



REPOBLIKAN'I MADAGASIKARA
Fitiavana – Tanindrazana – Fandrosoana



MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE D'ANTANANARIVO



INSTITUT D'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR D'ANTSIRABE – VAKINANKARATRA

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME DE LICENCE
PROFESSIONNELLE EN GENIE ELECTRIQUE

PARCOURS AUTOMATISME-ELECTRONIQUE-INFORMATIQUE INDUSTRIELLE

THEME : **MISE EN PLACE D'UN SYSTEME DE TRIAGE AUTOMATIQUE DES
PRODUITS MAL BOUCHONNES**

CAS de la Production d'Yao 250ml SOCOLAIT



Soutenu publiquement le 14 Avril 2017 par :

Monsieur Henitsoa Nantenaina Sehen RASAMISON

Président du jury: Monsieur Jean André RAJAONARIVELO

Directeur de mémoire : Monsieur Andy Marlon BOURGEON

Examineurs : 1- Monsieur Solofo Hery RAKOTONIAINA

2- Madame Mamitiana Lalaonirina Olivette RANAIVOSOA

Encadreur professionnel : Monsieur Hery Setra ROBENE

Année Universitaire : 2015-2016



REPOBLIKAN'I MADAGASIKARA
Fitiavana – Tanindrazana – Fandrosoana



MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE D'ANTANANARIVO



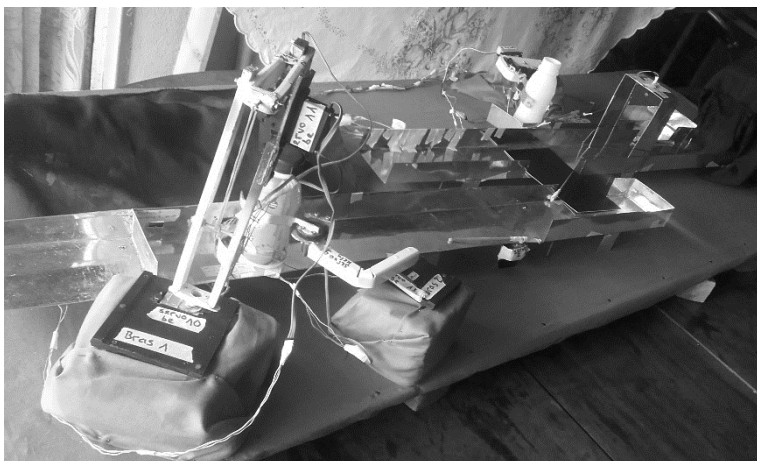
INSTITUT D'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR D'ANTSIRABE – VAKINANKARATRA

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE LICENCE
PROFESSIONNELLE EN GENIE ELECTRIQUE

PARCOURS AUTOMATISME-ELECTRONIQUE-INFORMATIQUE INDUSTRIELLE

THEME : **MISE EN PLACE D'UN SYSTEME DE TRIAGE AUTOMATIQUE DES
PRODUITS MAL BOUCHONNES**

CAS de la Production d'Yao 250ml SOCOLAIT



Soutenu publiquement le 14 Avril 2017 par :

Monsieur Henitsoa Nantenaina Sehen RASAMISON

Président du jury: Monsieur Jean André RAJAONARIVELO

Directeur de mémoire : Monsieur Andy Marlon BOURGEON

Examineurs : 1- Monsieur Solofo Hery RAKOTONIAINA

2- Madame Mamitiana Lalaonirina Olivette RANAIVOSOA

Encadreur professionnel : Monsieur Hery Setra ROBENE

Année Universitaire : 2015-2016

REMERCIEMENTS

A l'occasion de l'élaboration du présent mémoire de fin de formation, nous tenons à remercier tout particulièrement Dieu Tout Puissant pour sa bénédiction.

Si ce travail voit le jour, c'est aussi grâce à la précieuse contribution de nombreuses personnes. L'occasion nous est ici offerte pour adresser nos sincères remerciements à toutes ces personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Toute notre gratitude va sans distinction :

A Monsieur Eddie Franck RAJAONARISON ;

Directeur de l'IESAV et Maître de Conférence ;

Nos remerciements les plus chaleureux pour l'enseignement que nous avons reçu à l'Institut.

A Monsieur Jean André RAJAONARIVELO ;

Chef de notre parcours AEII et Président du jury ;

Notre respectueuse reconnaissance pour la richesse de vos enseignements. Veuillez trouver dans ce travail l'expression de notre profonde gratitude et notre très haute considération.

A Madame Mamitiana Lalaonirina Olivette RANAIVOSOA ;

Chef de notre mention AEII et Examineur ;

Auprès de vous, nous avons toujours trouvé compréhension, gentillesse et précieux conseils. Vos encouragements et votre soutien moral nous ont poussés à persévérer dans nos recherches.

A Monsieur Solofo Hery RAKOTONIAINA ;

Professeur enseignant et Examineur ;

Veuillez trouver dans ce travail l'expression de notre profonde gratitude et notre très haute considération.

A Monsieur Andy Marlon BOURGEON ;

Assistant de professeur et Directeur de notre mémoire ;

Malgré vos multiples occupations, vous avez voulu donner votre temps, votre aide, vos conseils tout au long de la réalisation de ce mémoire.

A tous les enseignants et formateurs, au personnel administratif et technique de l'IESAV, pour les aides qu'ils nous ont octroyé pendant la préparation de ce mémoire et durant nos trois années d'études dans cet établissement.

Nous tenons également à exprimer nos sincères remerciements,

A la Société SOCOLAIT, de nous avoir autorisé à mener notre stage au sein de l'entreprise.

A Monsieur Philippe PENOUTY ;

Président Directeur Général de la Société ;

Sans votre gracieuse collaboration, nous n'aurions pas pu mener à bien nos recherches.

A Monsieur David de LA FUENTE ;

Directeur Technique ;

En dépit de vos lourdes charges professionnelles, vous avez eu l'amabilité d'avoir porté un intérêt à ce travail.

Monsieur Hery Setra ROBENE ;

Gestionnaire du Service Technique ;

Vos conseils éclairés et vos remarques pertinentes nous ont été une aide précieuse dans la réalisation de ce mémoire

L'équipe du service technique, notamment, Monsieur Léon Paul RAKOTONDRASOA, Monsieur Mamisoa Fabien Stejes RAKOTOVAO, qui n'ont pas ménagé ses temps et ses efforts pour nous guider de ses conseils et connaissances éclairés durant la préparation de ce mémoire.

Tous les personnels de l'usine SOCOLAIT, pour leur accueil chaleureux.

Nous tenons aussi à exprimer notre profonde gratitude et notre reconnaissance envers notre famille qui nous a toujours soutenus avec tant d'amour, pendant toutes ces longues années d'études.

Que vous trouviez ici l'expression de notre sincère reconnaissance!

Que Dieu vous bénisse, Lui qui a toujours guidé nos pas.

RESUME

Avec l'augmentation des besoins des consommateurs et l'usure des machines existantes, la production industrielle actuelle de l'Yaourt à boire, par la société SOCOLAIT, rencontre des difficultés sur le domaine équipement-matériel alors que de l'autre côté, la technologie ne cesse de suivre sa modernisation.

Nous proposons un système de triage automatique qui permet de classer et de remettre en état de vente les produits détériorés par la défaillance des machines existantes, notamment ceux qui sont non conformes sur le niveau bouchonnement des bouteilles. Un système permanent, capable de déterminer les défauts puis d'intervenir. Le système est simple mais fiable important une technologie constructive à la Société et satisfaction pour les consommateurs. Cette automatisation intégrale de la chaîne assurera la sécurité des produits alimentaires et facilitera le travail du technicien. Le projet fonctionne sur un traitement d'image et de couleur pour détecter la présence ou non de bouchon ; sur la vitesse du système de convoyage pour synchroniser le processus et sur un système de détection de niveau pour vérifier le serrage des bouchons. Les produits considérés comme non conformes seront ensuite remis en état par des systèmes de bras robotisé pour permettre à l'entreprise de stabiliser son économie.

SUMMARY :

With the increase in consumer needs and the wear and tear of existing machines, SOCOLAIT's current industrial production of drinkable yogurt is facing some difficulties in the domain of equipment sector, while on the other hand, Technology continues to follow its modernization.

We offer an automatic sorting system that allows to classify and to refurbish deteriorated products by the failure of existing machines, especially those that are non-compliant to the bottling level of bottles. A permanent system, capable of determining defects and then to intervene. The system is simple but reliable resulting a constructive technology to the Company and satisfaction for the consumers. This complete automation of the chain will ensure the safety of the food products and will facilitate the work of the technician. The project is based on the process of image and color to detect the presence or absence of a cork ; on the speed of the conveying system to synchronize the process and on a level detection system to check the tightening of the corks. The products considered non-compliant will then be refurbished by robotic arm systems to enable the company to stabilize its economy.

MOTS CLES : AUTOMATIQUE, VITESSE, TRIAGE, ONDE, SYNCHRONE.

LISTE DES ABREVIATIONS ET SIGNES

Abréviations

AEII : Automatisation-Electronique-Informatique Industrielle

A.N : Application Numérique

CAN : Convertisseur Analogique Numérique

HACCP : Hazard Analysis and Control Critical Point

IESAV : Institut d'Enseignement Supérieur d'Antsirabe-Vakinankaratra

ISO : International Organization for Standardization

LED : Light Emitting Diode

REMY : Remplissage de yaourt

RGB : Red Green Blue

RVB : Rouge Vert Bleu

S.A : Société Anonyme

USB : Universal Serial Bus

Signes

α : angle [degré ou radian]

C : Couple [Newton.mètre]

cm : centimètre

Cm : Couple mécanique [Newton.mètre]

d : distance [m ou cm]

ϵ : erreur

E : force électromotrice [Volt]

E_e : irradiance incidente [mW/cm²]

F : Force [Newton]

f_D : fréquence de sortie pour la condition d'obscurité [Hertz]

f_O : fréquence de sortie totale [Hertz]

f_w : balance des blancs

g : intensité de la pesanteur [m/s²]

I : Intensité du courant [Ampère]

l : largeur [m ou cm]

L : Longueur [m ou cm]

m : mètre

min : minute

Ω : vitesse de rotation angulaire [rad/s]

P : Puissance [Watt]

P : périmètre [m ou cm]

P_E : Puissance électrique [Watt]

P_M : Puissance mécanique [Watt]

ϕ : phase

π : pi=3,14

PWM : largeur d'impulsion modulée

r : rayon [m ou cm]

rad : radian

Re : sensibilité du dispositif pour une longueur d'onde donnée de la lumière [kHz/(mW/cm²)]

s : seconde

T : période [s]

tr : tour

τ : retard [s]

U : tension [Volt]

V : Vitesse linéaire [m/s]

VCC : tension d'alimentation [Volt]

ω : vitesse angulaire [rad/s]

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Liste des figures

Figure 1 : Processus de fabrication de yaourt	5
Figure 2 : Type de maintenance	7
Figure 3: Système avec perturbations	11
Figure 4: Comportement d'un système du point de vue précision	14
Figure 5: Comportement d'un système du point de vue stabilité	14
Figure 6: Comportement d'un système du point de vue rapidité	15
Figure 7: Comportement d'un système du point de vue amortissement	15
Figure 8: Annexe figure 5	16
Figure 9: Principe de détection de couleur du TCS3200	26
Figure 10: Illustrations du signal de contrôle	28
Figure 11: Système de convoyage horizontal	32
Figure 12: Position à 0° et Figure 13: Position à α°	42
Figure 14 : Observation latérale du système	50
Figure 15 : Observation de haut du système	51
Figure 16 : Représentation des trois bras robotisés	52

Liste des photos

Photo 1: Site de l'usine SOCOLAIT	2
Photo 2: Image bruitée et Photo 3: Exemple de voisinage de 9 pixels	19
Photo 4 : Image après filtrage	20
Photo 5: Carte Arduino Méga	22
Photo 6: Module TSC3200	24
Photo 7: Branchement du TCS3200 avec l'Arduino	25
Photo 8: Vue en entier d'un Servomoteur et Photo 9: Vue éclatée d'un Servomoteur	26
Photo 10: Vue prototypage du branchement des Servomoteurs sur l'Arduino	29
Photo 11: Interrupteur de fin de course	30
Photo 12: Le TCS3200 couvert	31

Liste des tableaux

Tableau 1: Variable et désignation	12
Tableau 2: Correspondance entre TCS3200 et Arduino	25
Tableau 3: Sélection de filtre	26
Tableau 4: Résultat expérimental sur le TCS3200	32

GLOSSAIRE

Asymptotique : qui a rapport à l'asymptote (ce qui se dit d'un rapprochement de deux choses à l'infini).

Bavure : petite trace que les joints des pièces d'un moule laissent sur l'objet moulé.

Bit : unité élémentaire de stockage de l'information sous forme de 0 et de 1 dans un ordinateur.

Bruit : petites perturbations qui dégradent la qualité d'une image.

Cadencement : rythme dans le temps.

Célérité : la vitesse de l'onde.

Concaténation : liaison et association de deux chaînes de caractère.

Criticité : état.

Datasheet : fiche de données.

Débruitage : éliminer les bruits.

Denrée : tout ce qui se vend pour la nourriture des hommes ou des animaux.

Détérioration : action de mettre en mauvais état.

Dynamo : machine à courant continu fonctionnant en générateur électrique.

Fastidieuse : qui cause de l'ennui.

Flou : dégradation d'une image qui rend les contours des objets peu nets, et donc difficile à localiser précisément.

Friction : frottement.

Homogène : qualifie une distribution uniformément répartie.

Impulsion : mouvement à se mouvoir qu'un corps donne à un autre par le choc.

Inclusion : action d'inclure (insertion).

Interpolation : insertion de valeurs intermédiaires dans une fonction.

Irradiance : soumission à un intense rayonnement.

Isotrope : se dit des corps qui ont les mêmes propriétés physiques dans toutes les directions.

Levier : bras rigide fixé à un point d'appui.

Médiane : valeur centrale lorsque l'on classe par ordre croissant un ensemble de valeurs.

Monochromatique : qui ne contient qu'une seule longueur d'onde.

Niveaux de gris : nuances de gris utilisées pour afficher à l'écran une image numérique.

Photodiode : composant semi-conducteur, photoélectrique ayant la capacité de détecter un rayonnement du domaine optique et de le transformer en signal électrique.

Pixel : le plus petit élément d'une image numérique ou d'un écran.

Pneumatique : relatif à l'air.

Spectre : ensemble des rayonnements de différentes longueurs d'onde.

Statique : qui ne change pas au cours du temps ($\neq$ dynamique).

Tachymétrie : mesure rapide de quelques choses.

Thermique : relatif à la chaleur.

Torique : se dit d'un objet qui a la forme d'un tore (surface fermée en forme d'anneau).

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS

RESUME

LISTE DES ABREVIATIONS ET SIGNES

TABLE DES ILLUSTRATIONS

GLOSSAIRE

SOMMAIRE

INTRODUCTION

PARTIE I : CADRAGE DES TRAVAUX ET GENERALITES SUR LE PROJET

CHAPITRE I : ETABLISSEMENT D'ACCUEIL ET METHODOLOGIE ADOPTEE

CHAPITRE II : CONTEXTE ET OBJECTIF

CHAPITRE III : GENERALITE SUR LE PROJET

PARTIE II : ETUDE ET ELABORATION BIBLIOGRAPHIQUE DU THEME

CHAPITRE IV : LES DIFFERENTS OUTILS COMPOSANT LE SYSTEME DE TRIAGE

CHAPITRE V : ETUDE EXPERIMENTALE

PARTIE III : INTERPRETATIONS DES RESULTATS DE L'EXPERIENCE ET MISE EN PLACE DU SYSTEME DE TRIAGE AUTOMATIQUE

CHAPITRE VI : INTERPRETATIONS

CHAPITRE VII : DESCRIPTION DU PROCESSUS ET REPRESENTATION DU PROJET

CONCLUSION

BIBLIOGRAPHIE ET SOURCES

ANNEXE

TABLE DES MATIERES

PAGE DE RENSEIGNEMENT

INTRODUCTION

De nos jours, l'utilisation des machines dans l'industrie ou dans la recherche est de plus en plus importante. En effet, l'automatisation des systèmes permet une conception plus rapide et plus sûre que certains ouvrages. Dans la recherche, l'utilisation de la robotique ne cesse d'accroître, car celle-ci permet de manipuler avec beaucoup de précision et donc de manière plus sûre divers produits ou objets, neutres ou dangereux.

De plus, la technologie est l'une des préoccupations prioritaires sur le développement des pays riches, le perfectionnement du secteur secondaire pour réduire la pauvreté. Ces points forts aux évolutions en technologie sont basés sur l'outillage. Ces outils sont plus performants et engendrent une courte durée de fabrication ainsi qu'un rendement maximal. L'objectif principal des industries de grande fabrication est surtout d'assurer une continuité de la production afin de produire plus pour satisfaire les consommateurs. Afin d'y parvenir, cela nécessite l'acquisition et l'utilisation des machines perfectionnées et qualifiées.

L'usine SOCOLAIT Antsirabe, qui base ses activités dans le domaine de la transformation laitière, illustre parfaitement ce cas. En effet, devant cet objectif de vouloir renforcer la production, l'usine a en grande partie besoin d'automatiser ses chaînes de production. C'est pourquoi nous l'avons choisi comme lieu de stage. Le présent travail est ainsi le fruit de nos études et de nos recherches liées à l'automatisation de la chaîne de production de l'Yaourt à boire.

Notre sujet s'articule ainsi sur le « **Système de triage automatique des produits mal bouchonnés de l'usine SOCOLAIT** ». Pour mener à bien notre étude, nous avons posé comme problématique : « **Comment améliorer le processus de production pour optimiser la qualité et la quantité de produits ?** »

L'étude présentée dans ce mémoire se divise en trois parties :

- ✓ la première consistera au cadrage et généralisation du projet ;
- ✓ la seconde se focalisera sur la présentation de la méthodologie adoptée et le dimensionnement des matériels utilisés ;
- ✓ l'interprétation et l'exposition du système fera l'objet de la troisième et dernière partie.

