sur le marché. Les yaourts obtenus sont de qualité microbiologique acceptable. La technologie mise en œuvre a abouti à des produits finis d'excellente valeur nutritionnelle : répondant au besoin en protéines de toutes les classes d'âge.

Le projet sera donc rentable, finançable et viable selon le chapitre 3 (4.6 Rendement). Et sur le plan social, la réalisation de ce projet à grande échelle (industrialisation) à Madagascar serait attendue pour améliorer leur alimentation et contribuerait à leur permettre un équilibre nutritionnel ; Réduit le taux de chômage et améliore l'économie Malgache. De telle activité pourrait aussi être entreprise dans d'autre région partout à Madagascar où le lait et le soja sont en quantité exploitable.

Mais beaucoup de choses restent à faire, telle par exemple : l'étude et réalisation du bras robotique et la mise en carton des produit finis pour que la machine serait entièrement autonome; l'étude de conservation du yaourt ; Et le plus important la recherche des investisseurs pour réaliser ce projet en grande échèle ou en grande production.

ANNEXE

Photo du yaourt soja pendant l'étude et l'expérience :



Résumé code Yaourtière sur l'arduino IDE :

Déclaration des bibliothèques:

```
#include <OneWire.h>
```

```
#include <DallasTemperature.h>
```

```
#define ONE_WIRE_BUS 2
```

Configuration des pins entre et sortie numérique:

```
int resistance = 3;
```

```
float temperature = 0;
```

```
int lowerLimit = 35;
```

```
int higherLimit =36;
```

```
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);  
DallasTemperature sensors(&oneWire);
```

```
void setup(void)
```

```
{  
  Serial.begin(9600);  
  sensors.begin();  
  pinMode(resistance,OUTPUT);  
}
```

Programme dans la boucle:

```
void loop( )
```

```
{  
  Serial.print(" la Temperature est");  
  sensors.requestTemperatures();
```

```
  temperature = sensors.getTempCByIndex(0);  
  digitalWrite(resistance, LOW);  
  Serial.print("T=");  
  Serial.print(temperature);
```

```
  if(temperature <= lowerLimit){  
    Serial.println(" resistance en marche");  
    digitalWrite(resistance, LOW);  
  }  
  else if(temperature >= higherLimit){  
    Serial.println(" resistance en arret");  
    digitalWrite(resistance,HIGH);  
  }  
  delay(500);  
}
```

BIBLIOGRAPHIE

- [1]: CHAMBON, 1996 in KARLESKIND et WOLFF, 1996
- [2]: (Archives Larousse).
- [3]: (Doré et al., 2006).
- [4]: Ramsey R S and Ramsey J M 1997 Generating electrospray from microchip devices using electroosmotic pumping Anal. Chem. 69 1174–8
- [5] : USDA
- [6] : (Delaveau, 2003).
- Lp Pierre-Joseph LAURENT, L.Pamelard p1 .pdf
- [7] : Lp Pierre-Joseph LAURENT, L.Pamelard p2 .pdf
- [8]: W.E. Morf, O.T. Guenat, N.F. de Rooij “Partial electroosmotic pumping in complex capillary systems Part 1: Principles and general theoretical approach”. Sensors, Actuators and Microsystems Laboratory, Institute of Microtechnology, University of Neuchâtel, Rue Jaquet-Droz 1, CH-2007 Neuchâtel, Switzerland. Sensors and Actuators B 72 (2001)
- [9]: I:\TRAVAIL\AUTOM_Buts_de_l'automatisme.DOC p2
- [10]: Brus I.D., Turayev N.S. Raschet lentochnogo transportera [Calculation of a belt conveyor], Tomsk: Izdatel'stvo Tomskogo politekhnicheskogo instituta, (In Russ.), 2008, 21 pp.
- [11]: Roudaut, G., Dacremont, C., Vallès Pàmies, B., Colas, B., & Le Meste, M. (2002). Crispness: acritical review on sensory and material science approaches. Trends in Food Science & Technology, 13, 217-227.
- [12]: ACQUES ROGEZ et JEAN LE COZE. Mesure des températures. 2010. Techniques de l'Ingénieur, R 2 515.
- [13]: MICHEL GROUT et PATRICK SALAÜN. INSTRUMENTATION INDUSTRIELLE - Spécification et installation des capteurs et vannes de régulation. Dunod, 2009. L'USINE NOUVELLE. ISBN 978-2-10-053924-6
- [14]: CHARLES EYRAUD et ARMAND ACCARY. Analyses thermique et calorimétrique différentielles. 1992. Techniques de l'Ingénieur, PE 1 295.

