

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI DE TIZI-OUZOU
FACULTE DE GENIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE



DOMAINE : SCIENCES ET TECHNOLOGIES
FILIERE : ELECTRONIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES
EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER
ACADEMIQUE

SPECIALITE : INSTRUMENTATION

THEME :

**CONCEPTION ET REALISATION D'UN
SYSTEME DE TRIAGE DES DECHETS**

Présenté par : M. AMROUNI Lounes et M. AISSAOUI Idir

Soutenu publiquement, le 25/06/2024, devant le Jury composé de :

Dr. IDJERI	Boussad	MCA	UMMTO	PRESIDENT
Dr. OUDJEMIA	Souad	MCA	UMMTO	EXAMINATEUR
Dr. CHEBI	Hocine	MCA	UMMTO	ENCADREUR

Promotion 2023/2024

Remerciements

Nous tenons à remercier d'abord Dieu le tout puissant et miséricordieux, de nous avoir donné la force ,la patience et le courage nécessaire pendant la période de recherche pour mener ce travail à terme.

*Nous voudrions remercier tout particulièrement **M. CHEBI Hocine**, Maître de conférences « A » au Département de l'électronique, Faculté de génie éclectique et de l'informatique à l'UMMTO, de nous avoir encadrés, et a dirigé ce travail. Il nous a incités à entreprendre ce travail. Il nous a ensuite suivis avec rigueur, apportant son aide, son Soutien, Merci pour votre patience dans la correction de ce mémoire. On espère avoir été à la hauteur de votre attente.*

On lui exprime notre sincère gratitude, pour la patience dont il a fait preuve pour nous guider à accomplir ce travail.

*On tient à remercier le chef de département **M. ACHOUR Hakim**, pour son aide, son soutien, pour vos conseils et pour votre patience. Merci aussi, ces adjoints et les responsables de la spécialité instrumentation.*

Nous exprimons notre reconnaissance aux membres du jury d'accepté de juger notre travail.

Remerciements à tous ceux qui, d'une manière ou d'une autre, nous ont aidés et encouragés à la réalisation de ce modeste travail

Un grand merci à tous

LOUNES et IDIR

Dédicaces

***A ceux qui nous ont tout donné sans rien en
retour***

***A nos chers parents, pour leurs amour et leurs
encouragements ce travail est le fruit de vos
sacrifices.***

A nos familles

***A ceux qui nous ont encouragées et soutenues
dans nous
moments les plus difficiles***

***Que ce travail soit le témoignage sincère et
affectueux de nos
profondes reconnaissances pour tout ce que
vous avez fait
pour nous.***

Sommaire

<i>Introduction générale</i>	01
------------------------------------	----

CHAPITRE I : Généralités sur les systèmes de triage (ST)

<i>I.1 Introduction</i>	03
<i>I.2 Définitions</i>	03
<i>I.3 Différents types de déchets</i>	04
<i>I.3.1 Déchets agricoles</i>	04
<i>I.3.2 Déchets ménagers et assimilés</i>	05
<i>I.3.3 Déchets industriels</i>	06
<i>A) Déchets industriels spéciaux (D.I.S)</i>	07
<i>B) Déchets industriels banals (D.I.B)</i>	07
<i>C) Déchets industriels immobiles</i>	07
<i>I.4 Avantage du tri des déchets</i>	08
<i>I.5 Défis et solutions pour la cumulation des déchets</i>	09
<i>I.5.1 Prévention des déchets</i>	09
<i>I.5.2 Recyclage des matériaux</i>	10
<i>I.5.3 Elimination définitive</i>	10
<i>I.6 Systèmes de triage</i>	10
<i>I.6.1 Système de tri mécanique</i>	11
<i>I.6.2 Système de tri aéraulique des déchets (air classification)</i>	12
<i>I.6.3 Système de tri hydraulique et pneumatique</i>	13
<i>I.6.4 Système de tri magnétique</i>	13
<i>I.6.5 Système de tri par courants de Foucault</i>	14
<i>I.6.6 Tri Optique des déchets</i>	14
<i>I.7 Domaines d'application des systèmes triage des déchets</i>	15
<i>I.7.1 Collecteur sélectif des déchets</i>	15
<i>I.7.2 Centres de tri des déchets et recyclage</i>	16
<i>I.7.3 Triage des déchets électronique</i>	16
<i>I.7.4 Triage des déchets médicaux et chimiques</i>	17
<i>I.7.5 Triage des déchets organiques</i>	17
<i>I.8 Conclusion</i>	18

Chapitre II : Instrumentation et conception du système de triage

<i>II.1 Introduction</i>	20
<i>II.2 Objectif du projet</i>	20
<i>II.3 Structure globale du système de triage (schéma synoptique)</i>	20
<i>II.3.1 Structure mécanique</i>	22
<i>A) Boitier extérieur</i>	22
<i>B) Canal de séparation</i>	23

C) Bacs des déchets.....	24
D) Portes coulissantes.....	24
E) Séparateurs des déchets.....	25
F) Couvercle.....	25
II.3.2 Instrumentation (de contrôle, de mesure, et d'action)	26
A) Micro contrôleur Carte ESP 32.....	26
B) Micro contrôleur ESP 32 CAM.....	27
C) Prés actionneur servomoteurs.....	28
D) Clavier.....	28
E) Afficheur LCD I2C.....	29
F) Voyant LED.....	29
G) Connexion par des fils électriques.....	30
II.3.3 Schémas électrique sur PROTEUS.....	30
II.4 Conclusion.....	31