PARTIE I :
CADRAGE DES
TRAVAUX ET
GENERALITE SUR
LE PROJET

CHAPITRE I : ETABLISSEMENT D'ACCUEIL ET METHODOLOGIE ADOPTEE



Photo 1: **Site de l'usine SOCOLAIT**

I.1. Présentation de la société

I.1.1 Historique

La société commerciale laitière a été créée en 1970 par la société NESTLE S.A. En 1993, elle a été dénommée SOCOLAIT ou Société Commerciale Laitière. En avril 2012, elle a été rachetée par les nouveaux Actionnaires Adénia SA-CA (Société Anonyme avec Conseil d'Administration). En septembre 2014, elle a obtenu la certification HACCP, une démarche pour l'obtention de la certification ISO 22000 (obtenue récemment). Elles contribuent aux systèmes de management Qualité, Environnement et de la Sécurité des denrées alimentaires.

I.1.2 Situation actuelle de l'entreprise

L'effectif du personnel est de 270. La superficie de l'usine est de 55.000m² bâtie.

Son capital s'élève à 4.160.000.000 Ar.

I.1.3 Identification de l'entreprise

La société dénommée SOCOLAIT est une entreprise franco-malgache. Son statut et sa forme juridique est « Société Anonyme ». L'objet social est de fabriquer des produits alimentaires puis de les vendre en gros.

L'usine basée à Antsirabe, sur la route de Mandaniresaka, Boîte Postale : 216 Antsirabe 110, fabrique aujourd'hui 100% de gamme de produits frais à base de lait frais et à 33% d'une gamme de produit longue conservation.

I.1.4 Finalisation et Objectifs

Sa devise « Le goût du vrai » explique sa volonté de garantir aux clients que les produits fabriqués offrent une saveur exceptionnelle. L'objectif général de l'entreprise est de représenter la qualité des produits laitiers à Madagascar. Au niveau commercial, il est question d'accroître le chiffre d'affaire de l'entreprise.

I.1.5 Activités

L'entreprise catégorise ses activités sur l'approvisionnement, la transformation et la vente des produits finis. Ses principales productions sont le lait concentré sucré, le yaourt et le FARILAC. Son activité secondaire se base sur la fabrication des produits tels que les Fromages dur ou semi dur, l'Yaô, les snacks Krumps, les poudres de lait O'lait...

I.2. Déroulement du stage

I.2.1 Compte rendu du stage

Notre stage s'est déroulé à la société SOCOLAIT Antsirabe du 21 novembre au 16 décembre 2016 sous l'encadrement professionnel de Monsieur Hery Setra ROBENE.

Pendant notre séjour, nous avons été affectés au service technique et entretien au sein duquel nous avons pu prendre contact avec les employés et nous familiariser à l'usage des machines. Nous avons ainsi effectué plusieurs activités.

I.2.2 Les acquis

Les acquis du stage se résument aux points suivants :

- acquis professionnels et techniques :
 - respect de la ponctualité et de la discipline ;
 - familiarisation à l'usage des équipements industriels ;
 - identification des principaux problèmes liés au fonctionnement des machines ;
- développement de la faculté relationnelle dans le monde du travail ;
- mise en pratique et élargissement des connaissances acquises au sein de l'IESAV.

I.3. Méthodologie adoptée

I.3.1 Documentation

La première démarche consistait à la constitution d'une bibliographie centrée sur la production industrielle de Yaourt, notamment sur la machine conditionneuse nommée REMY pour avoir une idée de son fonctionnement.

Notre recherche s'est aussi portée sur tous les documents qui sont en lien direct avec notre domaine d'étude, c'est-à-dire, tout ce qui touche à l'électricité. Des livres qui nous ont servi pour mettre au point la forme de notre mémoire nous ont été de grande utilité. Nous nous sommes également référés aux cours dispensés à l'IESAV. Par ailleurs, comme la nouvelle technologie prend actuellement de plus en plus une place importante dans l'information, nous avons aussi utilisé ce moyen pour enrichir nos connaissances. Enfin, nous avons pu profiter des mémoires disponibles et des ouvrages de la bibliothèque de la Société.

I.3.2 Enquêtes

Pour renforcer nos données, nous avons effectués des interviews et entretiens auprès du responsable technique, du chef d'atelier, des agents du service technique et d'autres départements de la société. La discussion et les échanges avec nos professeurs de l'école et surtout avec notre encadreur ont complété notre investigation.

La société fabrique une variété de produits laitiers dans divers secteur de l'enceinte. Après une visite de l'usine, le secteur Yaourterie nous a été le plus captivant en relation avec notre parcours universitaire. Le chapitre suivant présentera notre secteur d'étude et justifiera notre sujet de mémoire.

CHAPITRE II : CONTEXTE ET OBJECTIF

II.1. La chaîne de production de l'Yaourt à boire

II.1.1 La bouteille en polyéthylène

Les bouteilles de conditionnement de l'yaourt sont fabriquées par la société elle-même dans une section de production appelée ARA. Elles sont fabriquées par une machine automatisée qui utilise l'énergie thermique et pneumatique. La matière première en forme de grain (le Petrochemical Metallocene PE) mélangée avec une poudre de dioxyde de titane pour la couleur blanche sera renversée dans un entonnoir, puis fondue en liquide par la chaleur et soufflée dans une moule ayant un format présélectionné correspondant à une bouteille. Les bouteilles seront ensuite traitées manuellement afin de vérifier les déformations. En attendant l'utilisation finale, elles seront conservées dans des sachets plastiques étanches.

II.1.2 La fabrication de l'Yaourt

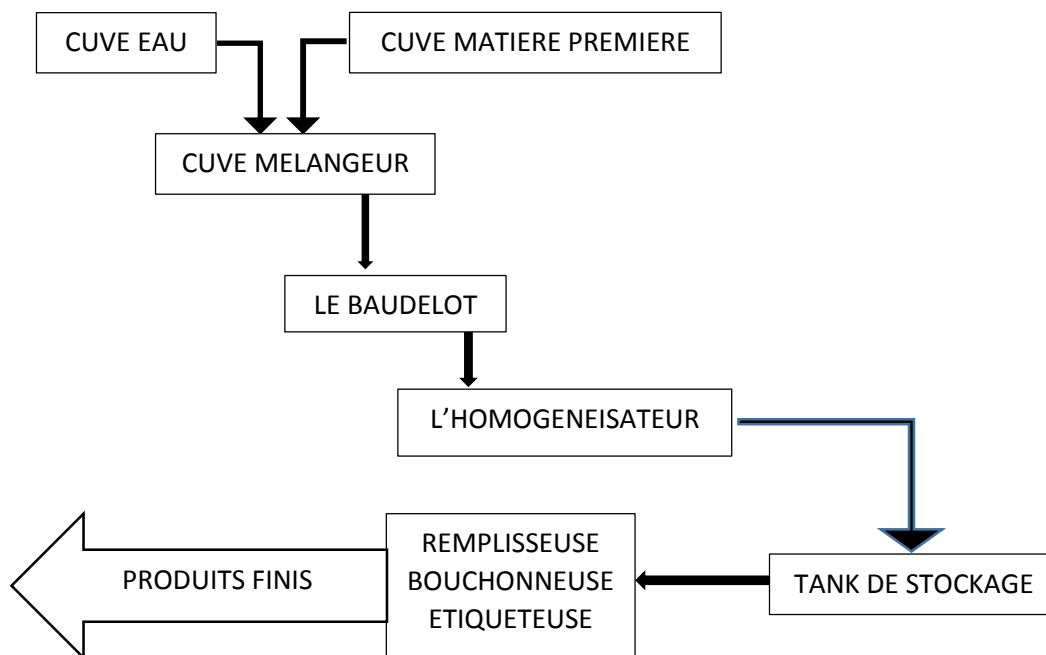


Figure 1 : Processus de fabrication de yaourt

II.1.3 Le conditionnement

Du secteur ARA vers le secteur de conditionnement Yaourt, les bouteilles sont placées une à une à la main sur un tapis roulant à l'entrée d'une machine appelée REMY pour le remplissage de yaourt. Les bouteilles passeront ensuite sur une étoile tournante où elles seront bouchonnées

et sortent sur un convoyeur qui les mènent à l'étiqueteuse. Une fois étiquetée, les produits seront mis sous carton et attendent la distribution.

II.1.4 La conservation

Avant la livraison dans les points de vente, les produits seront maintenus dans une chambre froide à une température de 4 à 6°C.

II.2. Les difficultés rencontrées par la chaîne

Le secteur Yaourt à boire doit produire en moyenne 26.000 bouteilles de yaourt par jour afin de satisfaire le besoin des consommateurs et de stabiliser l'économie de l'entreprise. Ce développement permanent, à un rythme accéléré, exige le plein rendement des machines. Par conséquent, arrivé à un certain régime, ses composants risquent de lâcher et perturberont le conditionnement des produits. Beaucoup sont les difficultés mais ce mémoire se concentrera surtout sur le domaine de sertissage des bouchons.

Les principaux facteurs entraînant la non-conformité sont :

- bavure sur la tête de la bouteille à cause d'une mal répartition de la température de la boîte de chauffe ou des fissures sur la surface des moules ;
- un manque de pression au niveau du sertissage ;
- défaut de capsule (venant du constructeur) ;
- défaillance de synchronisation entre la bouteille et la capsule ;
- desserrage des boulons et des vis au fur et à mesure que la machine en question accomplit des tours interminables ;
- usure de la tête de la sertisseuse, des billes d'attache ;
- perte d'élasticité du joint torique ;
- usure de la partie moletée de la tête sertisseuse ;
- défaillance du bonhomme d'arrêt ;
- usure des roulements ;
- détachement du ressort de niveau ;
- usure de la semelle en caoutchouc fixateur de bouteille.

L'intervention humaine ne peut pas toujours apporter des solutions surtout en pleine production, en ne citant par exemple que le contact direct avec le produit concerné ou la répétition d'une tâche de serrage le long d'une journée tout en vérifiant une par une les bouteilles sortant de la chaîne.

II.3. Solutions apportées ^[1]

Des études ont déjà été menées pour résoudre ces difficultés. Comme résultat, l'élaboration d'un plan de maintenance préventive et corrective s'avère être la solution la plus utilisée. Une maintenance vise à garder ou à rétablir un équipement dans un état spécifié afin que celui-ci soit en mesure d'assurer une fonction déterminée. Elle regroupe des actions de dépannage, de réparation, de réglage, de contrôle et de vérification des équipements matériels.

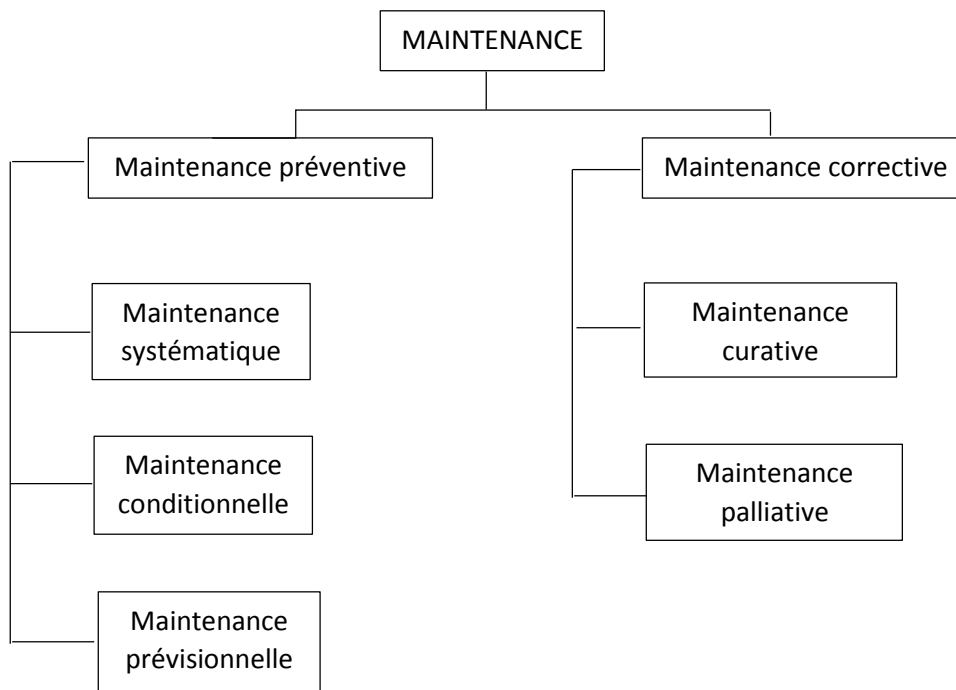


Figure 2 : **Type de maintenance**

- Maintenance systématique : exécutée à des intervalles de temps bien préétablis ou selon un nombre défini d'unité d'usage. Elle est accomplie même sans aucun contrôle antérieur de l'état de l'équipement et quel que soit l'état de fonctionnement actuel du matériel.
- Maintenance conditionnelle : basée sur une surveillance du fonctionnement intégrant les actions qui en découlent. Elle correspond à anticiper les défaillances futures en analysant l'état d'usure du matériel.
- Maintenance prévisionnelle : consiste à évaluer l'évolution de l'état de dégradation d'un équipement. Au-delà du seuil de dégradation, il est obligatoire de procéder à une opération de remise en état.

- Maintenance corrective : consiste à intervenir sur un équipement une fois que celui-ci est défaillant.
- Maintenance curative : réparation (durable) consistant en une remise à l'état initial.
- Maintenance palliative : dépannage provisoire d'un équipement, permettant à celui-ci d'assurer au moins une partie d'une fonction requise. Elle doit toutefois être suivie d'une maintenance curative dans les plus courts délais.

La maintenance industrielle est classée selon différents niveaux suivant leurs criticités d'interventions, les choix des techniciens et les lieux d'interventions. Les 5 niveaux de maintenances sont :

1^{er} niveau : il s'agit de contrôler et de réaliser des paramétrages du fonctionnement des machines. Ses contrôles peuvent donner suite à des interventions simples de maintenance ne nécessitant pas de démontage. En générale, la maintenance de 1^{er} niveau est intégrée à la conduite des machines.

2^e niveau : il s'agit d'une opération de maintenance préventive qui est régulièrement effectuée sur l'équipement. Ses opérations sont effectuées par de simples techniciens ; ces derniers suivent les instructions de maintenance qui définissent les opérations.

3^e niveau : il s'agit d'une opération de réglage et de réparation mécanique ou électrique mineur. Ces opérations sont réalisées par des techniciens spécialisés. Toutes les opérations se font avec l'aide des instructions de maintenance et d'outil spécifique.

4^e niveau : il s'agit d'une opération importante ou complexe réalisée par des techniciens bénéficiant d'un encadrement spécialisé avec des outillages complets ou sinon faisant appel à des ateliers spécialisés.

5^e niveau : il s'agit d'une opération de rénovation ou de reconstruction d'un équipement. Ces opérations entraînent le démontage de l'équipement pour son transport vers des ateliers de reconstruction, voire même chez le constructeur.

Après une analyse des faits, ce plan de maintenance implique un arrêt total de la production afin que le personnel puisse intervenir pour le contrôle, la vérification et la réparation si nécessaire.

Etant un apprenti en technique, nous savons que dans une industrie l'arrêt de la production ne doit se faire sous aucun prétexte car les conséquences affectent tant sur le plan

économique que sur le plan temporel. Nous avons donc pensé à élaborer un système permanent, capable d'intervenir à tout moment et de résoudre en temps réel, les détériorations provoquées par une défaillance de la machine concernée. La maintenance curative ne se fera qu'après le rendement atteint où les machines seront hors tension.

La mise en place d'un système de triage automatique des produits non conformes permettra à la société d'atteindre ses objectifs dans un délai minimal pour un rendement optimal.

II.4. Objectifs du projet et du système automatisé

L'automatisme est devenu une technologie incontournable aujourd'hui de par son utilisation dans tous les domaines de fabrication.

L'étude se focalise sur la chaîne de production de yaourt à boire. Durant notre stage au sein de la SOCOLAIT, nous avons consacré notre temps à l'analyse des problèmes rencontrés par le secteur de conditionnement de l'Yaourt et de remédier à ses difficultés. De ce fait, il est possible d'automatiser la chaîne afin d'atteindre les objectifs suivants :

- simplifier le travail du technicien au point d'une technologie robotique ;
- augmenter la productivité ;
- supprimer la répétition de tâches fastidieuses ;
- augmenter la répétitivité afin d'optimiser le rendement de production ;
- augmenter la sécurité en supprimant le risque de perte de vigilance de l'opérateur ;
- effectuer des travaux dangereux ;
- augmenter la vitesse de précision.

Autres objectifs :

- envisager d'autres projets réalisables grâce à ce projet ;
- éviter un contact direct du personnel pouvant infecter l'aliment.

Malgré ces méthodes déjà adoptées par l'entreprise, la chaîne rencontre encore des problèmes de conditionnement.

CHAPITRE III : GENERALITE SUR LE PROJET

III.1 Quelques définitions ^[2]

- Un système automatique est un système assurant des fonctions avec peu ou sans intervention humaine. C'est aussi l'étude du comportement des systèmes automatisés.
- Un système est un ensemble d'objets, reliés entre eux et dépendants, ayant pour fonction d'exercer sur quelque chose un ensemble d'actions coordonnées afin d'obtenir un certain résultat.
- L'automatique est la science qui étudie l'automatisme. C'est l'ensemble des disciplines scientifiques et techniques utilisées pour la réalisation ou la conception des systèmes fonctionnant sans l'intervention d'un opérateur humain.
- L'automatisme est un dispositif technologique qui remplace l'opérateur humain dans la conduite d'une machine, d'un processus ou d'une installation industrielle.
- Un processus c'est l'ensemble d'une installation assistée par un personnel. Il est caractérisé par des signaux d'entrée et de sortie et les lois mathématiques reliant les signaux.
- Un signal est une grandeur physique générée par un appareil ou traduite par un capteur.