[15]: DS18B20: capteur de température one wire pour arduino. [en ligne]. [Consulté le 10 novembre 2016]. Disponible à l'adresse : <http://automacile.fr/ds18b20-capteur-detemperature-one-wire-arduino/>

[16]: Découverte du bus One Wire et expérimentations autour du DS18B20 et Arduino Pro Mini 3,3v. [en ligne]. [Consulté le 10 novembre 2016]. Disponible à l'adresse : <http://blog.misterbidouilles.fr/decouverte-du-bus-one-wire-et-experimentations-autour-du-ds18b20-et-arduino-promini-33v/>

[17]: Réalisations pratiques (capteur de température). [en ligne]. [Consulté le 10 novembre 2016]. Disponible à l'adresse : http://pbelaire.free.fr/electronique_realisation_capteur_temperature.htm

[18]: MAX31855.pdf [en ligne]. [Consulté le 2 novembre 2016]. Disponible à l'adresse

WEBOGRAPHIE

[19] : <http://www.arduino.cc/fr>

[20]: <http://perso.numericable.fr/cira/pdf/Cours/Instrumentation/temperature.pdf>

[21]: <http://fr.wikihow.com/couver-des-%C5%93ufs-de-poule>

[22]: <http://docinsa.insa-lyon.fr/polycop/download.php?id=160504&id2=4>

[23]: <http://www.ovo-site.net/accueil/index.html>

[24]: http://www.ifad.org/lrkm/pub/hatchery_f.pdf

FICHE DE RENSEIGNEMENTS

Nom : ANDRIANANTENAINA
Prénoms : Mirajo
Adresse de l'auteur : 0514 B 92 Tomboarivo Antsirabe
Téléphone : 034 16 456 00
E-mail : mirajuandria@gmail.com



Titre du mémoire :

ETUDE ET REALISATION D'UNE MACHINE DE PRODUCTION DE YAOURT SOJA

Nombre des pages : 70
Nombre des tableaux : 08
Nombre des figures : 28
Nombre des photos : 6

Encadreur pédagogique : Mme RANAIVOSOA ML Olivette

Téléphone : 034 17 309 49

Mail : olivetteranaivosoa@gmail.com

RESUME ET MOTS CLES

Durant ces 5 ans d'étude et en tant que Automatisme Electronique Informatique Industrielle dans l'Institut d'Enseignement d'Antsirabe-Vakinankaratra, ce mémoire a pour but de l'étude et la réalisation d'une machine qui sert pour la production des grains de soja en yaourt. Nous avons choisis ce thème car les produits dérivés de soja ayant une source de protéine végétale particulièrement au point de vue nutritionnel et la consommation des produits dérivés de soja apporte alors une bien pour notre santé. Ce mémoire concerne mis au point la caractéristique particulière des grains de soja et les processus pour fabriquer un yaourt. Il offre aussi des études de parties essentielles pour l'automatisation de la fabrication du yaourt. Les expériences et la réalisation ont permis de tirer un succès et une potentialité de financier ce projet.

Mots clés: machine ; soja ; production ; yaourt ; automatisation.

ABSTRACT AND KEYS WORDS

During these 5 years of study and as an Electronic computing Automation Industrial in the Institute of Teaching of Antsirabe Vakinankaratra, the purpose of this brief is to study and produce a machine that is used for the production of soybeans into yogurt. We have chosen this theme because soy-derived products with a plant protein source particularly in terms of soybean derivatives then brings a good for our health. This brief concerns the specific characteristic of these soybeans and the processes for making a yogurt. It also offers essential parts studies for the automation of the manufacturing of the yogurt. Experiences and accomplishment have resulted in a successful and financial potential of this project.

Keys words: machine; soybeans; production; yogurt; Automation.