Chapitre III : Classification par apprentissage profond Deep Learning

III.1 Introduction.....	32
III.2 Définition.....	32
III.3 Schémas et Pseudo programme sous le langage Python.....	33
III.3.1 Imports bibliothèques.....	36
III.3.2 Construction du modèle.....	36
III.3.3 Prétraitement des données.....	39
III.3.4 Création des générateurs de données.....	39
III.3.5 Entraînement du modèle.....	40
III.3.6 Visualisation des résultats.....	41
III.3.7 Test sur des données de validation.....	41
III.3.8 Sauvegarde du modèle.....	42
III.3.9 Affichage d'une prédiction spécifique.....	42
III.4 Transfert des données et envoi d'image.....	42
III.4.1 Définition de la fonction doPost(e)	44
III.4.2 Extraction des paramètres de la requête.....	44
III.4.3 Détermination du type de contenu et décodage des données du fichier.....	44
III.4.4 Création d'un objet Blob.....	44
III.4.5 Création ou récupération du dossier de destination.....	44
III.4.6 Création du fichier dans le dossier de destination.....	45
III.4.7 Notification LINE.....	45
III.4.8 Retour de la réponse.....	45
III.5 Partie de test d'images	45
III.5.1 Installation des dépendances.....	47
III.5.2 Montage de Google Drive.....	47
III.5.3 Définition des paramètres MQTT.....	47

<i>III.5.4 Définition de la fonction d'envoi de données.....</i>	<i>47</i>
<i>III.5.5 Chargement du modèle.....</i>	<i>47</i>
<i>III.5.6 Boucle principale.....</i>	<i>47</i>
<i>III.6 Test et explication réels.....</i>	<i>48</i>
<i>III.7 Conclusion.....</i>	<i>49</i>

Chapitre IV : Conception et réalisation de la corbeille intelligente

<i>IV.1 Introduction.....</i>	<i>50</i>
<i>IV.2 Problématique.....</i>	<i>50</i>
<i>IV.3 Solution.....</i>	<i>50</i>
<i>IV.4 Mode de fonctionnement du prototype.....</i>	<i>50</i>
<i>IV.5 Domaine technique.....</i>	<i>54</i>
<i>IV.6 Etat de la technique antérieure.....</i>	<i>54</i>
<i>IV.7 But de l'invention.....</i>	<i>55</i>
<i>IV.8 Programmation du pic ESP32.....</i>	<i>56</i>
<i>IV.8.1 Définition des constantes et des variables.....</i>	<i>56</i>
<i>IV.8.2 Inclusions de bibliothèques.....</i>	<i>56</i>
<i>IV.8.3 Configuration des broches de la caméra.....</i>	<i>57</i>
<i>IV.8.4 Configuration et initialisation de la caméra.....</i>	<i>57</i>
<i>IV.8.5 Fonction en boucle « loop() »</i>	<i>57</i>
<i>IV.8.6 Fonction SendCapturedImage().....</i>	<i>57</i>
<i>IV.8.7 Fonctions d'encodage et de décodage Base64.....</i>	<i>57</i>
<i>IV.9 Programme pour manipuler les composants du protocole par Esp32....</i>	<i>58</i>
<i>IV.9.1 Inclusion des bibliothèques.....</i>	<i>59</i>
<i>IV.9.2 Définition des identifiants du réseau Wi-Fi.....</i>	<i>59</i>
<i>IV.9.3 Définition des paramètres du serveur MQTT.....</i>	<i>59</i>
<i>IV.9.4 Déclaration des objets pour la communication Wi-Fi et MQTT... </i>	<i>60</i>
<i>IV.9.5 Configuration du clavier matriciel.....</i>	<i>60</i>
<i>IV.9.6 Définition des broches pour les servomoteurs.....</i>	<i>60</i>
<i>IV.9.7 Initialisation des servomoteurs.....</i>	<i>60</i>
<i>IV.9.8 Définition des broches pour l'écran LCD et initialisation.....</i>	<i>60</i>
<i>IV.9.9 Validation initialisation de la fonction setup_wifi.....</i>	<i>60</i>
<i>IV.9.10 Application de la fonction callback().....</i>	<i>60</i>
<i>IV.9.11 connexion de la fonction reconnect().....</i>	<i>61</i>
<i>IV.9.12 Démarrage du programme par la fonction setup().....</i>	<i>61</i>
<i>IV.9.13 Fonction en boucle « loop() »</i>	<i>61</i>
<i>IV.10 Résultat en temps réels.....</i>	<i>61</i>
<i>IV.11 Revendications.....</i>	<i>64</i>
<i>IV.12 Etudes technico-économiques.....</i>	<i>64</i>
<i>IV.13 Conclusion.....</i>	<i>65</i>
<i>Conclusion générale.....</i>	<i>67</i>

Références bibliographiques..... 68

AnnexeI

Liste d'abréviations

N°	Abréviations	Signification
1	ST	Systèmes de triage
2	TD	Tri des déchets
3	DIS	Déchets industriels spéciaux
4	DIB	Déchets industriels banals
5	GES	Gaz à effet de serre
6	PET	Polytéréphtalate d'éthylène
7	SPI	Serial Peripheral Interface
8	I2C	Inter-Integrated Circuit
9	LCD	Liquid Crystal Display