III.2. Le convoyeur ^[3]

III.2.1 Asservissement

Sur les tapis roulant, les bouteilles sont instables. Pleines ou vides, elles peuvent perdre leur stabilité. La manutention des produits est un critère à ne jamais négliger pour éviter les renversements car un renversement donne suite à un enchaînement de complication des tâches et de perte de temps surtout pour une bouteille mal bouchonnée. Il sera ainsi nécessaire d'arrêter le processus pour le nettoyage et de remettre en place toutes les bouteilles renversées.

Cette perte de stabilité est principalement causée par une variation de la vitesse du système de convoyage. Ce facteur est appelé « perturbation » qui est une grandeur d'entrée non contrôlée agissant sur le système.

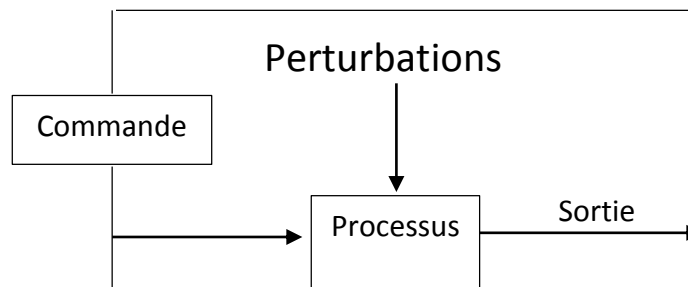


Figure 3: **Système avec perturbations**

L'introduction d'un réglage automatique dans le système de commande peut éliminer ces perturbations. Ce réglage est appelé « asservissement ». L'objectif est pour que le système atteigne le plus rapidement possible sa valeur de consigne et de la maintenir, quelles que soient les perturbations. L'asservissement d'un système consiste à mesurer en permanence la grandeur de sortie et à utiliser cette information pour corriger la grandeur d'entrée du processus afin de régulariser la vitesse du convoyeur. En d'autres termes, asservir un système consiste à le faire fonctionner dans une boucle fermée où la grandeur de retour est comparée à la grandeur d'entrée par élaboration d'un signal appelé écart ou erreur de vitesse. Ce signal sera ensuite adapté et amplifié afin de commander la partie opérative.

Le système sera dit « asservi » si et seulement si il comprend un dispositif qui va forcer les signaux de sortie à suivre au mieux les consignes.

➤ **Régulation et asservissement de la vitesse avec une protection du moteur et préservation de la mécanique**

Le système est formé par :

- Un régulateur constitué d'un comparateur et d'un correcteur ;
- Un amplificateur de puissance ;
- Un moteur à courant continu, décrit par les équations suivantes :

L'équation électrique : $u(t) = R.i(t) + e(t)$ (III.1), (l'inductance induit est négligeable, $L=0$)

L'équation mécanique : $C_m = J \frac{d\Omega(t)}{dt} + f\Omega(t)$ (III.2)

Les équations électromagnétiques : $C_m = k_i.i(t)$ et $e(t) = k_e.\Omega(t)$ (III.3)

Une génératrice (capteur de vitesse) telle que la tension de sortie $V_s(t) = k_s \cdot \Omega(t)$ (III.4)

Variable	Désignation
$u(t)$	tension d'alimentation du moteur
$i(t)$	courant parcourant l'induit du moteur
R	résistance de l'induit
$e(t)$	force contre électromotrice
C_m	couple moteur
J	inertie totale ramenée sur l'arbre du moteur
$\Omega(t)$	vitesse angulaire du moteur
f	coefficient de frottement visqueux
k_i, k_e	coefficients de proportionnalité
K_s	coefficient de proportionnalité de la génératrice

Tableau 1: **Variable et désignation**

Méthode :

La tension de sortie sera mesurée, par exemple, à l'aide d'une dynamo tachymétrique. La différence entre la valeur de sortie et celle de la consigne sera établie comme la tension d'erreur $\mathcal{E}$ qui sera amplifiée d'une valeur G_0 par le régulateur avant d'attaquer l'amplificateur de puissance.

Le régulateur agit sur le variateur en fonction de l'écart qui existe entre la référence et le retour vitesse. Il y a trois types d'action de régulation :

- proportionnelle, qui corrige instantanément tout écart de la grandeur à régler mais est limitée par le critère de stabilité et ne met pas en valeur la précision ;
- intégrale, associée à l'action proportionnelle, permet d'éliminer l'erreur statique en régime permanent ;
- dérivée, utilisée pour régler des variables lentes.

Il est aussi indispensable de protéger le moteur contre les surintensités à cause des surcharges mécaniques et/ou de l'accélération au démarrage, c'est-à-dire si le variateur délivre une tension trop importante au moteur, l'intensité n'est limitée que par la résistance de l'induit. En générale $U = E + RI$ (III.5) or au démarrage $E = 0V$ donc $I = U/R$.

Exemple :

Soit un moteur de caractéristiques : $U = 160 \text{ V}$, $I = 10 \text{ A}$, résistance d'induit $= 1 \Omega$.

Au démarrage si 160 V sont appliqués, alors $I = 160 \text{ A} \implies$ destruction du moteur.

Le schéma du variateur sera donc complété d'un dispositif limitant le courant d'induit du moteur. Ce limiteur agit en comparant le courant réel avec le courant limite que s'est fixé l'utilisateur. Selon les applications et le moteur utilisé, le courant limite peut être de 1,2 à 2 fois le courant nominal du moteur.

Illustration :

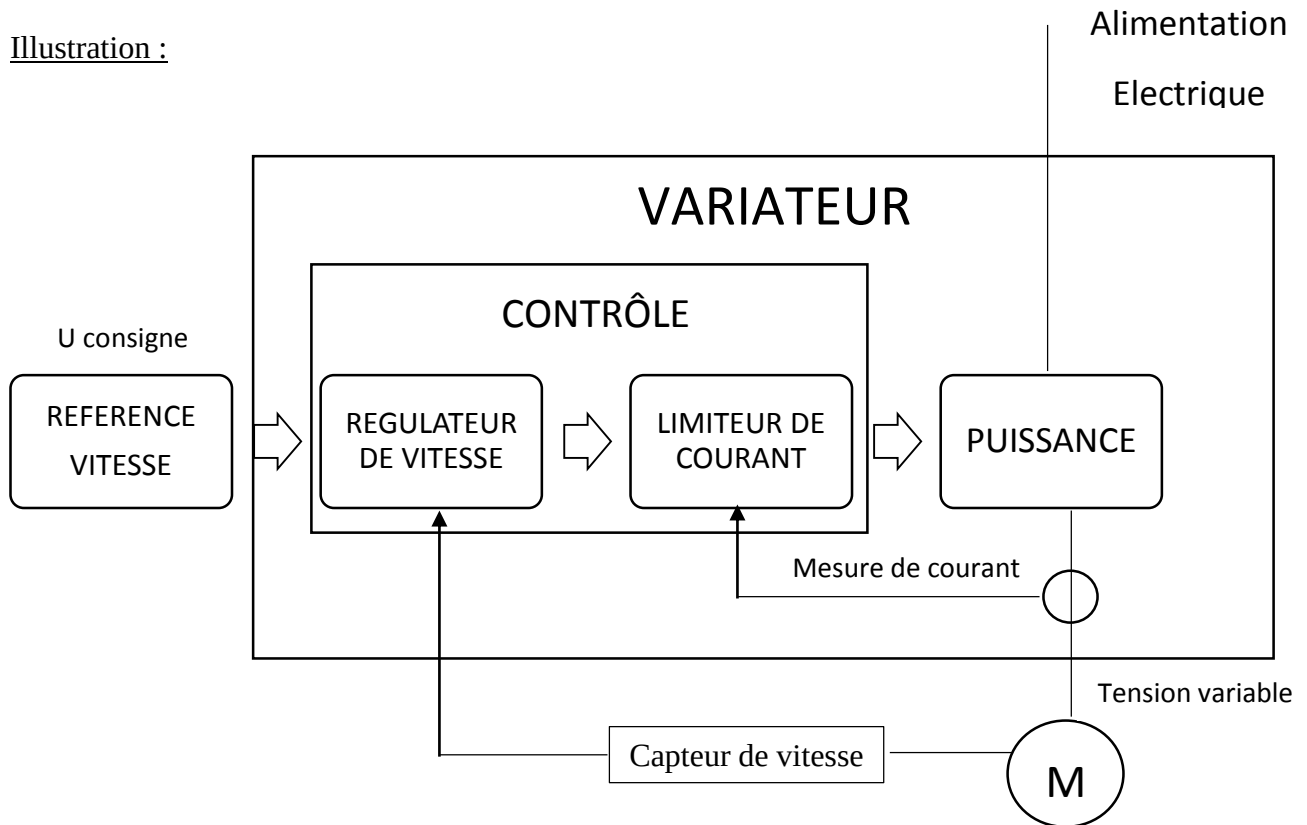


Figure 3 : **Structure générale de l'asservissement de la vitesse**

Pour compenser cette régulation, il est aussi utile de définir quatre critères permettant de mesurer les performances d'un système asservi en fonction du régime du système (transitoire ou permanent).

➤ Régime permanent :

Le régime permanent correspond au moment où le signal de sortie est établi. Il sera ici nécessaire de maintenir une vitesse constante quelles que soient la charge, la température ou quelconques fluctuations.

- La précision :

La précision est mesurée par l'écart entre la vitesse souhaitée par l'opérateur et la vitesse réelle du moteur. C'est l'aptitude du système à atteindre une valeur visée et sa capacité à atteindre la consigne avec exactitude le plus rapidement possible.

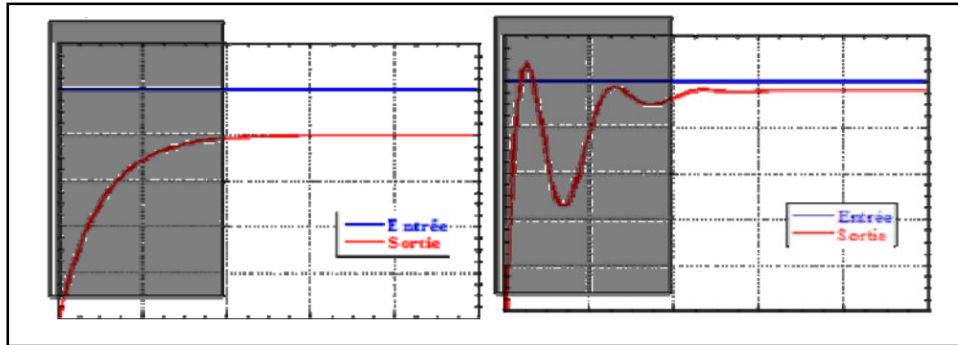


Figure 4: Comportement d'un système du point de vue précision

- Stabilité

Il ne faut pas que la vitesse oscille autour de son point de fonctionnement, notamment après une mise en vitesse ou après une perturbation. La stabilité est donc le comportement du système à converger vers une valeur constante pour $t \rightarrow +\infty$.

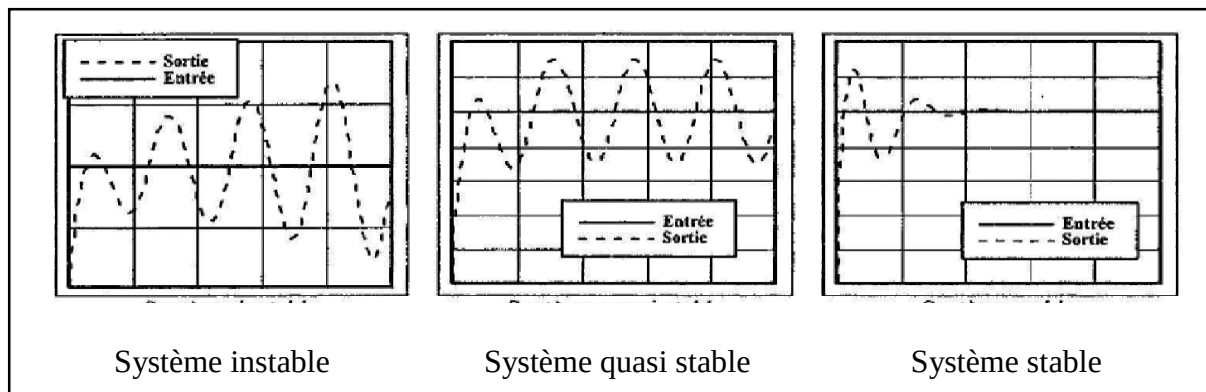


Figure 5: Comportement d'un système du point de vue stabilité

➤ Régime transitoire

- Rapidité

La rapidité est caractérisée par le temps de réaction du système à l'apparition d'une perturbation (une variation brusque de la grandeur d'entrée).

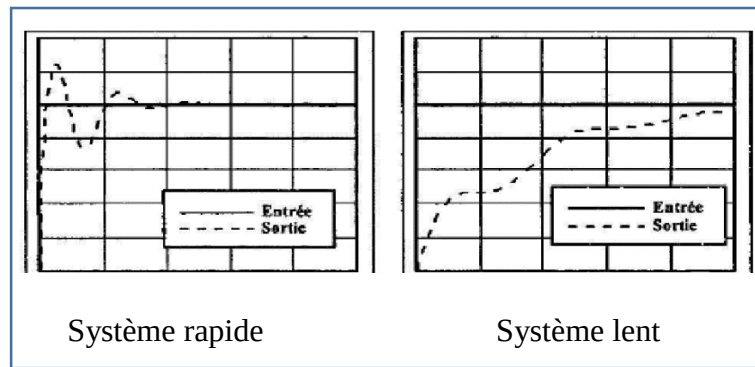


Figure 6: **Comportement d'un système du point de vue rapidité**

- Amortissement

L'amortissement est caractérisé par le rapport entre les amplitudes successives des oscillations de la sortie. Plus ces oscillations s'atténuent rapidement, plus le système est dit amorti.

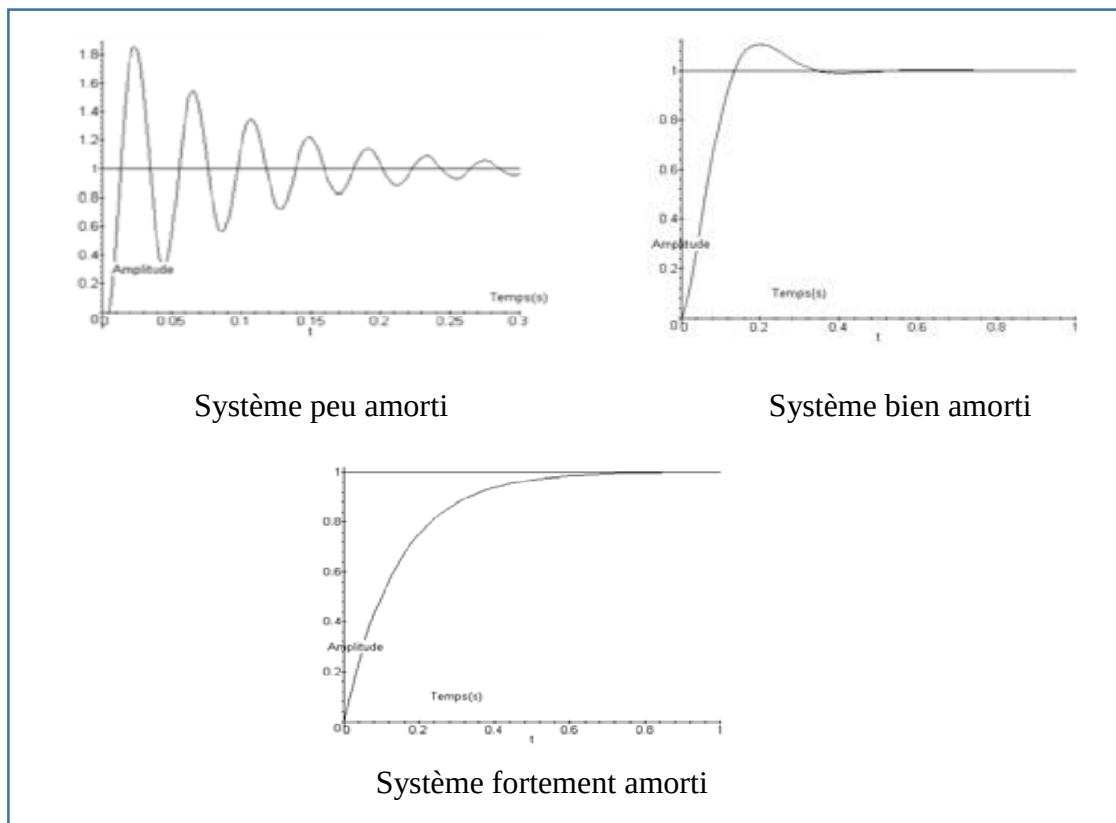
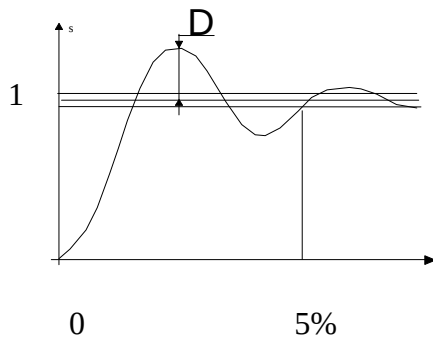


Figure 7: **Comportement d'un système du point de vue amortissement**

L'amortissement peut-être défini par deux critères : le dépassement (qui caractérise l'amplitude maximale des oscillations) et le temps de réponse à $n\%$ (axe des abscisses). Dans les grandes industries, un comportement oscillant est à éviter et tout dépassement est inacceptable.



D : dépassement.

Figure 8: **Annexe figure 5**

Le projet se focalise en grande partie sur l'image et la couleur pour détecter la présence ou non de bouchon.