Liste des figures

Chapitre I : Généralités sur les systèmes de triage

<i>Figure I.1 : Image illustrative de tri sélectif des déchets.....</i>	<i>04</i>
<i>Figure I.2 : Image représente les déchets agricoles pour le processus de recyclage.....</i>	<i>05</i>
<i>Figure I.3 : Image représente les déchets ménagers et assimilés.....</i>	<i>06</i>
<i>Figure I.4 : Image représente les déchets industriels.....</i>	<i>06</i>
<i>Figure I.5 : Types des déchets industriels, (a) : Déchets industriels spéciaux, (b) : Déchets Industriels banals, et (c) : Déchets industriels immobiles.....</i>	<i>07</i>
<i>Figure I.6 : Image représente l'intérêt et le cycle du tri des déchets.....</i>	<i>08</i>
<i>Figure I.7 : Systèmes de triage mécanique de type, (a) : Fragmentation, (b) : déchiquetage, (c) : criblage</i>	<i>12</i>
<i>Figure I.8 : Dessin de l'unité de séparation aéraulique.....</i>	<i>12</i>
<i>Figure I.9 : Systèmes de triage magnétique de type, (a) : Installation OVERBAND, (b) : Installation poulie magnétique, (c) : Installation tambour magnétique.....</i>	<i>13</i>
<i>Figure I.10 : Image illustrative d'un séparateur a courant Foucault</i>	<i>14</i>
<i>Figure I.11 : Principe de base d'un séparateur de déchets par tri optique.....</i>	<i>15</i>
<i>Figure I.12 : DULE system d'un camion collecteur de déchets (DULE).....</i>	<i>16</i>
<i>Figure I.13 : Système de tri dans un centre de déchetterie.....</i>	<i>16</i>
<i>Figure I.14 : Image représente des déchets électroniques.....</i>	<i>17</i>
<i>Figure I.15 : Machines de triages et recyclage des déchets médicaux.....</i>	<i>17</i>
<i>Figure I.16 : Image représente le cycle des déchets organique.....</i>	<i>18</i>

Chapitre II : Instrumentation et conception du système de triage

<i>Figure II.1 : Structure globale en bloc du système de triage.....</i>	<i>21</i>
<i>Figure II.2 : Image 3D du système de tri automatique, dont le boitier extérieur.....</i>	<i>22</i>
<i>Figure II.3 : Image 3D du canal de séparation.....</i>	<i>23</i>
<i>Figure II.4 : Images 3D représentent les bacs de déchets.....</i>	<i>24</i>
<i>Figure II.5 : Images 3D représentent les portes coulissantes.....</i>	<i>24</i>
<i>Figure II.6 : Images 3D représentent le séparateur de déchets.....</i>	<i>25</i>
<i>Figure II.7 : Image 3D de couvercle.....</i>	<i>25</i>
<i>Figure II.8 : Micro contrôleur ESP 32 de type Dev Module.....</i>	<i>26</i>
<i>Figure II.9 : Micro contrôleur associons à une camera intégré ESP 32-CAM de type Wrover Module.....</i>	<i>27</i>
<i>Figure II.10 : Pré actionneur servomoteur de type servo SG90 9.....</i>	<i>28</i>
<i>Figure II.11 : Clavier de dimension 4x3 pour introduire les consignes.....</i>	<i>29</i>
<i>Figure II.12 : Écran et afficheur à cristaux liquides LCD I2C.</i>	<i>29</i>
<i>Figure II.13 : Voyants LED pour l'affichage et signalisation</i>	<i>30</i>
<i>Figure II.14 : Connecteur électrique pour les liaisons filaires</i>	<i>30</i>
<i>Figure II.15 : Schémas électrique du protocole à réaliser.....</i>	<i>31</i>

Chapitre III : Classification par apprentissage profond Deep Learning

<i>Figure III.1 : Schéma représentatif d'un réseau de neurone.....</i>	<i>33</i>
<i>Figure III.2 : Schémas explicatif du model pré-entraîner.....</i>	<i>33</i>
<i>Figure III.3 : Schémas présentatif de l'architecteur de MobileNetV2.....</i>	<i>37</i>

Figure III.4 : Résultats d'entraînement après apprentissage, (a) : Courbe représente une fonction de perte, (b) ; Courbe représente une fonction de précision.....	41
Figure III.5 : Images utilisé dans la base de données pour les testes.....	42
Figure III.6 : Images après la classification et apprentissage profond Deep Learning.....	42
Figure III.7 : Schéma explicatif de réception de requête http et le prototype.	43
Figure III.8 : Schéma du cycle de teste des images réelles.....	47
Figure III.9 : Test de l'image réelle du cycle d'apprentissage Deep Learning.....	49

Chapitre IV : Conception et réalisation de la corbeille intelligente

Figure IV.1 : Affichage en mode manuelle.....	51
Figure IV.2 : Affichage en mode automatique.....	51
Figure IV.3 : Démonstration du système de triage réalisé.....	53
Figure IV.4 : Schéma global du protocole réalisé.....	53
Figure IV.5 : Image représente les déchets dans leurs bacs.....	55
Figure IV.6 : Schémas explicatif de programme ESP-32 CAM.....	56
Figure IV.7 : Schéma explicatif du programme réalisé sur le contrôleur ESP-32.....	59
Figure IV.8 : Teste d'évaluation en temps réels sur la corbeille intelligente..	63
Figure IV.9 : Corbeille intelligente associe de tous les capteurs et actionneurs plus la partie contrôle.....	64

Annexe

Figure A.1 : Principe et phénomène courant Foucault.....	A
Figure A.2 : Image représente logiciel MQTT Explorer.....	B

Liste des Tableaux

Tableau IV.1 : Cout de la réalisation et étude technico économique..... 65

Introduction générale

Introduction générale

Selon les dernières déclarations des organismes internationaux de la protection de l'environnement, la terre de plus en plus souffre de la pollution, la cause principale c'est l'augmentation croissante du volume des déchets produits par notre mode vie et l'inconscience de cette menace. Chaque personne est responsable de ces actions pour une meilleure gestion écologique, donc un moyen de triage est indispensable pour gérer et réduire l'impact de ces déchets sur l'environnement.

L'obstacle réel dans le sujet de triage c'est de trouver une solution qui touche directement la source des déchets, on distingue plusieurs méthodes de sélection pour nos résidus quotidien, avec des processus complexes et coûteux semblent impossible de les réaliser dans notre espace domicile ou bureautique et même dans les lieux publique.

D'après les derniers innovations, le monde témoigne sur des technologies avancées qui changent l'univers complètement à travers divers domaines tels que l'électronique, l'informatique, télécommunication, etc. Donc on vise à exploiter ce savoir-faire pour évoluer un modèle de triage autonome pour simplifier tout un processus (collection et classification des déchets). Là on propose un système intelligent qui rassemble tous ces combines et les accomplir « la corbeille intelligente ». Cette corbeille intelligente est le résultat de notre recherches à propos des systèmes de triages, c'est un modèle qui utilise l'intelligence artificiel (Deep Learning) et la vision par image pour l'analyse des objets (déchets maisons, hôpitaux, administration) pour deviner leurs natures, à fin les classer dans des bacs spécifiques par un microcontrôleur ESP32.

Après cette introduction du mémoire qui fait ressortir notre approche globale et nos objectifs, Le reste du document est organisé comme suit :

Le Chapitre I nous allons établir un aperçu sur les systèmes de tri automatique, nous aborderons les étapes fondamentales et les étapes utilisées.

Le Chapitre II présente l'instrumentation et la structure globale utilisée pour réaliser le prototype.

Chapitre III : nous présentons notre contribution en termes de classification supervisé suivant l'exploitation du model Deep Learning.

Le Chapitre IV : s'articule autour d'évaluation des performances du système de détection de déchets en trois classes, et réalisation du projet de trie automatique.

Nous concluons ce mémoire en résumant la contribution scientifique proposée dans ce travail et quelques perspectives de recherche pour la continuité de cette thématique de recherche.

CHAPITRE I :

Généralités sur les systèmes de triage (ST)

CHAPITRE I : Généralités sur les systèmes de triage (ST)

I.1 Introduction :

De nos jours, la gestion des déchets est devenue une préoccupation majeure pour préserver notre environnement. Un système de triage des déchets joue un rôle essentiel dans cette démarche. Il permet de séparer les différents types de déchets afin de les traiter de manière appropriée, que ce soit par le recyclage, la réutilisation ou l'élimination.

Dans ce chapitre, nous explorerons l'importance du tri des déchets, ses avantages environnementaux et comment chacun peut contribuer à cette initiative. Les détails de cette section est sont donné comme suite.

I.2 Définitions :

Déchet : Les déchets sont des choses que nous jetons parce que nous n'en avons plus besoin. Ce sont des objets ou des corps que nous considérons comme inutiles ou indésirables. Les déchets peuvent être des restes de nourriture, des emballages vides, des papiers usagés, ou tout ce que nous décidons de jeter à la poubelle.

Tri des déchets : Le tri des déchets est la transformation par lequel les corps encombrants sont séparés, classés en fonction de leur nature ou bien de leur recyclabilité (voir la figure I.1), dans l'objet de faciliter leur gestion et leur traitement appropriés.

L'objectif principal du tri des déchets est de minimiser l'impact environnemental en réduisant la quantité de déchets envoyés aux décharges et en favorisant la récupération et le recyclage des matériaux utiles.

Système de Tri : Un système de tri, c'est comme un organisateur magique pour les déchets. Cela nous aide à séparer différents types de déchets, comme le plastique, le verre, le papier, et d'autres choses, au lieu de tout mélanger dans

une seule poubelle. De cette façon, nous pouvons recycler certaines choses et réduire la quantité de déchets qui finissent à la décharge. Le système de tri rend la gestion des déchets plus facile et contribue à préserver notre planète.



Figure I.1 : Image illustrative de tri sélectif des déchets [1].

I.3 Différents types de déchets :

D'après l'utilisation et la récupération des déchets on peut les regrouper en trois grandes catégories :

- Les déchets agricoles ;
- Les déchets ménagers et assimilés ;
- Les déchets industriels.

Avant de commencer notre étude est nécessaire de donner l'explication détaillée des trois catégories cités ci-dessus.

I.3.1 Déchets agricoles :

Les déchets agricoles sont les restes ou les parties inutilisées des plantes et des animaux après la récolte ou le nourrissage (voir la figure I.2). Par exemple, les tiges de maïs, les feuilles de légumes ou les résidus d'animaux. Ces déchets peuvent être transformés en morceau pour amender les sols, utilisés comme aliment pour les animaux, ou encore pour produire de l'énergie.



Figure I.2 : Image représente les déchets agricoles pour le processus de recyclage [2].

I.3.2 Déchets ménagers et assimilés :

Les déchets ménagers et assimilés sont tout simplement les choses que nous jetons à la maison (voir la figure I.3). Cela inclut les restes de nourriture, les emballages vides, les vieux journaux, les bouteilles en plastique, et d'autres objets que nous n'utilisons plus. Ces déchets proviennent de nos activités quotidiennes à la maison. Il est important de les trier correctement pour le recyclage et de s'assurer qu'ils sont gérés de manière sûre pour protéger notre environnement, et on distingue :

- Ordures ménagères collectées dans le cadre des tournées de ramassage organisées par les municipalités ;
- Déchets encombrants soit collectés en porte à porte, soit réceptionnés dans une installation mise à la disposition des ménages ;
- Déchets végétaux naturels de l'habitat ;
- Déchets de l'automobile (huiles, épaves, batteries, pneus, ...) ;
- Déchets des espaces publics (rues, marchés, égouts, espaces verts) ou des établissements publics (administrations, écoles, hôpitaux, casernes) ;
- Déchets artisanaux et commerciaux.



Figure I.3 : Image représente les déchets ménagers et assimilés [3].