III.3. L'image, la couleur et la lumière

III.3.1 Lumière et onde lumineuse ^[4]

Dans le spectre de la lumière blanche, chaque couleur correspond à une longueur d'onde. Les couleurs sont des ondes lumineuses réfléchies par les objets et renvoyées vers l'œil. Elle est émise par une source et reçue par un capteur. L'acquisition d'image est une mesure spatiale d'une interaction entre une onde et la matière.

Les ondes lumineuses sont des ondes électromagnétiques, décrites par un champ électrique $\vec{E}$ et un champ magnétique $\vec{B}$, qui vérifient l'équation d'onde suivante dans un milieu transparent, homogène et isotrope :

$$\Delta U - \left(\frac{1}{v^2}\right) \left(\frac{\partial^2 U}{\partial t^2}\right) = 0 \quad (\text{III.6})$$

avec $U = E$ ou B et v est la vitesse de propagation.

L'analyse de Fourier permet de considérer l'onde $U(M,t)$ émise par une source ponctuelle, comme une somme de fonctions sinusoïdales du temps de pulsation ω .

La forme suivante montre la décomposition de $U(M,t)$ en ondes monochromatiques :

$$U(M,t) = A(M) \cos(\omega(t - \tau_M) - \varphi_s) \quad (\text{III.7})$$

$A(M)$ est fonction de M (l'amplitude de l'onde) ;

ω est la pulsation. Elle est reliée à la période T et à la fréquence f de la radiation par les

relations:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad \text{et} \quad f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi} \quad (\text{III.8})$$

τ_M est le temps mis par la lumière pour se propager d'un point S à un point M.

$\omega\tau_M + \phi_S$ est la phase au point M.

Soit 'l' l'abscisse curviligne le long du rayon lumineux allant de S à M et $\vec{P}$ le vecteur de propagation de l'onde. Le retard τ_M s'exprime alors :

$$\tau_M = \int_0^{\tau_M} dt = \int_S^M \frac{dt}{dl} dl = \int_S^M \frac{1}{v(P)} dl = \frac{1}{c} \int_S^M n(P) dl \quad (III.9)$$

où c est la célérité.

Un chemin optique est une mesure en unité de longueur du temps mis par la lumière pour se propager d'un point source à un point d'observation. Le long du trajet SM, ce chemin s'exprime par :

$$L_{SM} = \int_{SM} n(P) dl = c \tau_M \quad (III.10)$$

L'expression de l'onde lumineuse devient :

$$U(M,t) = A(M) \cos \left(\omega t - \omega \frac{L_{SM}}{c} - \phi_S \right) \quad (III.11)$$

En introduisant la longueur d'onde dans le vide λ_0 , la décomposition devient :

$$U(M,t) = A(M) \cos \left(\omega t - 2\pi \frac{L_{SM}}{\lambda_0} - \phi_S \right) \quad (III.12)$$

L'utilisation du retard de phase ϕ_M peut alléger l'écriture :

$$U(M,t) = A(M) \cos (\omega t - \phi_M) \quad (III.13)$$

où $\phi_M = \phi_S + 2\pi \frac{L_{SM}}{\lambda_0}$

III.3.2 Traitement d'image ^[5]

Plusieurs capteurs peuvent être employés pour obtenir une image puis sa couleur, par exemple en utilisant une webcam, un appareil photo numérique, un module caméra pour Arduino ou tant d'autres modules. La capture de l'image se fait dans un intervalle de temps très court car comme dans le présent projet, les bouteilles roulent à un certain rythme selon la vitesse attribuée au convoyeur qu'en passant au-dessous des capteurs, l'image prise pourrait ne pas être assez claire pour identifier la couleur. Un exemple de ce défaut est le bruit qui apparaît quand une photo est sous-exposée, c'est-à-dire qu'il n'y avait pas assez de luminosité lors de la prise de la photo,

ou la prise a été faite durant un bougé. Ce bruit se manifeste par de petites fluctuations aléatoires des niveaux de gris. Pour cela, il convient donc de diminuer la vitesse du système de convoyage ou de procéder à une série de débruitage d'image. Cette dernière suggestion va dans le cas pour l'utilisation d'une webcam ou d'un appareil photo numérique, nécessitant une rapidité maximale sur une précision en valeur.

Elimination du bruit par filtre médiane

Pour enlever le bruit dans les images, il convient de faire une modification aux valeurs de pixels, plus précisément de remplacer la valeur du pixel par la valeur médiane (valeur centrale d'un classement).

Les pixels d'une image

Une image numérique en niveau de gris¹ est un tableau de valeurs. Chaque case de ce tableau, qui stocke une valeur est dite « un pixel ». En notant n le nombre de lignes et p le nombre de colonnes de l'image, on manipule ainsi un tableau de $n \times p$ pixels.

La figure ci-dessous suppose une visualisation d'un tableau carré avec $n = p = 240$, ce qui représente $240 \times 240 = 57\,600$ pixels. Les appareils photos numériques peuvent enregistrer des images beaucoup plus grandes, avec plusieurs millions de pixels.

¹ Une image en niveaux de gris autorise un dégradé de gris entre le noir et le blanc. La valeur 0 correspond au noir, et la valeur 255 correspond au blanc. Les valeurs intermédiaires correspondent à des niveaux de gris allant du noir au blanc.

Méthode de débruitage :

Voici un exemple de voisinage de 9 pixels prélevé dans une image bruitée supposée à 57 600 pixels.

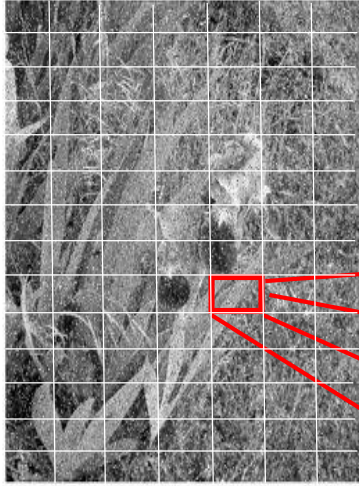


Photo 2: **Image bruitée**

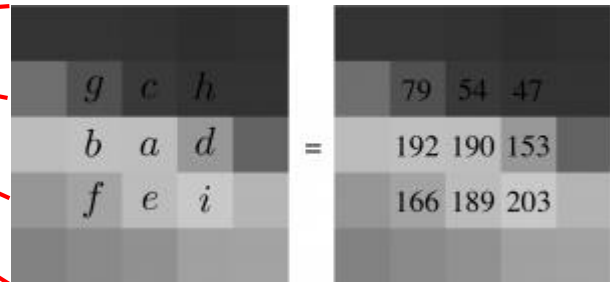


Photo 3: **Exemple de voisinage de 9 pixels**

- déterminer la valeur correspondant à chaque niveau de gris ;
- classer ces valeurs par ordre croissant afin d'établir la valeur médiane :
47, 54, 79, 153, 166, 189, 190, 192, 203. La médiane des neuf valeurs a,b,c,d,e,f,g,h,i est la cinquième valeur de ce classement c'est-à-dire 166.
- remplacer la valeur de *a* par la valeur médiane ;

Remarque : l'opération présentée ici est seulement un exemple typique pour 9 pixels du tableau. Il faudra traiter tous les pixels pour obtenir une image totalement débruitée. Matlab offre de nombreuses possibilités de traitement avec une palette très fournie d'outils prêts à l'emploi. Les principales fonctions de traitement d'images sous Matlab se trouvent dans la boîte à outils (toolbox) image processing (traitement d'images). L'aide sur cette boîte à outils est obtenue en tapant `help images` en ligne de commande de Matlab.

Les figures suivantes comparent le débruitage total obtenu en appliquant le filtrage médiane par 9 pixels voisins :

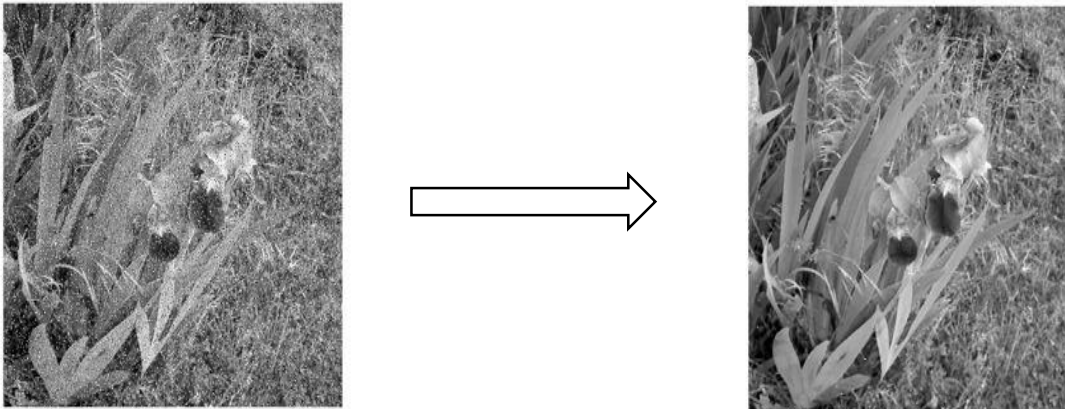


Photo 4 : **Image après filtrage**

L'image obtenue après filtrage sera ensuite posée comme image source. Elle sera la référence de toutes les images bruitées passant au-dessous des capteurs d'image ainsi il sera plus facile pour le capteur d'attribuer une couleur.

Le traitement d'image permet de modifier le contenu des images afin de tirer l'information utile pour une application particulière. L'asservissement du tapis roulant sécurisera le transport des produits tout le long de la chaîne. Le chapitre suivant détaillera tous les dispositifs contribuant à la conception du projet.

PARTIE II :
ETUDE ET
ELABORATION
BIBLIOGRAPHIQUE
DU THEME

L'étude se centralise sur le bouchonnement des produits. Le système à mettre en place sera capable de reconnaître si une bouteille porte bien son bouchon sur son dessus et que si ce bouchon est serré correctement. L'existence ou non de bouchon est détectée par un module de couleur et le serrage par une fin de course posée juste au-dessus de la bouteille. Des bras robotiques sont installés dans le projet en jouant le rôle de sertisseuse. Celles qui ne respectent pas la norme sont déviées hors de la voie principale par des fourchettes rattachées à des servomoteurs. Le système est contrôlé par quatre cartes Arduino ; les produits circuleront sur des tapis roulant.

CHAPITRE IV : LES DIFFERENTS OUTILS COMPOSANT LE SYSTEME DE TRIAGE

L'outil de base est la carte Arduino où tous les composants électroniques et électriques seront branchés. Il est donc utile de détailler chacun des outils énoncés ci-dessus afin de comprendre ses fonctionnements pour les combiner à créer un seul système.

IV.1. Arduino ^[6]

La carte Arduino est une carte électronique programmable basée sur un microcontrôleur et équipée de divers éléments qui facilitent sa mise en œuvre.

- Constitution de la carte

Arduino Mega 2560

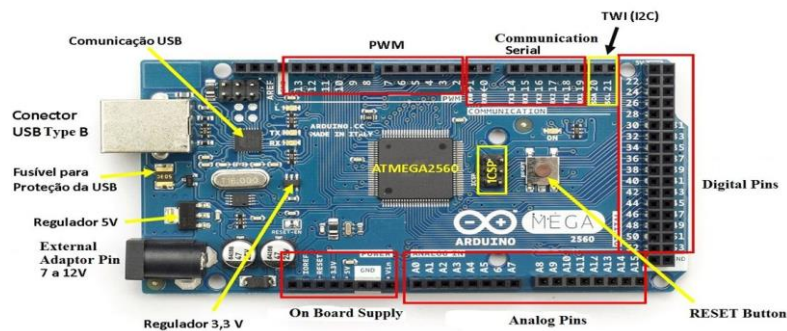


Photo 5: Carte Arduino Méga

- Le microcontrôleur

Un microcontrôleur est un circuit intégré ayant pour rôle d'analyser et de produire des signaux électriques pour effectuer des tâches très diverses. C'est aussi le cerveau de la carte destiné pour recevoir le programme à créer sur le logiciel et qui sera stocké dans sa mémoire puis exécuté.

- Les connectiques

- Entrées ou sorties numériques

Elles peuvent être connectées à plusieurs entrées ou sorties numériques selon le type de carte avec une tension de 0 ou 5V. Ce sont les broches dites numériques « 0 ou 1 » ou « tout ou rien ». Elles sont connectées à des broches du microcontrôleur et vont servir pour tester le matériel.

- Entrées analogiques

Elles peuvent être connectées à plusieurs entrées analogiques selon le type de carte avec une tension qui varie entre 0 à 5V qui sera convertie en numérique via sa CAN.

- Port USB

Ce port va relier la carte Arduino et l'ordinateur. Il va alimenter la carte et faire la communication des données entre eux au niveau des ports RX et TX.

➤ Visualisation

Les quatre points blancs marqués RX, TX, ON, L sont des LEDs qui jouent le rôle de témoin comme suit :

- le LED ON signifie que la carte Arduino est alimentée ;
- le LED RX ou TX signifie que la carte Arduino reçoit ou transmet le programme ou les données qui viennent d'un port série ou USB. Ils servent à observer l'activité en cours sur la voie série. Le téléchargement du programme dans le microcontrôleur se fait par cette voie où lors du chargement, le LED clignote.
- le LED L est un LED d'essai. Lors du branchement de la carte sur l'ordinateur, il clignote quelques secondes.

➤ Types de carte

Il y a plusieurs types de carte Arduino, programmées en un même langage et même logiciel, à en citer l'Arduino UNO, NANO, MEGA... Son choix dépend du besoin de chacun. Dans la présente étude, l'Arduino MEGA sera plus adéquate et ayant les caractéristiques comme suit :

- | | |
|---|--------------------------------|
| - version: Rev. 3 | - cadencement: 16 MHz |
| - alimentation: via port USB ou 7 à 12 V
sur connecteur alim | - 3 ports série |
| - microprocesseur: ATmega2560 | - bus I2C et SPI |
| - mémoire flash: 256 kB | - gestion des interruptions |
| - mémoire SRAM: 8 kB | - fiche USB B |
| - mémoire EEPROM: 4 kB | - dimensions: 107 x 53 x 15 mm |
| - 54 broches d'E/S dont 14 PWM | |
| - 16 entrées analogiques 10 bits | |
| - intensité par E/S: 40 mA | |
-

IV.2. Module de couleur ^[7]

Pour la détection de couleur, l'option pour un module du type TCS3200 paraît fiable et à faible coût. Il est représenté par la figure ci-dessous :

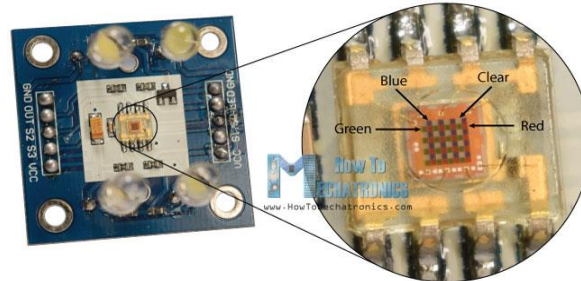


Photo 6: **Module TSC3200**

TCS3200 Color Sensor est un détecteur de couleur complet. Il porte une puce de capteur RGB du type TAOS TCS3200 et 4 LEDs blancs. Le TCS3200 peut détecter et mesurer une gamme presque illimitée de couleurs visibles. Il est programmé pour une lecture de bande test, le tri par couleur, la détection de lumière ambiante et la correspondance des couleurs.

TCS3200 est un convertisseur programmable de lumière colorée en fréquence. Il peut filtrer les données RVB de la lumière source et les convertir en une onde carrée avec une fréquence directement proportionnelle à l'intensité de la lumière. Ce capteur dispose de 4 LEDs blancs et attribue une fréquence en fonction de la couleur en face. Ces LEDs sont des photodiodes avec filtres de couleur. Il intègre une gamme de photodiodes 8X8, 16 photodiodes ont des filtres bleus, 16 photodiodes ont des filtres verts, 16 photodiodes ont des filtres rouges et 16 photodiodes sont claires (sans filtres).

TCS3200 possède une broche d'alimentation pouvant fonctionner de 2,7V à 5,5V et n'a seulement qu'une sortie. Les restes des fils sont ses entrées.

➤ Câblage avec Arduino :

La VCC est connectée à la ligne 5V ; Ground (Gnd) se connecte à la masse. Tous les autres fils sont présentés dans le programme, ils sont à connecter aux « digital input » de l'Arduino, exemple au pin 8 à 13.

➤ Fonctionnement avec l'Arduino :

Le programme doit déterminer s'il y a un objet devant le capteur. S'il y a un objet présent, il doit détecter de quelle couleur il s'agit. Il y aura quelques lectures répétées, mais il s'agit d'assurer la détection si quelque chose est en mouvement.

➤ Principe de détection de couleur :

Le capteur va prendre une mesure avec le filtre clair et ensuite la comparer avec les autres filtres de couleur (rouge, vert, bleu) afin de déterminer quelle couleur est en face.