I.3.3 Déchets industriels :

Les déchets industriels sont des choses que les entreprises produisent et n'utilisent plus. Ce sont souvent des matériaux ou des substances provenant de processus de fabrication ou de production (voir la figure I.4). Par exemple, des morceaux de métal, des produits chimiques utilisés pendant la fabrication, ou même des équipements obsolètes. Il est important de gérer ces déchets de manière sûre et responsable pour éviter tout impact négatif sur l'environnement [4]. Ils sont classés, selon leurs caractères plus ou moins polluants en trois grandes catégories :

- Les déchets industriels spéciaux ;
- Les déchets industriels banals ;
- Les déchets industriels immobiles.



Figure I.4 : Image représente les déchets industriels [5].

A) Déchets industriels spéciaux (D.I.S.) :

Contiennent des éléments polluants en concentration plus ou moins forte. Ils présentent certains risques pour la santé de l'homme et l'environnement, voir la figure I.5 (a).

B) Déchets industriels banals (D.I.B.) :

Appelés quelque fois déchets industriels assimilés aux déchets ménagers, sont constitués de déchets non dangereux. Ils contiennent effectivement les mêmes composants que les déchets ménagers mais en proportions différentes, comme il montre la figure I.5 (b).

C) Déchets industriels immobiles :

Ce sont des déchets non susceptibles d'évolution physique, chimique ou biologique importante. Ils sont essentiellement constitués de déblais et gravats et ne doivent pas être mélangés avec d'autres déchets, ils sont souvent à l'origine de décharges sauvages, voir la figure I.5 (c).



Figure I.5 : Types des déchets industriels, (a) : Déchets industriels spéciaux [6], (b) : Déchets industriels banals [7], et (c) : Déchets industriels immobiles [8].

I.4 Avantage du tri des déchets :

L'un des avantages du tri est que les déchets pouvant être recyclés sont récupérés, puis transformés pour répondre à différents besoins comme la figure I.6. Dans d'autres cas, ils sont détruits mais de façon appropriée et adaptée. Cela réduit considérablement le volume des déchets qui finissent dans les décharges et permet de préserver l'environnement. On pense souvent aux emballages en papier ou en plastique qui finissent par être jetés dans des poubelles aux couleurs spécifiques pour le tri [9].



Figure I.6 : Image représente l'intérêt et le cycle du tri des déchets [10].

Le recyclage évite les pollutions produites par l'extraction des ressources naturelles. Il réduit les gaz à effet de serre responsables du réchauffement climatique [10].

Un autre avantage du tri est d'économiser de l'énergie. En effet, la production de nouveaux produits à partir de matériaux recyclés nécessite moins d'énergie que celle de produits neufs fabriqués à partir de matières premières et en partant de zéro.

En recyclant les matériaux, on évite d'utiliser des matières premières qui peuvent finir par s'épuiser. De même, le recyclage du papier permet de préserver

les arbres et les forêts, qui sont la source de la matière première utilisée pour produire du papier.

I.5 Défis et solutions pour la cumulation des déchets :

Des fois les déchets qui ne sont pas assemblés de manière appropriée se retrouvent dans l'environnement. Lorsqu'ils se décomposent, leurs particules sont libérées et polluent l'entourage. Pour ces raisons on propose les solutions suivantes : Prévention des déchets, recyclage des matériaux, élimination définitive.

I.5.1 Prévention des déchets :

La prévention des déchets : est définie comme étant toutes mesures prises avant qu'une substance, une matière ou un produit ne devienne un déchet, lorsque ces mesures concourent à la réduction d'au moins un des concepts suivants :

- La quantité de déchets générés, y compris par l'intermédiaire duré emploi ou de la prolongation de la durée d'usage des substances, matières ou produits.
- Les effets nocifs des déchets produits sur l'environnement et la santé humaine [11].

Réduire les emballages : de plus de 30% du poids (et 50% du volume) de notre poubelle est constitué d'emballages. Pour réduire cette quantité, nous pouvons acheter des aliments en vrac, choisir des grands conditionnements, éviter les doses individuelles, choisir des recharges, cuisiner des produits frais au lieu d'acheter des plats préparés [12].

Éviter le gaspillage alimentaire : Chaque personne jette environ entre 15 et 20kg d'aliments par an qui n'ont pas été consommés. Prévoir une liste des courses, bien gérer son frigo et préparer les restes alimentaires permet de réduire cette quantité de nourriture gaspillée.

I.5.2 Recyclage des matériaux :

Le recyclage consiste à rénover les matières premières qui sont contenues dans les déchets, en les récupérant et en les réintroduisant dans le cycle de production d'un produit.

Il existe de nombreuses techniques de recyclage pour différentes matières. Voici les exemples les plus courants :

- L'acier des cannettes de boissons et boîtes de conserve peut être fondu et réintégré dans la fabrication de nouvelles cannettes et boîtes de conserve, bidons industriels, conditionnements pour produits de beauté et pour produits d'entretien, pièces de voitures et appareils électroménagers [12].
- La liaison de bois contenue dans les vieux papiers et cartons peut être réutilisée dans la production de papier recyclé, cartons, journaux, magazines, papier hygiénique, etc.

I.5.3 Elimination définitive :

Pour l'élimination définitive concernent tous les déchets qui ne sont ni recyclés, et ni rénovés autrement, sont déposés dans une décharge. C'est la solution la moins durable, car outre le fait qu'elle présente de nombreux inconvénients pour l'environnement et la santé humaine elle ne permet pas de réduire la quantité de déchets.