➤ Branchement avec l'Arduino

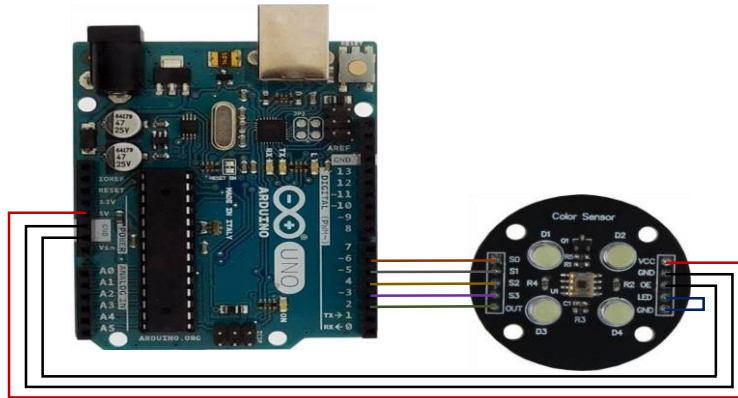


Photo 7: **Branchement du TCS3200 avec l'Arduino**

➤ Tableau de correspondance :

Arduino	Module	Description
6	S0	Entrées de sélection de la fréquence de sortie
5	S1	
4	S2	Entrées de sélection de type photodiode
3	S3	
2	OUT	Fréquence de sortie
GND	GND	Alimentation terre
5V	VCC	Tension d'alimentation

Tableau 2: **Correspondance entre TCS3200 et Arduino**

➤ S0, S1, S2, S3

TCS3200 peut émettre une fréquence d'onde carrée différente dépendant de la couleur et de l'intensité de la lumière. La fréquence de sortie est de 2HZ ~ 500KHZ. Différents facteurs d'échelle de fréquence de sortie peuvent-être obtenus par différentes combinaisons de S0 et S1 et de type différent de photodiode par différentes combinaisons de S2 et S3 comme l'indique le tableau suivant :

S2	S3	TYPE DE PHOTODIODE
LOW	LOW	ROUGE
LOW	HIGH	BLEU
HIGH	LOW	Effacer (pas de filtre)
HIGH	HIGH	VERT

S0	S1	ÉCHELLE DE FRÉQUENCE DE SORTIE (fo)
LOW	LOW	Éteindre
LOW	HIGH	2%
HIGH	LOW	20%
HIGH	HIGH	100%

Tableau 3: **Sélection de filtre**

➤ Description schématique fonctionnelle

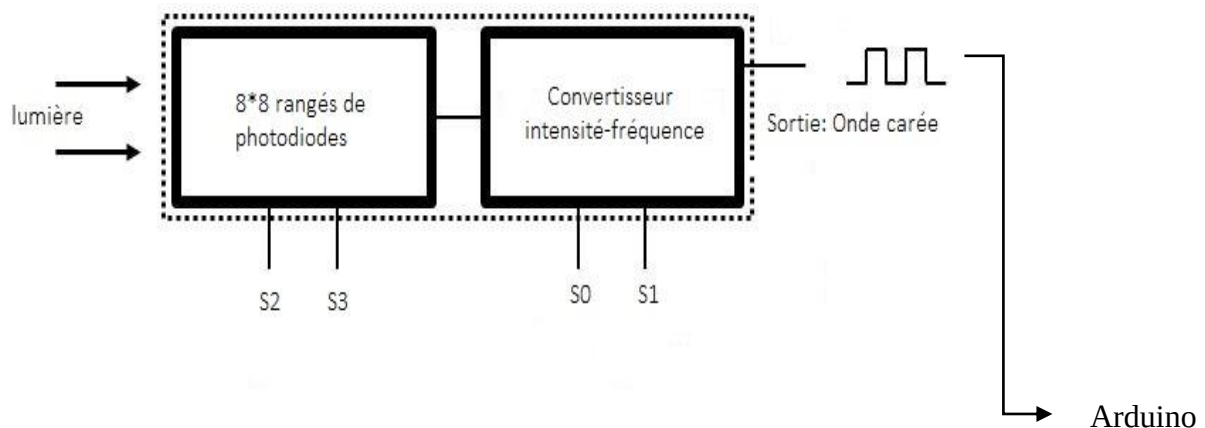


Figure 9: **Principe de détection de couleur du TCS3200**

IV.3. Servomoteur ^[8]

➤ Représentation

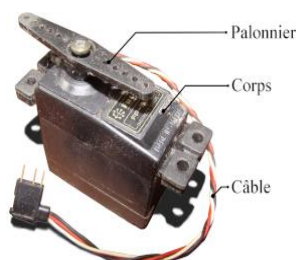


Photo 8: **Vue en entier d'un Servomoteur**

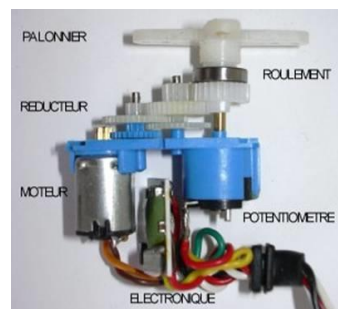


Photo 9: **Vue éclatée d'un Servomoteur**

➤ A propos et fonctionnement

Le principal élément constituant un bras robotique est le servomoteur.

Le servomoteur est la concaténation de moteur et d'asservissement. Le moteur comporte une électronique intégrée (généralement un contrôleur en boucle fermée) qui asservit la position du moteur.

Les servomoteurs sont des moteurs capables de maintenir une position à un effort statique. Cette position est vérifiée en permanence et est corrigée en fonction de la mesure attribuée. C'est un système motorisé capable d'atteindre des positions prédéterminées puis de les maintenir quelles que soient les perturbations.

Le servomoteur possède un système électronique qui convertit le signal numérique en un angle. L'action sera produite sur le palonnier (voir photo 8) grâce au moteur électrique à courant continu dans le servomoteur.

Le servomoteur est alimenté avec 3 conducteurs :

- un rouge : branché au 5V ;
- un noir ou marron : branché à la masse ;
- un orange, jaune ou blanc : qui est le conducteur d'entrée du signal de commande 0-5V. C'est dans cette entrée qu'est envoyé le signal numérique sous forme d'impulsions. Ce conducteur doit-être relié à l'Arduino sur un pin PWM.

Pour que le servomoteur reste à une position donnée, il faut transmettre toutes les 20 millisecondes (soit à une fréquence de 50Hz) une impulsion d'une longueur comprise entre 1 et 2 millisecondes.

- une impulsion de 1 milliseconde correspond à un angle de 0° (A sur l'illustration).
- une impulsion de 2 millisecondes correspond à un angle de 180° (B sur l'illustration).
- en envoyant une impulsion d'une longueur intermédiaire, on obtient des angles différents, 90° avec une impulsion de 1.5 milliseconde par exemple (C sur l'illustration).

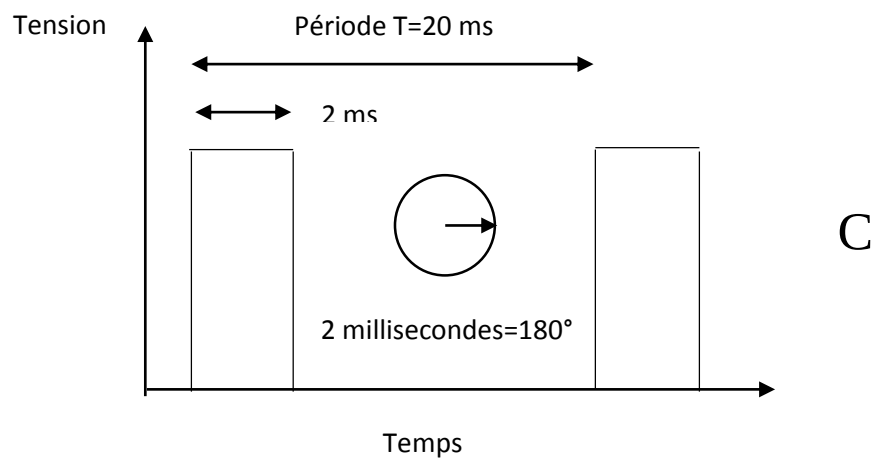
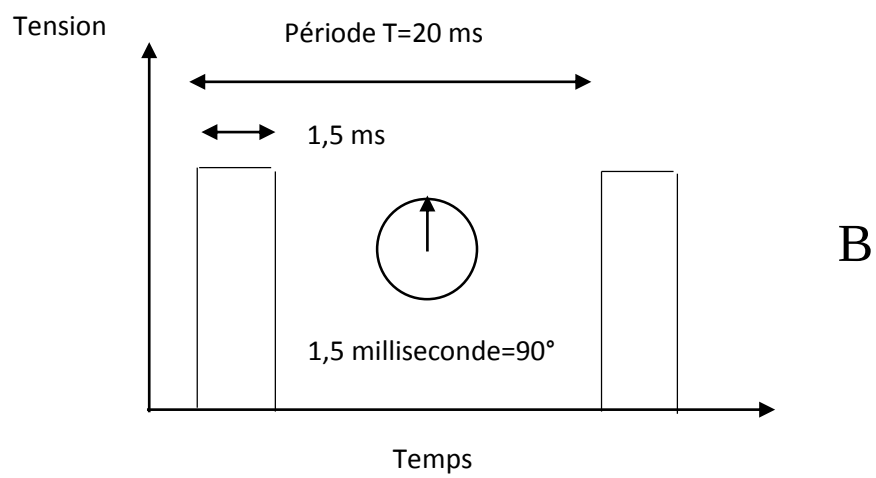
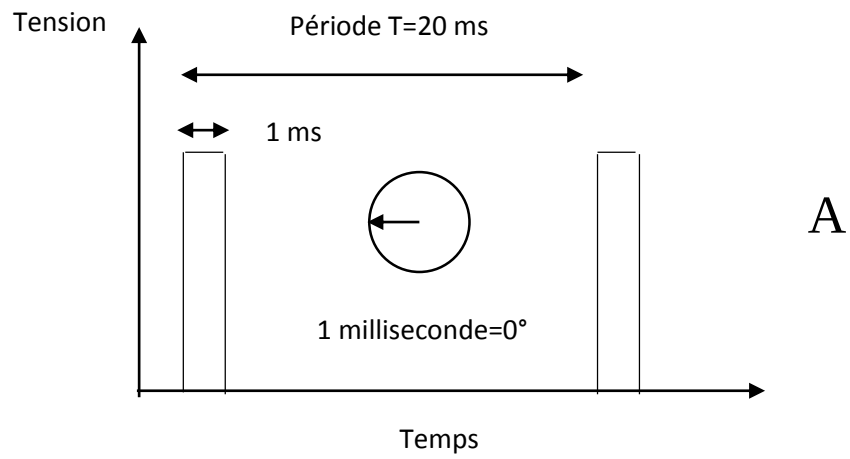


Figure 10: **Illustrations du signal de contrôle**

➤ Branchement avec l'arduino

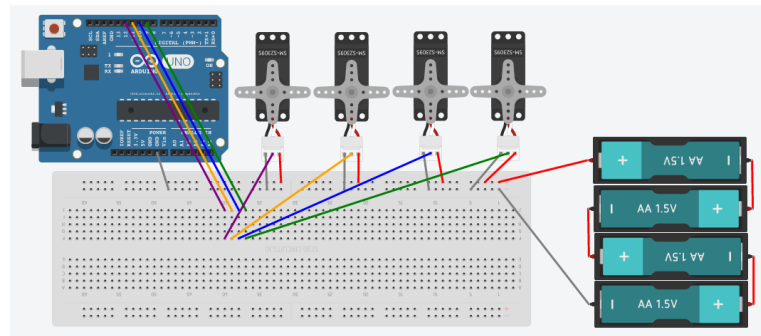


Photo 10: Vue prototypage du branchement des Servomoteurs sur l'Arduino

IV.4. Interrupteur de fin de course ^[9]

➤ Fonction

Un microrupteur type "microswitch" ou "fin de course" est un interrupteur miniature utilisé pour les capteurs de contact, pour les fins de courses ou autres.

C'est un bouton poussoir agissant par un contact mécanique direct d'un objet extérieur sur le levier du bouton. Il coupe ou établit un circuit lorsqu'il est actionné par un mobile. Il transforme cette action physique en une fermeture ou ouverture d'un contact électrique. Ce capteur peut prendre alors deux états :

- enfoncé (en logique positive l'interrupteur est fermé) ou
- relâché (en logique positive l'interrupteur est ouvert).

➤ Constitution

Les interrupteurs de position sont constitués de trois éléments de base :

- le dispositif d'attaque ;
- la tête de commande ;
- le corps équipé de contacts électriques.

Un microswitch est aussi généralement composé de 3 pattes :

- ▶ Com (pour Common ou Commun) ;
- ▶ NC ou NF (pour NClosed ou Normalement Fermé) ;
- ▶ NO (pour NOpened ou Normalement Ouvert).

La patte commune est utilisée dans tous les cas. Le choix de la seconde patte se fait selon les besoins pour avoir un circuit complet. En choisissant la patte NO et sans presser sur le poussoir, le circuit est ouvert ; avec NC, le circuit est fermé quand il n'y a pas de contact.

➤ Représentation



Photo 11: **Interrupteur de fin de course**

➤ Branchement sur l'Arduino

- ▶ la patte Com à la masse (GND, 0V) ;
- ▶ la patte NO ou NC à la tension nominale (Vcc, 5V).

Ce chapitre a mis en valeur le principe de fonctionnement de chaque dispositif contribuant à la réalisation de ce projet. Il a aussi permis de répondre à la question : « Comment les combiner à former un seul système ? ». Sa mise en œuvre sera détaillée dans le chapitre qui suit.

CHAPITRE V : ETUDE EXPERIMENTALE

V.1. Dimensionnement du capteur de couleur

Plusieurs essais ont été accomplis sur le module TCS3200 durant l'étude, ainsi divers résultats sont obtenus.

V.1.1 Etude pratique (Bouteille à capsule bleue)

- ✓ Cas 1 : le module a été placé dans un couvercle noir pour réduire la zone de propagation de l'onde comme le montre la figure suivante :



Photo 12: Le TCS3200 couvert

- Le premier essai a été fait dans la journée isolée de l'extérieur.
 - Le deuxième essai, lors d'une journée très ensoleillée, à l'extérieur, en plein air.
 - Le troisième essai, durant la nuit, isolée de l'extérieur, sans aucune luminosité (lampe éteinte).
 - Le quatrième essai, durant la nuit, isolé de l'extérieur, deux lampes allumées.
- ✓ Cas 2 : même type d'essai que le précédent mais avec un module sans couvercle

V.1.2 Résultats

Cas 1			
Essai 1	Essai 2	Essai 3	Essai 4
R= 107 G= 130 B= 79	R= 0 G= 0 B= 0	R= 422 G= 327 B= 132	R= 118 G= 116 B= 68
R= 108 G= 130 B= 80	R= 2 G= 2 B= 0	R= 428 G= 327 B= 134	R= 117 G= 119 B= 65
R= 113 G= 136 B= 75	R= 0 G= 0 B= 0	R= 415 G= 328 B= 139	R= 117 G= 120 B= 66
R= 110 G= 133 B= 77	R= 0 G= 0 B= 0	R= 419 G= 327 B= 140	R= 120 G= 119 B= 65

Cas 2			
Essai 1	Essai 2	Essai 3	Essai 4
R= 59 G= 81 B= 57	R= 0 G= 0 B= 0	R= 135 G= 111 B= 47	R= 64 G= 62 B= 31
R= 58 G= 80 B= 56	R= 0 G= 0 B= 0	R= 131 G= 106 B= 45	R= 62 G= 57 B= 30
R= 60 G= 83 B= 58	R= 2 G= 2 B= 0	R= 137 G= 106 B= 51	R= 63 G= 60 B= 30
R= 57 G= 82 B= 56	R= 2 G= 2 B= 0	R= 133 G= 108 B= 52	R= 60 G= 60 B= 32

Tableau 4: Résultat expérimental sur le TCS3200

V.2. Dimensionnement du convoyeur ^[10]

- Calcul général autour des moteurs et leurs charges

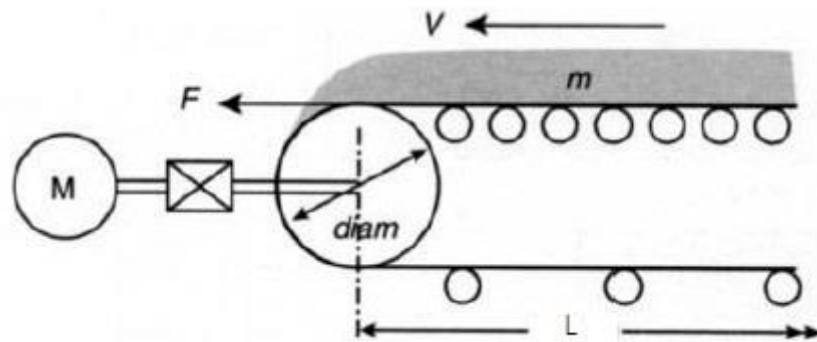


Figure 11: Système de convoyage horizontal

- Informations sur le procédé :

- Débit de matière requis [tonnes/heure] ou [kg/s] : une bouteille de 0,25litre remplie de yaourt pèse 0,27kg donc 26 000 bouteilles pleines de yaourt pèsent 7 020kg. La chaîne fonctionne 8h/jour donc le débit est de 0,877 tonnes/h = 0,243 kg/s ;

- Densité de cette matière [kg/m³] : une bouteille de 0,25 litre remplie de yaourt pèse 0,27kg donc 1 000 litres (=1m³) pèse 1 080 kg. La densité est donc de 1 080kg/m³ ;
- Largeur du convoyeur [mètre] : environ 0,06m équivaut à la base de la bouteille ;
- Longueur du convoyeur [mètre] : selon la spécification du client mais minimum 0,3m pour l'emplacement du module de couleur ;
- Epaisseur maximale de matière [mètre] : 0,15m ;
- Poids linéaire du convoyeur [kg/m] : 3kg/m ;
- Diamètre de la poulie du convoyeur [mètre] : 0,2m ;
- Coefficient de friction statique μ_{stat} : 0,09 ;
- Coefficient de friction dynamique μ_{dyn} : 0,07 ;
- Accélération complétée en 5s ;
- Démarrage constant du tapis à pleine charge ;
- Rendement de 98%.