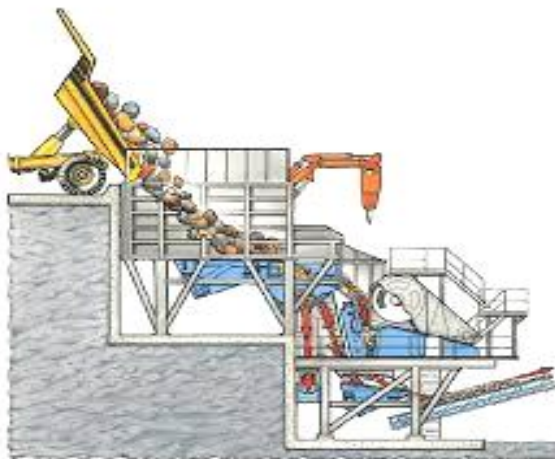
I.6 Systèmes de triage :

Le principe globale de notre projet est de réaliser un prototype du système de tri des déchets, et pour ces systèmes on trouve plusieurs, mais la seule différence par rapport au milieu d'environnement (mécanique, optique, magnétique.....etc.). Dans ce la on les classe comme suit :

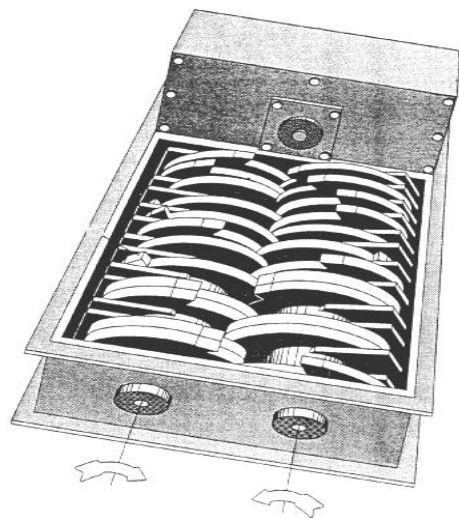
I.6.1 Système de tri mécanique :

Il s'agit d'un processus utilisant des machines pour séparer différents types de déchets, tels que le plastique, le verre, le métal, ...etc. et le principe de base des installations de tri mécanique sont conçues pour améliorer le recyclage. On les classe dans trois prototypes :

- **Tri par réduction de taille (fragmentation) :** Cette opération s'adresse aux solides dont la taille veut être réduite et/ou à augmenter la surface en des éléments ou particules de taille inférieure et de granulométrie déterminée voir figure I.7 (a).
- **Tri par déchiquetage (broyage) :** Consiste à modifier la taille, la forme, et la surface des particules généralement des matières solides voir la figure I.7 (b).
- **Tri par criblage :** Est une opération actuellement simple et modeste avec les nouveaux systèmes de tris, ces dernier incluant beaucoup de choix de fonctions par apport à la coupure granulométrique du crible voir figure I.7 (c).



(a)



(b)

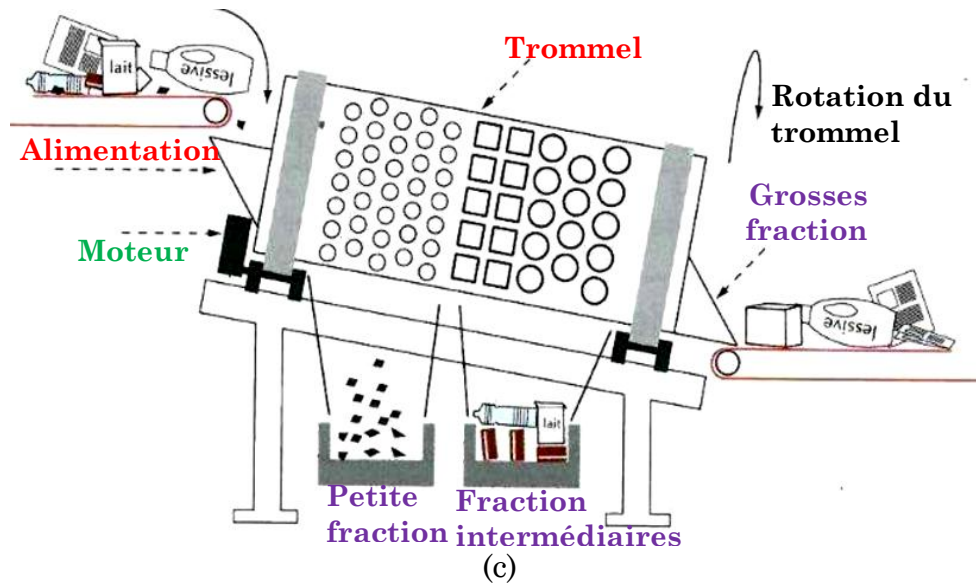


Figure I.7 : Systèmes de triage mécanique de type, (a) : Fragmentation [13], (b) : déchiquetage [14], (c) : criblage [14].

I.6.2 Système de tri aéraulique des déchets (air classification) :

Une insufflation d'air soulève et entraîne les déchets légers et de faible densité tels que les papiers, les séparant du reste des déchets (c.-à-d. les lourds) destinés au refus (voir la figure I.8). Ce tri est destiné généralement pour récupérer les papiers et les plastiques.