- Calcul des vitesses

Volume de matière à transporter par seconde:

$$\text{Volume} = \text{Débit de matière requis} / \text{densité [m}^3/\text{s}] \quad (\text{V.1})$$

$$\text{A.N : Volume} = \frac{0,243 \text{ kg/s}}{1080 \text{ kg/m}^3}$$

$$\text{Volume} = 2,25.10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

► Vitesse linéaire V du convoyeur:

$$\text{Vitesse} = \text{Volume/section [m/s]} \quad (\text{V.2})$$

$$\text{A.N : Vitesse} = \frac{2,25.10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}}{(0,06.0,15)\text{m}^2}$$

$$\text{Vitesse} = 0,025 \text{ m/s, arrondissons à } 3\text{cm/s}$$

- Vitesse de rotation ω de la poulie:

$$\omega = \text{vitesse/rayon [rad/s]} \quad (V.3)$$

$$\text{A.N : } \omega = \frac{0,025 \text{ m/s}}{0,1\text{m}}$$

$$\omega = 0,25 \text{ rad/s}$$

- Calcul de la charge

La charge sera due aux matériaux sur le convoyeur ainsi que la courroie du convoyeur.

$$\text{Charge} = \text{masse de la charge} + \text{masse de la courroie [kg]} \quad (V.4)$$

Charge = (longueur convoyeur . épaisseur max . largeur convoyeur . densité)

+ (2 . longueur convoyeur . poids linéaire)

$$\text{A.N : Charge} = (0,3\text{m} \cdot 0,15\text{m} \cdot 0,06\text{m} \cdot 1080\text{kg/m}^3) + (2 \cdot 0,3\text{m} \cdot 3\text{kg/m})$$

$$\text{Charge} = 4,716\text{kg}$$

- Calcul de l'accélération a

$$a = v/T_{\text{acc}} \text{ [m/s}^2\text{]} \quad (V.5)$$

où v : Vitesse à atteindre et Tacc : Temps d'accélération

$$\text{A.N : } a = \frac{0,025\text{m/s}}{5\text{s}}$$

$$a = 5 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}^2$$

- Calcul du couple lors de l'accélération (friction statique)

Force horizontale pour l'accélération:

Force = (masse de la charge . accélération) + (masse de la charge . accélération de la pesanteur . coefficient statique de friction)

$$F_d = m (a + g \cdot \mu_{\text{stat}}) \text{ [N]} \quad (V.6)$$

$$\text{A.N : } F_d = (4,716\text{kg} \cdot 0,005 \text{ m/s}^2) + (4,716\text{kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 0,09)$$

$$F_d = 4,187 \text{ N}$$

Couple = Force . rayon de la poulie

$$M_d = F_d \cdot r \text{ [Nm]} \quad (V.7)$$

A.N : $M_d = 4,187 \text{ N} \cdot 0,1\text{m}$

$$M_d = 0,418 \text{ Nm}$$

- Calcul du couple lors de l'accélération (friction dynamique)

Force = (masse de la charge . accélération) + (masse de la charge . accélération de la pesanteur . coefficient dynamique de friction)

$$F_a = m (a + g \cdot \mu_{\text{dyn}}) \text{ [N]} \quad (V.8)$$

A.N : $F_a = (4,716\text{kg} \cdot 0,005 \text{ m/s}^2) + (4,716\text{kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 0,07)$

$$F_a = 3,262 \text{ N}$$

Couple = Force . rayon de la poulie

$$M_a = F_a \cdot r \text{ [Nm]} \quad (V.9)$$

A.N : $M_a = 3,262\text{N} \cdot 0,1\text{m}$

$$M_a = 0,326 \text{ N.m}$$

- Calcul du couple en opération normale

Force horizontale:

Force = (masse de la charge . accélération de la pesanteur . coefficient dynamique de friction)

$$F_s = m \cdot g \cdot \mu_{\text{dyn}} \text{ [N]} \quad (V.10)$$

A.N : $F_s = 4,716\text{kg} \cdot 9,81\text{m/s}^2 \cdot 0,07$

$$F_s = 3,238\text{N}$$

Couple:

$$M_s = F_s \cdot r \text{ [Nm]} \quad (V.11)$$

A.N : $M_s = 3,238\text{N} \cdot 0,1\text{m}$

$$M_s = 0,323Nm$$

- Évolution du couple

Au démarrage : valeur de $M_d = 0,42Nm$

Dès que le convoyeur avance : valeur de $M_a = 0,33Nm$

À la vitesse d'opération : $M_s = 0,32Nm$

- Puissance du moteur

$$P = M \cdot \omega \quad (V.12)$$

Lors de l'accélération :

$$P_a = \frac{M_a \cdot \omega}{\eta} [kW] \quad (V.13)$$

$$A.N : P_a = \frac{0,33 \cdot 0,25}{0,98}$$

$$P_a = 0,08 \text{ kW}$$

En utilisation normale :

$$P_s = \frac{M_s \cdot \omega}{\eta} \quad (V.14)$$

où η : rendement

$$A.N : P_s = \frac{0,32 \cdot 0,25}{0,98}$$

$$P_s = 0,08 \text{ kW}$$

V.3. Dimensionnement des servomoteurs pour mesurer la rapidité d'un robot et sa puissance

V.3.1 Vitesse

Le système sera équipé de trois bras robotiques commandé chacun par des servomoteurs. Chaque servomoteur a pour rôle d'articuler respectivement une partie du bras robot sur une distance distincte. Il est à mentionner que chaque membrane fera un mouvement suivant un arc de cercle. Par extension, la membrane fera un tour complet sur elle-même si l'angle entré est égal à 360° . Mais comme cela dépasse le raisonnable, le calcul sera comparé à une petite roue

alternée par un servomoteur tel que la distance parcourue par la roue sera référée à la distance parcourue par une articulation du bras. Le diamètre de la roue sera égalisé à 5cm et le tour moteur s'élèvera à 20 rad/s.

La vitesse V est donnée par la formule suivante : $V = \frac{d}{t}$ ^(V.15). Cette formule sera adaptée avec la distance (d) que la roue a parcouru pendant une seconde (t).

Le périmètre de la roue est donné par la formule $P = 2 \cdot \pi \cdot r$ ^(V.16) ; r étant le rayon de la roue.

A.N : $P = 2 \cdot \pi \cdot \frac{5}{2} = 15,7\text{cm} = 0,157\text{m}$; cette valeur de P est donc la distance parcourue par la roue en lui faisant tourner sur lui-même d'un tour sur une surface plane. Rappelons que ' P ' est aussi l'équivalent de la distance parcourue par une membrane du bras robot, pivotée à 360°.

Les caractéristiques d'un moteur mentionnent souvent la vitesse en [tr/min] ou la vitesse de rotation angulaire en [rad/s]. Si ce cas numéro 1 se présente, alors la valeur du tour sera tout de suite rapportée au calcul mais au second cas, le calcul nécessitera une conversion en [tr/s].

Conversion : pour rappel, $360^\circ = 2 \pi$; $360^\circ = 1 \text{ tr}$ et $1 \text{ min} = 60\text{s}$.

Par déduction, $1 \text{ tr/min} = 360 \cdot \frac{1}{60} = 6^\circ/\text{s}$

$$\Rightarrow 1 \text{ tr/min} = 2 \pi \cdot \frac{1}{60} = \frac{\pi}{30} \text{ rad/s}$$

$$\Rightarrow 1 \text{ rad/s} = \frac{30}{\pi} \approx 9,55 \text{ tr/min} \approx 0,16 \text{ tr/s}$$

Donc 20 rad/s devient 3,18 tr/s.

L'axe accomplit 3,18 tours en une seconde. Un tour fait par l'axe est l'équivalent d'un tour fait par la roue : $1 \text{ tr (axe)} = 1 \text{ tr (roue)} = 0,157\text{m (roue)}$; or pendant une seconde l'axe peut faire 3,18 tr donc la roue aussi fait 3,18 tr (valable seulement en nombre de tour mais pas en distance parcourue).

$$\Rightarrow \text{En } 1\text{s} : 3,18 \text{ tr (axe)} = 3,18 \text{ tr (roue)}$$

$$\Rightarrow \text{En } 1\text{s} : 3,18 \text{ tr (roue)} \cdot 0,157\text{m (roue)} = 0,5\text{m (roue)}$$

$$\Rightarrow \text{En } 1s : 3,18 \text{ tr (axe)} \cdot 0,157m \text{ (roue)} = 0,5m \text{ (roue)}$$

$$\text{Finalement, } V = \frac{0,5m}{1s} \Rightarrow \boxed{V = 0,5 \text{ m/s}}$$

V est la vitesse d'une roue de diamètre 5cm alternée par un servomoteur de vitesse de rotation angulaire égale à 20 rad/s. La vitesse d'un bras se déduit ainsi par cette même démarche.

V.3.2 Puissance

Un moteur supposé parfait vérifie les relations suivantes:

$P_E = U \cdot I$ ^(V.17) où P_E est la puissance électrique, U la tension d'alimentation du moteur et I le courant.

$P_M = C_m \cdot \omega$ ^(V.18) où P_M est la puissance mécanique, C_m le couple mécanique (du moteur) et ω la vitesse de rotation (du moteur).

$P_E = P_M$ car dans un système parfait les pertes sont supposées nulles ; en réalité il existe de nombreuses pertes (frottements, par échauffement dit effets Joules, pertes cuivres ...) mais elles sont négligeables.

Les calculs ci-contre ont permis d'exploiter la capacité de chaque dispositif. Ils seront coordonnés, dans le chapitre suivant, avec les utilités sur la conception du système de triage.

PARTIE III :

**INTERPRETATIONS
DES RESULTATS DE
L'EXPERIENCE ET
MISE EN PLACE DU
SYSTEME DE TRIAGE
AUTOMATIQUE**

CHAPITRE VI : INTERPRETATIONS

VI.1. Interprétations sur le TCS3200

VI.1.1 Interprétations pratique des résultats des essais

Le module TCS3200 est un convertisseur de lumière colorée en fréquences et chaque couleur correspond à une longueur d'onde.

Il est observable selon le tableau 4 précédent qu'aucun des essais, pour chaque cas, n'a donné un résultat semblable à un autre. La lumière ambiante joue un rôle très important sur la fréquence résultante car une petite variation de l'intensité de la lumière affecte la longueur de l'onde. Plus le capteur est exposé à la lumière, plus les valeurs diminuent et convergent entre elles.

Pour le cas 1 essai 1, l'écart entre chaque valeur RVB est assez distant alors il sera facile pour le capteur d'afficher la couleur de l'objet en face, tandis que pour le cas numéro 2, ces valeurs sont presque égales qu'une petite variation (augmentation ou diminution) de l'une de ces valeurs pourrait affecter l'affichage finale de la couleur en face.

Le principe est que la couleur affichée sera celle qui aura la plus petite valeur entre RVB, alors si l'écart entre deux valeurs tend vers 0, c'est que la couleur affichée peut varier brusquement d'une couleur à une autre.

Lors des essais numéro 2, les valeurs des RVB approchent et atteignent même la valeur 0 car l'intensité lumineuse est beaucoup trop importante (très élevée). Voici un exemple qui peut expliquer pourquoi le capteur affiche une valeur au voisinage de zéro : Quiconque observe le soleil à l'œil nu ne voit rien et aura la sensation de s'étourdir. Le capteur raisonne comme ce même fait car sa conception s'inspire en une partie du fonctionnement de l'œil humain.

Lors de l'essai 3 du cas numéro 1, il est observable que chacune des valeurs des RVB obtenues sont bien distinctes l'une par rapport à l'autre. Le capteur n'aura donc aucune difficulté à correspondre une fréquence à une couleur ; de même, l'essai 3 du cas numéro 2 déduit un écart assez grand mais n'est pas assez importante que celui du cas numéro 1. Le fait d'envelopper le module d'un couvercle noir a augmenté l'écart entre chaque valeur R-V-B résultante.

Les résultats des deux essais numéro 4 montrent que l'écart entre chaque valeur RVB est assez petit, plus précisément les couleurs rouge et verte.

VI.1.2 Interprétations scientifique des données du capteur ^[11]

La sortie est une onde carrée avec une fréquence (f_o) directement proportionnelle à l'intensité lumineuse :

$$f_o = f_D + (Re)(Ee) \quad (VI.1)$$

où f_o et f_D sont les fréquences de sortie ;

Ee est l'irradiance incidente [mW / cm^2] ;

Re est la sensibilité du dispositif pour une longueur d'onde donnée de la lumière [$kHz / (mW / cm^2)$].

f_D valorise f_o quand $Ee = 0$. Comme la montre l'équation ci-dessus, la fréquence f_D représente un terme indépendant de la lumière dans la fréquence de sortie totale f_o . Cependant dans un milieu faiblement éclairé, cette fréquence f_D peut représenter une partie importante de f_o . En d'autres termes si ce rayonnement Ee est nul, la valeur du second membre de l'équation s'annule, alors f_o prendra la valeur de f_D . f_o est donc la fréquence de sortie totale tandis que f_D est la fréquence de sortie pour la condition d'obscurité.

Remarque : la fréquence d'obscurité dépend également de la température.

Comme la fréquence de sortie f_o est directement proportionnelle à l'intensité lumineuse, il est possible de faire une cartographie entre les fréquences et la valeur de couleur RVB (variant de 0 à 255 pour chacun des RVB) en utilisant une interpolation linéaire. Deux points d'origine sont déjà bien déterminés sur la ligne RVB : le noir pur ($R=0, V=0, B=0$) et le blanc pur (255, 255, 255).

- Une carte de couleur noire donne la condition sombre f_D ;
- Une carte de couleur blanche donne le point RGB extrême f_w . f_w est aussi appelé balance des blancs. Connaissant f_D , cette valeur peut être utilisée pour mettre à l'échelle toutes les fréquences intermédiaires à une valeur RVB correspondante.

La relation proportionnelle se réfère à l'équation linéaire générale $y = mx + b$ où

- y est la lecture obtenue (f_o dans le cas présent) ;
- x est la valeur RVB normalisée ;
- b est la valeur de y lorsque x est 0 (f_D dans le cas présent) ;
- m est la pente, ou constante de proportionnalité, de la droite ($[f_w - f_D] / 255$ dans le cas présent).

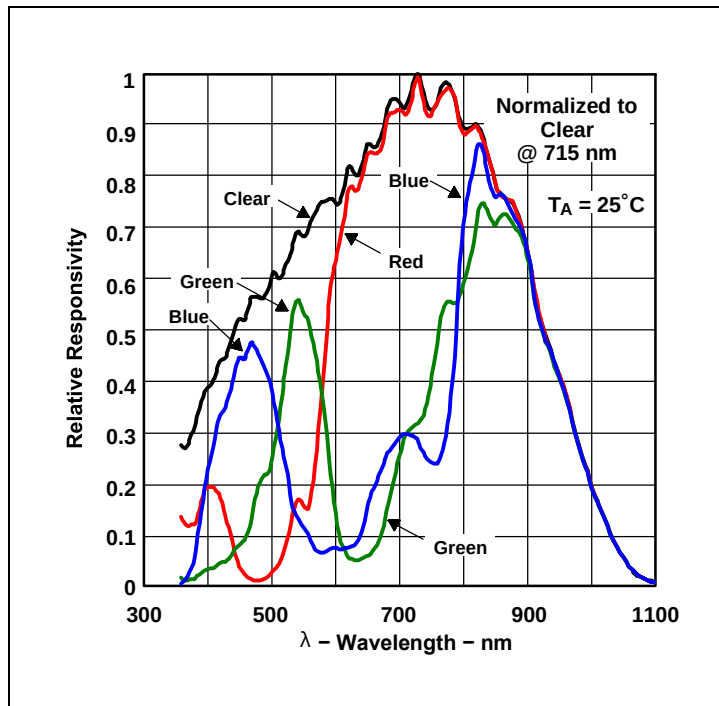
Par déduction l'équation devient :

$$f_O = f_D + \frac{x \cdot (f_W - f_D)}{255}$$

Après un arrangement, voici la valeur RVB normalisée :

$$x = \frac{255 \cdot (f_O - f_D)}{f_W - f_D} \quad (VI.2)$$

VI.1.3 Analyse de la sensibilité des photodiodes ^[12]



L'analyse est faite à une température à 25°C

La longueur d'onde λ est mesurée en nanomètre

VI.2. Interprétations sur les servomoteurs

VI.2.1 Le couple

La formule suivante montre la relation entre le couple du servomoteur en [N.m], la force exercée sur le bras du servomoteur en [Newton] et la distance à laquelle s'exerce cette force par rapport à l'axe de rotation du servomoteur en [m] :

$$C = F \cdot d \quad (VI.3)$$

Le couple est la capacité du moteur à faire tourner quelque chose sur son axe, c'est-à-dire il s'exprime par rapport à un axe. Plus le couple est élevé alors plus le moteur sera capable de

mettre en mouvement quelque chose de lourd. Le couple (C) exercé sur un axe est égal à la force (F) appliquée au bout d'un levier accroché à ce même axe. A force identique, plus le levier est long plus le couple exercé sur cet axe est important.

VI.2.2 La vitesse de rotation

La vitesse de rotation est traduite par rapport à l'axe de rotation du moteur. Elle est mesurée en radians selon l'angle parcourus par cet axe pendant une seconde.

Supposons que les deux figures suivantes sont des servomoteurs où les cercles blancs à leurs centres sont leurs axes. Elles démontrent les positions de deux points rouge et bleu, après une seconde de rotation. Le moteur est en fonctionnement ; son axe tourne et nous allons mesurer jusqu'où va l'axe de rotation à partir d'un point de départ fixe en une seconde.