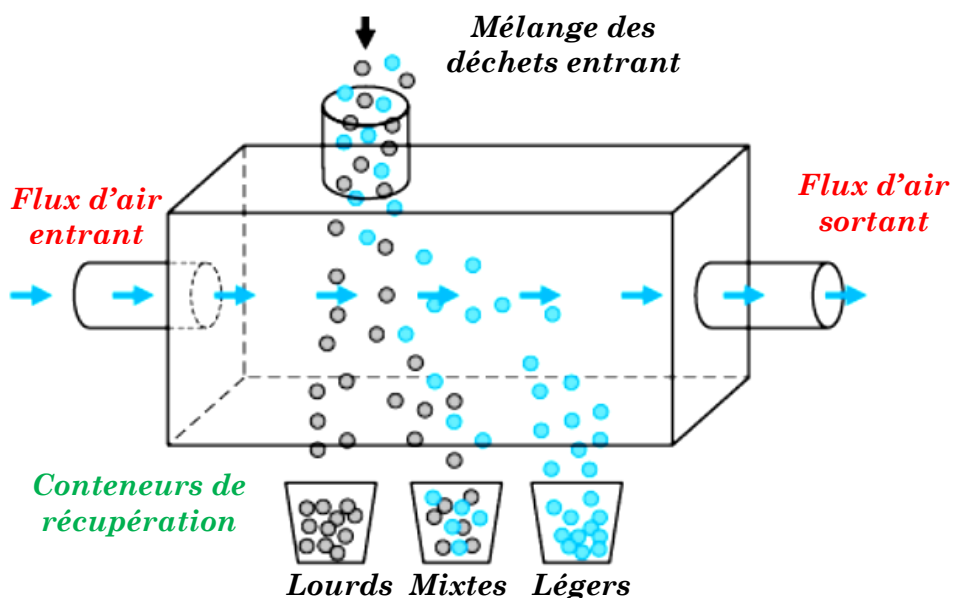


Figure I.8 : Dessin de l'unité de séparation aéraulique [14].

I.6.3 Système de tri hydraulique et pneumatique :

Le tri ou bien la classification pneumatique est l'ensemble des procédés permettant la séparation de particules solides en suspension dans un flux d'air, méthode s'appuyant sur les mouvements relatifs des particules les unes par rapport aux autres et de ces mêmes particules par rapport à l'air, lorsque l'ensemble solide et liquide est soumis à l'action d'un champ d'accélération (gravité ou accélération centrifuge). Par contre la classification hydraulique est l'équivalent de la classification pneumatique, uniquement dans ce cas on utilise un liquide (souvent de l'eau) comme fluide [15].

I.6.4 Système de tri magnétique :

Le tri magnétique est un procédé qui utilise la force engendrée par un champ magnétique (*définie dans l'annexe*) pour aimanter de façon sélective les corps qui présentent la plus grande aptitude à l'aimantation [16]. Ils sont considérés comme des étapes de protection des installations de régénération ultérieure et de mise en œuvre par les procédés plasturgiques qui ne tolèrent pas la présence de pièces métalliques [14].

Pour la technologie utilisée dans les systèmes le tri magnétique existe trois types d'installation : l'OVERBAND ; la poulie magnétique ; et le tambour magnétique.

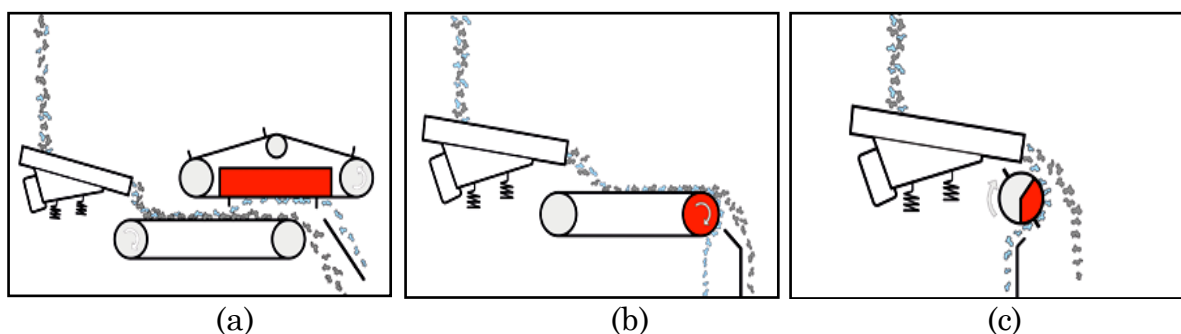


Figure I.9 : Systèmes de triage magnétique de type, (a) : Installation OVERBAND, (b) : Installation poulie magnétique, (c) : Installation tambour magnétique [17].

I.6.5 Système de tri par courants de Foucault :

Les séparateurs à courant de Foucault (voir le principe dans l'annexe), ou séparateurs non-ferreux, séparent les métaux non magnétiques. Ils purifient des flux de vrac importants ou séparent les métaux non-ferreux pour une réutilisation. Ces séparateurs (voir la figure I.10) connaissent de nombreuses applications. Ils peuvent traiter de grandes quantités parce que la bande transporteuse sépare et évacue automatiquement et en continu les métaux non-ferreux [17].