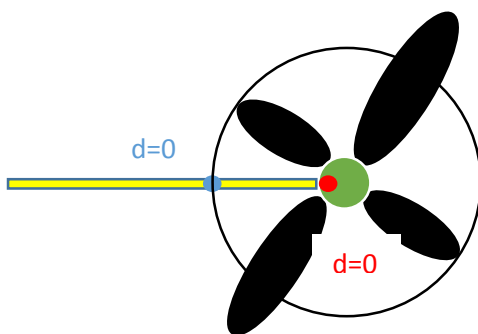


Figure 12: **Position à 0°**

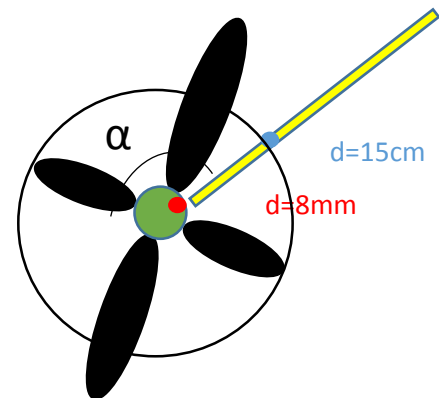


Figure 13: **Position à α°**

La vitesse de rotation de l'axe du moteur est mesurée à partir de l'angle α entre la position de départ ($d=0$) et la position d'arrivée du point rouge, après une seconde de rotation. Cette valeur est exprimée en angle par seconde. La mesure est faite sur l'axe en question car un point éloigné du centre de l'axe du moteur a une distance beaucoup plus grande à parcourir qu'un point proche du centre de l'axe. En prenant la mesure à partir d'un point de départ fixe ($d=0$), la distance parcourue par le point rouge et bleu est nulle. En faisant tourner l'axe du moteur pendant une seconde, il est remarquable que la distance parcourue par chaque point soit différente. La distance parcourue par le point bleu est quasiment 20 fois plus grande que celle parcourue par le point rouge. Et c'est pourquoi le point bleu aurait été plus rapide que le point rouge car la distance qu'il parcourt en un même temps est beaucoup plus grande.

L'objectif du dimensionnement des servomoteurs est de pouvoir connaître la vitesse d'un bras robotique. Cette vitesse ne pourra pas être trouvée sans connaître la vitesse de rotation du servomoteur concerné. D'après l'étude, la vitesse dépend aussi de la longueur du bras par

rapport à l'axe de rotation du servomoteur, qui était l'équivalent du rayon de la roue. Chaque bras a été fabriqué différemment selon son utilité (du point de vue longueur).

VI.3. Interprétations sur le système de convoyage

Le TCS3200 doit détecter s'il y a un objet en face de lui. Si un objet est présent, il doit déterminer de quelle couleur il s'agit. Ce programme nécessite alors un temps maximal pour accomplir ces deux actions afin d'obtenir une longueur d'onde exacte. Selon les caractéristiques du produit à transporter et les informations sur le procédé, la vitesse pour performer le convoyeur est de 3cm/s ; une valeur qui est bien synchrone pour la détection de couleur. Les autres caractéristiques du moteur concordant avec cette vitesse sont mentionnées dans les calculs (couple, accélération, force et puissance).

VI.4. Solutions envisagées

VI.4.1 Le module de couleur

L'écart entre les trois valeurs des couleurs RVB prend une place importante pour l'affichage final de la couleur. L'objet manipulé durant tous les essais était une même capsule, de couleur bleue, d'une bouteille de yaourt à boire, alors qu'aucun des résultats de chaque cas, respectivement à chaque essai n'est semblable.

Plus l'écart est grand, plus il sera facile pour le module d'attribuer une couleur pour l'objet intervenant. Alors que si l'écart tend vers la valeur nulle, moins sera la précision. Les résultats dépendent donc de l'état du milieu où le processus se déroule.

En analysant en général les deux tableaux, c'est alors l'essai numéro 3 du cas numéro 1 qui donne des valeurs faciles à exploiter pour le capteur car l'écart entre les valeurs des couleurs rouge, vert et bleu est bien élevé.

Quand le projet verra le succès, il pourrait-être utilisé dans divers domaines, dans divers endroits donc il serait fondamental de prévoir tout type de milieu pour bien adapter le système. Le capteur de couleur sera donc isolé dans une enveloppe noire puis dans un tunnel suffisamment sombre pour que les ondes lumineuses réfléchies par les objets en face du capteur ne s'interfèrent pas avec les ondes lumineuses émises par la lumière ambiante. Les résultats seront ainsi plus nets et plus précis car seule l'onde transmise par la couleur de l'objet en face est captée en grande partie par le module de couleur.

VI.4.2 Les microrupteurs

Le fil conducteur est branché sur la patte NO (normalement ouvert) pour fermer le circuit puis d'actionner les servomoteurs après un contact physique entre le levier et la bouteille,

VI.4.3 Les servomoteurs

Deux types de servomoteur sont utilisés pour contrôler le système :

- le premier est de plus grande taille ayant une puissance assez élevée et une couple assez importante pour articuler les bras robots et de manipuler les bouteilles de yaourt ;
- le second servira pour articuler les pinces et de fourchette comme mentionné plusieurs fois dans le projet.

VI.4.4 Le convoyeur

La valeur 3cm/s (vitesse) est bien favorable pour la synchronisation du passage des bouteilles au-dessous du capteur de couleur afin d'obtenir une valeur exacte sur la longueur d'onde. L'objectif du secteur est de produire au minimum 26 000 bouteilles par jour. La valeur 3cm/s a été calculée en tenant compte de cet objectif en temps normal c'est-à-dire pour une production moyenne et sans interruption. Pourtant les statistiques révèlent certains arrêts de production (causés par une autre situation prioritaire) ou une demande d'augmentation de production (besoin des consommateurs). Dans ce cas, la vitesse 3cm/s n'est plus suffisante. Cette vitesse sera donc attribuée seulement pour le convoyeur du capteur de couleur et une autre vitesse assez élevée pour les autres convoyeurs afin d'obtenir une large marge de temps de production (une autre vitesse qui respecte tout autant la manutention des produits).

Au final, le projet se compose de quatre (4) systèmes de convoyage dont le premier se place à l'entrée du système de triage et fonctionne à une vitesse de 3cm/s et les restes auront la même vitesse que la chaîne existante.

Les bouteilles risquent de se bousculer (en sortant de la chaîne de sertissage existante et en entrant dans le nouveau système de sertissage) à cause de la diminution brusque de la vitesse entre les deux convoyeurs. La mise en place d'un outil appelé « vis sans fin » (adaptée à la forme de la bouteille) permettra aux bouteilles d'entrer une par une dans la chaîne. L'espacement entre deux bouteilles dépendra de la spécification du client en variant la vitesse de rotation de la vis.

VI.4.5 La programmation

L'intégralité de la programmation du système est mentionnée en Annexe.

Pour faire fonctionner un servomoteur, il va falloir inclure une bibliothèque de code appelée « Servo » en début du programme.

```
#include <Servo.h>
```

Celle-ci est fournie de base avec l'environnement de développement Arduino et n'a besoin d'aucune installation. Avec une carte Arduino Mega, 11 servomoteurs peuvent-être utilisés simultanément sans poser de problèmes mais à partir de 12, les broches D11 et D12 ne pourront plus être utilisées en PWM avec analogWrite().

Le TCS3200 offre plusieurs codes par défaut dans son datasheet. Certains nécessitent l'inclusion d'une bibliothèque appelée TimerOne mais pour le présent projet, le code fonctionne sans bibliothèque.

```
#include <TimerOne.h>
```

Toutes les caractéristiques de l'installation sont désormais réunies. Le dernier chapitre présentera le nouveau système de triage, inspiré des difficultés rencontrées par la chaîne de yaourt à boire de la société SOCOLAIT.

CHAPITRE VII : DESCRIPTION DU PROCESSUS ET REPRESENTATION DU PROJET

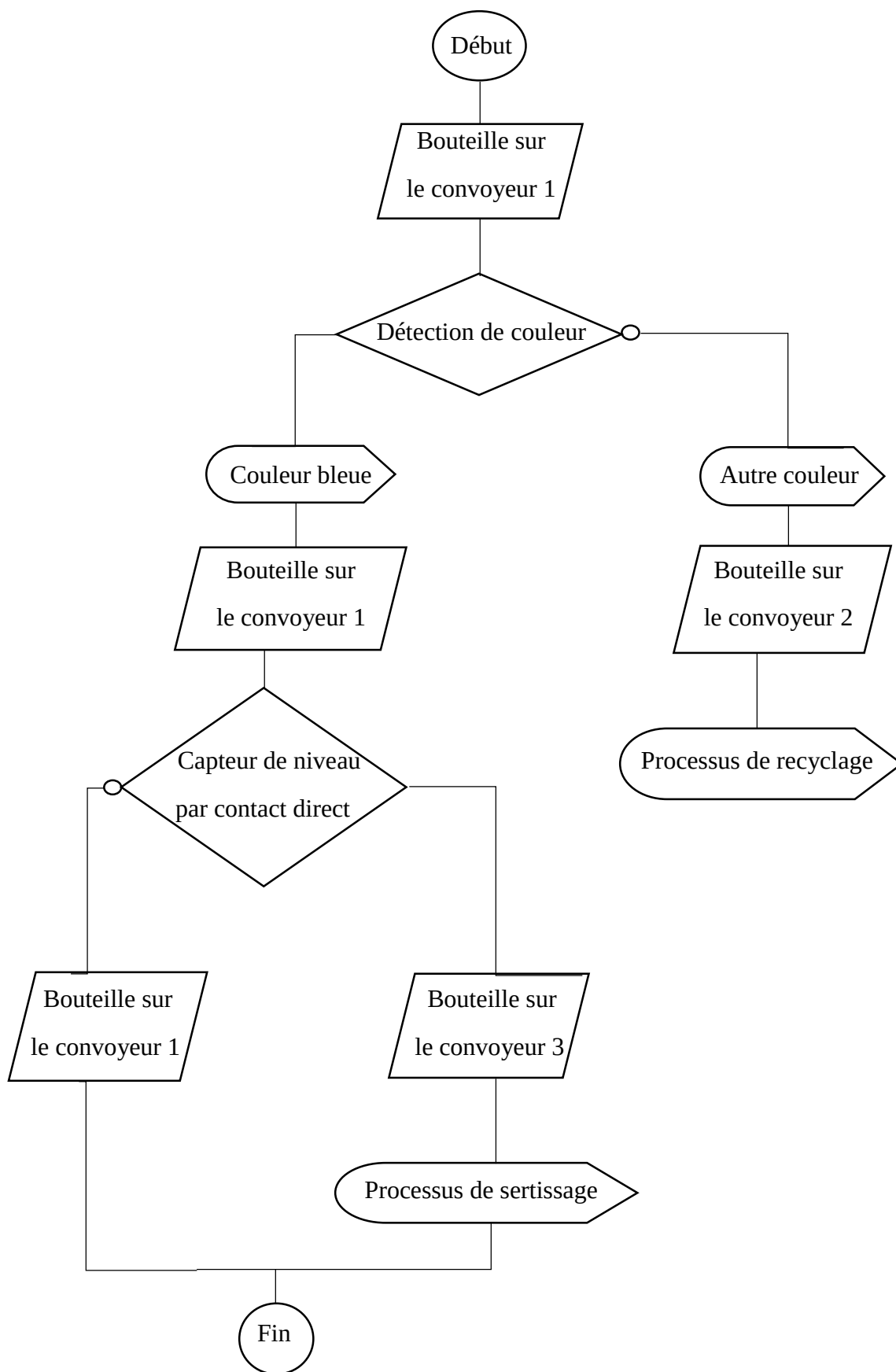
VII.1. Le processus

Le système se situera entre la chaîne de sertissage et étiquetage.

A l'entrée de la chaîne, sur le convoyeur principal, est placé le module de couleur. Il a pour fonction de trier les produits bouchonnés des non bouchonnés. Ce module est placé en hauteur où les bouteilles passeront juste en-dessous afin qu'il puisse facilement détecter la présence de couvercle ou non. En général, les couvercles sont toujours de couleurs différentes par rapport à la bouteille, ainsi le système fera la différenciation de couleur. Pour avoir plus de précision sur le résultat, comme précédemment énoncé, le module est isolé dans un milieu suffisamment sombre.

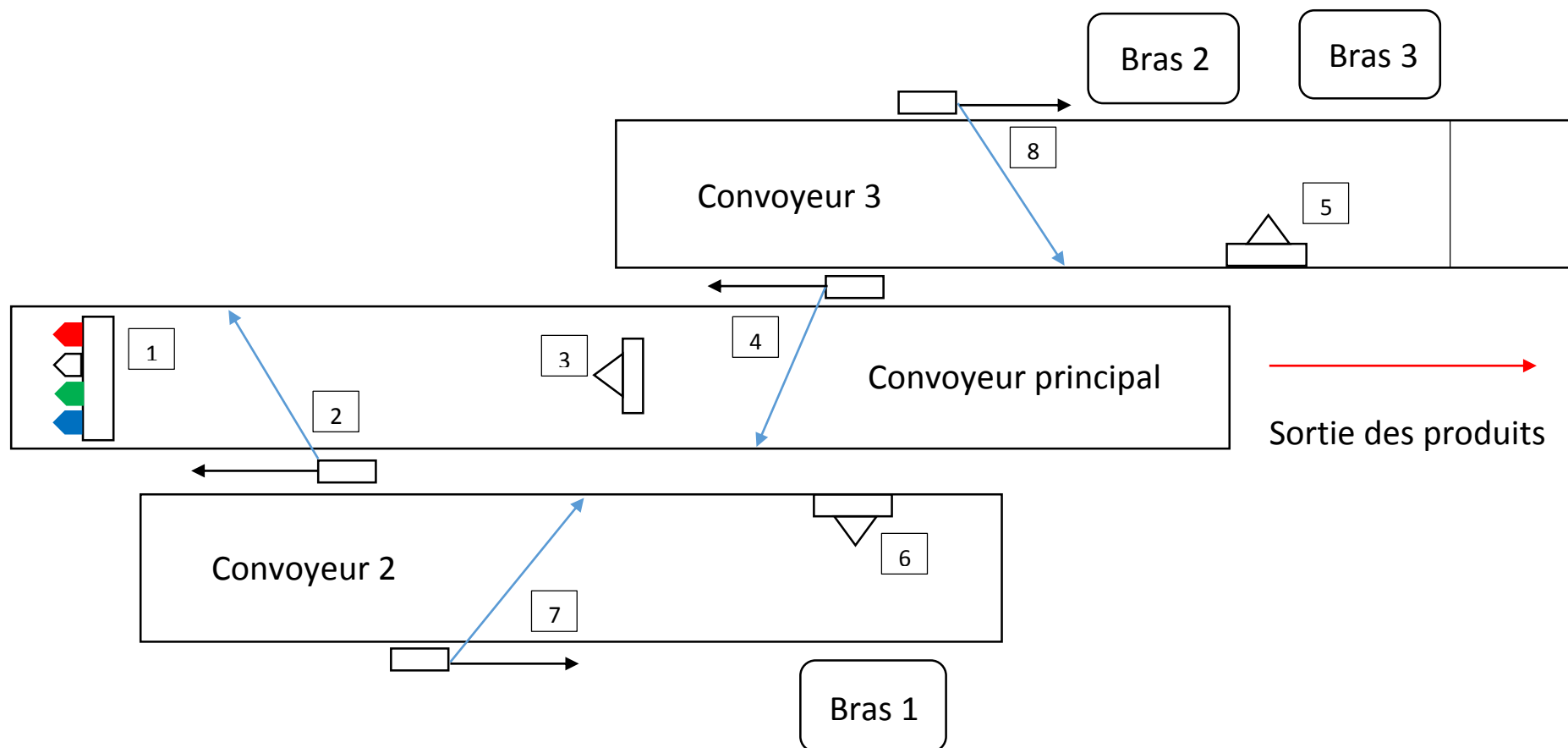
Les bouteilles d'Yao portent des couvercles bleus. Si le module capte une couleur bleue c'est que la bouteille porte bien sa capsule et suivra la voie principale de la chaîne. Par contre si il capte une autre couleur, le système considèrera que la bouteille n'est pas bouchonnée alors elle sera déviée par une fourchette adaptée sur un servomoteur vers l'autre tapis roulant. Au bout de ce deuxième convoyeur se place un bras robotisé. Il a pour rôle de saisir la bouteille sans couvercle, de la vider, et enfin de lâcher la bouteille dans un bac. Le bras doit vider la bouteille car le yaourt sera recycler et sera de nouveau remise dans une autre bouteille. Le bras reprendra ensuite sa position initiale en attendant qu'une autre bouteille sans couvercle arrive. La mise en marche du bras se fait par un contact entre la bouteille et un interrupteur placé en face du bras, c'est-à-dire que le contact fermera le circuit alimentant les servomoteurs constituant le bras.

Ensuite, un capteur de fin de course est placé en hauteur sur le tapis principal pour détecter si une bouteille est bouchonnée dans les normes requises ou non. Il joue le rôle d'actionneur d'un servomoteur qui déviara la bouteille hors de la voie principale si elle est non conforme. Généralement, si le bouchon n'est pas serré suffisamment, la bouteille gagne un peu de hauteur à quelques millimètres près entraînant un contact direct entre l'interrupteur et la bouteille elle-même. Afin de permettre ce contact, le capteur est placé de façon très précise, juste au-dessus d'une bouteille en passage. Le contact fermera ainsi le circuit et déclenchera le servomoteur précédemment énoncé. Deux bras sont en attente sur le troisième convoyeur pour resserrer le bouchon. Ils s'activent lorsque le circuit entre un interrupteur et les deux bras se ferme. Le premier bras servira à fixer la bouteille de ne pas tourner pendant que l'autre resserrera la capsule. Une fois la tâche accomplie, le deuxième bras replacera la bouteille sur le convoyeur vers l'étiqueteuse.

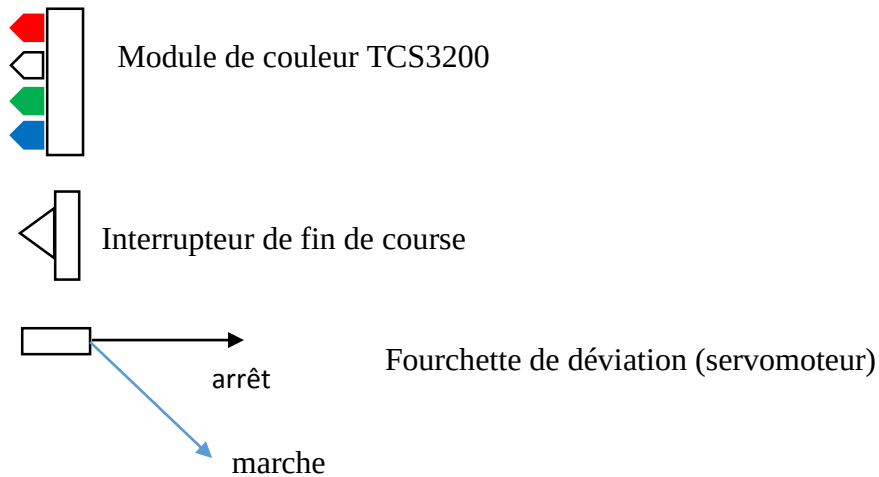


Algorithme du fonctionnement du système de triage

VII.2. La représentation



Légende :



Bras 1 : renverseur

Bras 2 et bras 3 : sertisseuse

Explication :

Si 1 ne détecte pas de bleu $\Rightarrow$ 2 high $\Rightarrow$ 6 high $\Rightarrow$ 7 high $\Rightarrow$ bras 1 high

Si 1 détecte bleu $\Rightarrow$ 2 low $\Rightarrow$ si 3 low $\Rightarrow$ 4 low $\Rightarrow$ sortie

si 3 high $\Rightarrow$ 4 high $\Rightarrow$ 5 high $\Rightarrow$ 8 high $\Rightarrow$ bras 2 et 3 high



Sortie

Avec high = en mode marche et low = en mode arrêt.



Figure 14 : Observation latérale du système



Figure 15 : Observation de haut du système



Figure 16 : Représentation des trois bras robotisés

CONCLUSION

Ce mémoire est le fruit d'un stage effectué au sein de la Société Socolait dans la région Vakinankaratra. Des activités dans le service technique de la Société nous ont permis de mettre en valeur la technologie moderne et ses atouts. L'amélioration de l'ancien circuit fera l'objet d'une réduction de perte de temps et augmentera le rendement de production. Le projet à présent élaboré ne se limite pas seulement dans le secteur du sertissage. Il peut être aussi recommandé dans beaucoup d'autres domaines, en ne citant que l'étiquetage qui est le processus après le sertissage, par l'exploitation du traitement d'image et de la couleur.

Comme toile de fond, nous pouvons dire que les machines tiennent une place capitale dans le domaine industriel et qu'elles font partie des grands piliers de développement d'une usine. Sans elles, l'effort humain à lui seul ne peut accomplir les diverses activités qui doivent être effectuées selon un rythme et délai. L'usine Socolait, comme toutes les autres, fait parfois face à des incidents techniques. Ces problèmes sont toujours à prévoir. C'est pourquoi il a été utile d'élaborer un système plus approprié servant à la réalisation des tâches.

BIBLIOGRAPHIE ET WEBOGRAPHIE

- Amélioration des circuits de production Yaourtière de la société SOCOLAIT, mémoire de fin d'étude 2014-2015 ;

- Cours sur le système asservi, dirigé par Monsieur le Professeur Directeur Yvon ANDRIANAHARISON.

[1] : Maintenance dans le cas de la société SOCOLAIT, mémoire de fin de formation 2012-2013 ;

[2] : Dictionnaire 2017 ;

[3] : <http://thomas.raulin.pagesperso-orange.fr/cours1/asserv/SLCIntroduction.pdf>

[4] : <http://www.fsr.ac.ma/cours/physique/EL%20RHALEB/Ch1%20-%20Onde%20lumineuse%20-%202012%20.pdf>

[5] : <https://hal.archives-ouvertes.fr/cel-00125868v4/document>

[6] : <https://www.arduino.cc/>

[7] : <http://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/arduino-color-sensing-tutorial-tcs230-tcs3200-color-sensor/>

[8] : <http://eskimon.fr/287-arduino-602-un-moteur-qui-de-la-tete-le-servo-moteur>

[9] : <http://www.pobot.org/Interrupteur-Microswitch.html>

[10] : https://cours.etsmtl.ca/gpa668/aCours/Charge_moteurs_E2011.pdf

[11] : <https://developer.mbed.org/users/grantphillips/code/TCS3200/docs/tip/>

[12] : <http://www.mouser.com/ds/2/588/TCS3200-E11-519196.pdf>

Moteur de recherche : GOOGLE et YOUTUBE ;

ANNEXE

I) La programmation

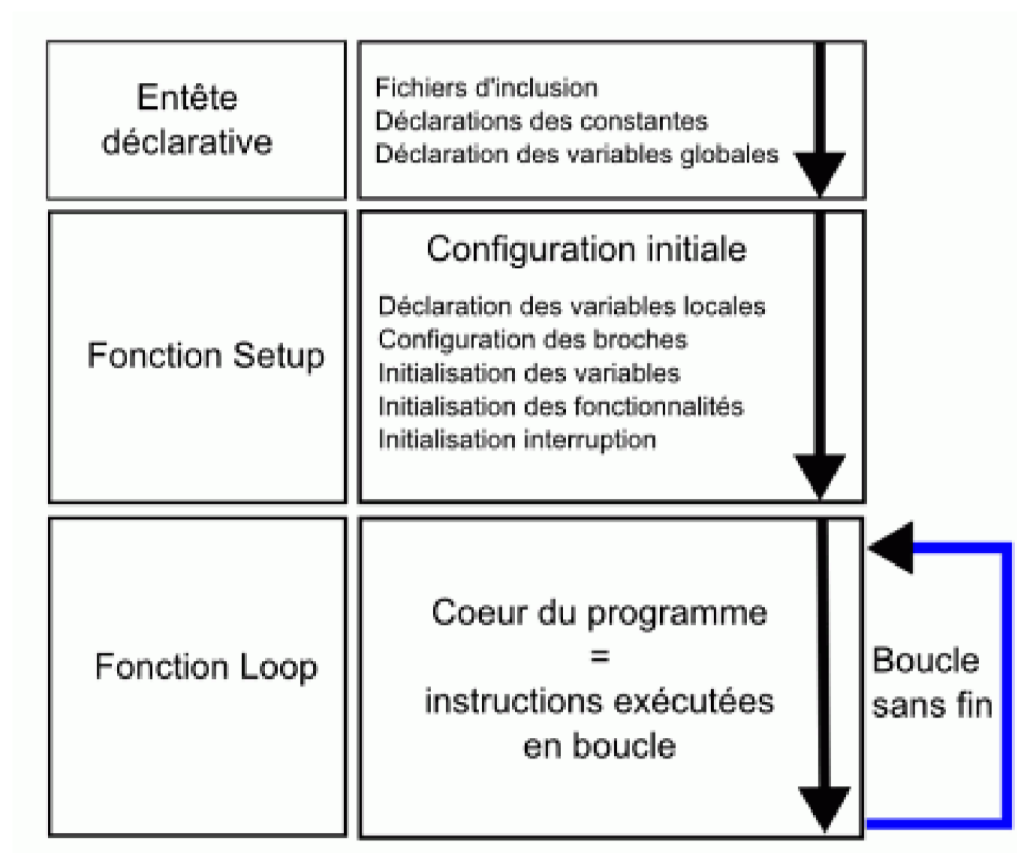
Tous ces matériels épelés précédemment ne pourront accomplir des fonctions qu'après attribution d'un certain code dit « programmation ».

1. Généralité

La programmation est un code qui va dicter des ordres au microcontrôleur. Ce code est à télécharger dans ce dernier pour qu'il puisse suivre les consignes dictées par le programme. Pour ce faire, le programme est à rédiger sur le logiciel Arduino qui peut vérifier et compiler plusieurs programmes. L'avantage est de pouvoir vérifier le programme édité avant de le compiler vers le microcontrôleur.

Ce programme est codé en langage C qui est un langage de programmation impératif pour la carte. Son avantage est qu'il intègre des fonctions préinstallées dans une seule ligne de code grâce à des bibliothèques.

Structure de la programmation



2. Cas des produits non-bouchonnés

Programmation du module de couleur avec la fourchette

```
#include <Servo.h>
const int s0 = 8;
const int s1 = 9;
const int s2 = 12;
const int s3 = 11;
const int out = 10;
int red = 0;
int green = 0;
int blue = 0;
Servo servo3;
void setup()
{ servo3.attach(22, 900, 1500);
  Serial.begin(9600);
  pinMode(s0, OUTPUT);
  pinMode(s1, OUTPUT);
  pinMode(s2, OUTPUT);
  pinMode(s3, OUTPUT);
  pinMode(out, INPUT);
  digitalWrite(s0, HIGH);
  digitalWrite(s1, HIGH); }
void loop()
{  color();
  Serial.print("R= ");
  Serial.print(red, DEC);
  Serial.print(" G= ");
  Serial.print(green, DEC);
  Serial.print(" B= ");
  Serial.print(blue, DEC);
  if (blue<red && blue<green &&
blue<120)
{  Serial.println(" - (Blue Color)"); }
  else if (blue<green && blue<red &&
blue>190 && blue<800)
{  Serial.println(" - (White Color)");
  servo3.write(0);
  delay(3000);
  servo3.write(42);}
  else if (blue<green && blue<red &&
blue>121 && blue<185)
{  Serial.println(" - (green Color)");
  servo3.write(0);
  delay(3000);
  servo3.write(42); }
  else if (blue<130 && red<130 &&
green<200)
{  Serial.println(" - (Red Color)");
  servo3.write(0);
```

delay(3000);	digitalWrite(s3, LOW);
servo3.write(42); }	red = pulseIn(out, digitalRead(out) ==
else	HIGH ? LOW : HIGH);
{ Serial.println(" - (rien en face)");}	digitalWrite(s3, HIGH);
delay(1000); }	blue = pulseIn(out, digitalRead(out) ==
	HIGH ? LOW : HIGH);
void color()	digitalWrite(s2, HIGH);
{	green = pulseIn(out, digitalRead(out) ==
digitalWrite(s2, LOW);	HIGH ? LOW : HIGH); }

3. Cas des produits mal-bouchonnés

Programmation de l'interrupteur avec la fourchette

#include <Servo.h>	servo1.attach(PIN_SERVO);}
int bouton=8;	void loop()
int PIN_SERVO=9;	{ Poussoir=digitalRead(bouton);
Servo servo1;	if(Poussoir==LOW)
boolean Poussoir;	{ servo1.write(42);
void setup()	delay(3000);
{ digitalWrite(bouton,HIGH);	servo1.write(0);} }
pinMode(PIN_SERVO,OUTPUT);	

4. Programmation des bras

Le principe de programmation des bras est le même mais seul le nombre de servomoteurs qui les constituent et l'angle de rotation les différencient.

#include <Servo.h>	Servo servo5;
#define servo_5 28	Servo servo6;
#define servo_6 29	Servo servo7;
#define servo_8 30	Servo servo8;
Servo servo4;	Servo servo9;

```

Servo servo10;
int bouton3=14;
boolean Poussoir3_SERVO;
char c;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  digitalWrite(bouton3,HIGH);
  servo5.attach(servo_5);
  servo6.attach(servo_6);
  servo8.attach(servo_8);
  servo5.writeMicroseconds(1500);
  servo6.writeMicroseconds(1500);
  servo8.writeMicroseconds(1500);
  servo7.attach(35, 900, 1500);
  servo7.write(0);
  servo4.attach(25, 900, 1500);
  servo4.write(0);
  servo9.attach(41, 900, 1500);
  servo9.write(0);
  servo10.attach(45, 900, 1500);
  servo10.write(0);}

```

```

void loop() {
  Poussoir3_SERVO=digitalRead(bouton3);
  if(Poussoir3_SERVO==LOW)
  {servo4.write(35);
  servo5.writeMicroseconds(1625);
  delay(4000);
  servo5.writeMicroseconds(1500);
  servo6.writeMicroseconds(1625);
  delay(5000);
  servo6.writeMicroseconds(1500);
  servo7.write(42);
  delay(4000);
  servo7.write(0);
  servo6.writeMicroseconds(1400);
  delay(5000);
  servo6.writeMicroseconds(1500);
  servo5.writeMicroseconds(1400);
  delay(4000);
  servo5.writeMicroseconds(1500);
  servo4.write(0);} }

```


II) Valorisation du projet

1) Mini projet

Matériels	Nombre	Prix (ariary)
Module de couleur	1	25 000
Servomoteurs	5	150 000
	3	60 000
	5	60 000
Bras robotisés	3	100 000
Connecteurs	2 paquets	26 000
Fil	Environ 20 mètres	6 000
Arduino	4	280 000
Bread board	1	15 000
Alimentations	5	66 000
Interrupteurs	3	9 000

Autres : convoyeurs en tôle, planche support, tissus de couverture, papier collant...

Dépense totale évaluée à 900 000 ariary sans convoyeur.

2) Projet industriel

Évalué à 7 000 000 ariary.

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	I
RESUME.....	III
LISTE DES ABREVIATIONS ET SIGNES.....	IV
TABLE DES ILLUSTRATIONS	V
GLOSSAIRE	VI
SOMMAIRE	VIII
INTRODUCTION	1
PARTIE I :	1
CADRAGE DES TRAVAUX ET GENERALITE SUR LE PROJET.....	1
<i>CHAPITRE I : Etablissement d'accueil et méthodologie adoptée</i>	
ADOPTÉE.....	2
I.1. Présentation de la société	2
I.1.1 Historique	2
I.1.2 Situation actuelle de l'entreprise	2
I.1.3 Identification de l'entreprise.....	2
I.1.4 Finalisation et Objectifs.....	3
I.1.5 Activités.....	3
I.2. Déroulement du stage	3
I.2.1 Compte rendu du stage.....	3
I.2.2 Les acquis.....	3
I.3. Méthodologie adoptée.....	4
I.3.1 Documentation	4
I.3.2 Enquêtes.....	4
<i>CHAPITRE II : CONTEXTE ET OBJECTIF</i>	5
II.1. La chaîne de production de l'Yaourt à boire.....	5
II.1.1 La bouteille en polyéthylène	5
II.1.2 La fabrication de l'Yaourt.....	5
II.1.3 Le conditionnement	5
II.1.4 La conservation.....	6
II.2. Les difficultés rencontrées par la chaîne.....	6
II.3. Solutions apportées ^[1]	7
II.4. Objectifs du projet et du système automatisé.....	9
<i>CHAPITRE III : GENERALITE SUR LE PROJET</i>	10
III.1 Quelques définitions ^[2]	10
III.2. Le convoyeur ^[3]	10

III.2.1 Asservissement	10
III.3. L'image, la couleur et la lumière.....	16
III.3.1 Lumière et onde lumineuse ^[4]	16
III.3.2 Traitement d'image ^[5]	17
PARTIE II :	21
ETUDE ET ELABORATION BIBLIOGRAPHIQUE DU THEME	21
CHAPITRE IV : LES DIFFERENTS OUTILS COMPOSANT LE SYSTEME DE TRIAGE	22
IV.1. Arduino ^[6]	22
➤ Constitution de la carte.....	22
➤ Le microcontrôleur	22
➤ Les connectiques	22
➤ Visualisation.....	23
➤ Types de carte.....	23
IV.2. Module de couleur ^[7]	24
➤ Câblage avec Arduino :	24
➤ Fonctionnement avec l'Arduino :	24
➤ Principe de détection de couleur :	25
➤ Branchement avec l'Arduino	25
➤ S0, S1, S2, S3.....	25
➤ Description schématique fonctionnelle	26
IV.3. Servomoteur ^[8]	26
➤ Représentation	26
➤ A propos et fonctionnement	27
➤ Branchement avec l'arduino.....	29
IV.4. Interrupteur de fin de course ^[9]	29
➤ Fonction.....	29
➤ Constitution	29
➤ Représentation	30
➤ Branchement sur l'Arduino	30
CHAPITRE V : ETUDE EXPERIMENTALE	31
V.1. Dimensionnement du capteur de couleur.....	31
V.1.1 Etude pratique (Bouteille à capsule bleue).....	31
V.1.2 Résultats.....	32
V.2. Dimensionnement du convoyeur ^[10]	32
➤ Calcul général autour des moteurs et leurs charges	32
V.3. Dimensionnement des servomoteurs pour mesurer la rapidité d'un robot et sa puissance	36
V.3.1 Vitesse	36
V.3.2 Puissance.....	38
PARTIE III :	39

INTERPRETATIONS DES RESULTATS DE L'EXPERIENCE ET MISE EN PLACE DU SYSTEME DE TRIAGE AUTOMATIQUE.....	39
VI.1. Interprétations sur le TCS3200	39
VI.1.1 Interprétations pratique des résultats des essais.....	39
VI.1.2 Interprétations scientifique des données du capteur ^[11]	40
VI.1.3 Analyse de la sensibilité des photodiodes ^[12]	41
VI.2. Interprétations sur les servomoteurs	41
VI.2.1 Le couple	41
VI.2.2 La vitesse de rotation	42
VI.3. Interprétations sur le système de convoyage.....	43
VI.4. Solutions envisagées.....	43
VI.4.1 Le module de couleur.....	43
VI.4.2 Les microrupteurs.....	43
VI.4.3 Les servomoteurs.....	44
VI.4.4 Le convoyeur.....	44
VI.4.5 La programmation	44
CHAPITRE VII : DESCRIPTION DU PROCESSUS ET REPRESENTATION DU PROJET.....	46
VII.1. Le processus	46
VII.2. La représentation	48
CONCLUSION	52
BIBLIOGRAPHIE ET SOURCES	IX
ANNEXE.....	X
TABLE DES MATIERES	XV
PAGE DE RENSEIGNEMENT.....	XVIII

PAGE DE RENSEIGNEMENT



Nom : RASAMISON

Prénoms : Henitsoa Nantenaina Sehen

Numéro téléphone : 032 89 989 93 ou 034 73 837 48

Adresse : Lot IB 700 Malaza Andoharanofotsy (Antananarivo)

E-mail : henitsoarasamison@gmail.com

Directeur de mémoire : Monsieur Andy Marlon BOURGEON

E-mail : andymarlonium@gmail.com

Encadreur professionnel : Monsieur Hery Setra ROBENE

E-mail : Setra.robene@socolait.net