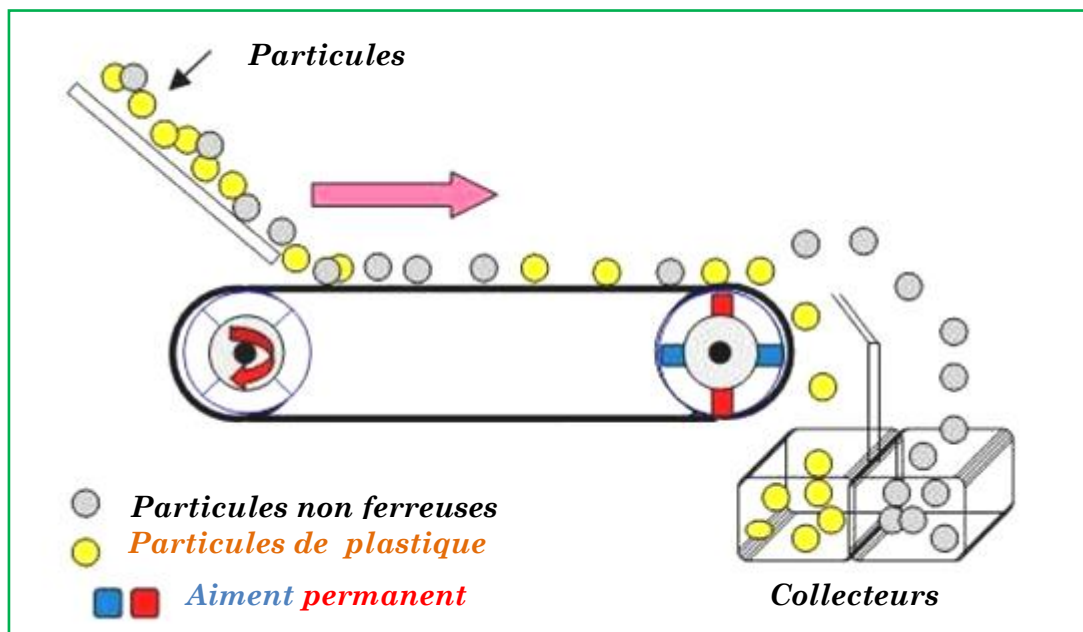


Figure I.10 : Image illustrative d'un séparateur à courant Foucault [18].

I.6.6 Tri Optique des déchets :

Des machines de tri optique effectuent le tri entre les résines plastiques par exemple : polytéréphtalate d'éthylène (PET), polypropylène, et les papiers et cartons. Ces appareils (voir la figure I.11) fonctionnent sur le principe de la spectrométrie infrarouge (camera ou spectrocolorimétrie). Les déchets sont éjectés de la ligne de tri via un souffle d'air comprimé et sont orientés vers de nouveaux tapis roulants pour être regroupés selon les grandes catégories de matières, prêt à recyclé [20].

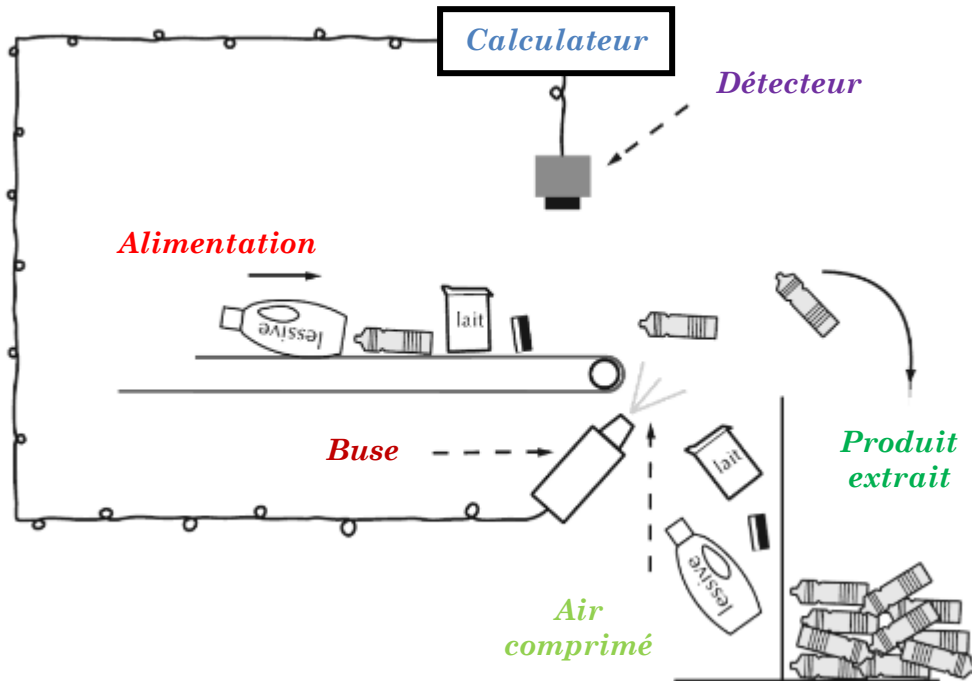


Figure I.11 : Principe de base d'un séparateur de déchets par tri optique [21].

I.7 Domaines d'application des systèmes triage des déchets :

On trouve les systèmes de triage dans des vastes domaines différents, on cite:

I.7.1 Collecteur sélectif des déchets :

Ce système appelé aussi DULE system, c'est un exemple de collection sélective des déchets (voir la figure I.12), composé d'un dispositif robotisé mono-opérateur bilatéral entièrement automatique capable de collecter divers conteneurs de surface source, les séparer. Le système se complète des dispositifs de collecte et de lavage [22].



Figure I.12 : DULE system d'un camion collecteur de déchets (DULE) [22].

I.7.2 Centres de tri des déchets et recyclage :

Une déchetterie automatisée est une bonne solution pour évacuer efficacement les déchets de différentes classes. Les installations de recyclage automatisées fonctionnent de manière fiable, rapide, efficace et, surtout, rentable. Grâce au principe de conception modulaire, ces installations comme la figure I.13, qui offrent une grande liberté individuelle dans leur construction.



Figure I.13 : Système de tri dans un centre de déchetterie [23].

I.7.3 Triage des déchets électronique :

Les déchets électriques et électroniques (voir la figure I.14 ci-dessous) constituent une part peu importante mais croissante des 2,01 milliards de tonnes de déchets solides qui sont produits chaque année dans le monde. Ils ont toute

fois ceci de différent du verre, du papier, du bois, et d'autres matériaux mis au casse qu'ils contiennent non seulement des matières dangereuses, mais aussi des composants de valeur, et nécessitent par conséquent un traitement spécial [24].



Figure I.14 : Image représente des déchets électroniques [25]

I.7.4 Triage des déchets médicaux et chimiques :

Les déchets chimiques et pharmaceutiques (voir la figure I.15) seront triés et collectés séparément. Les sous-catégories incluent: les déchets de mercure, les ampoules, les piles, les bains photographiques, les substances chimiques de laboratoire, les pesticides, les médicaments [26].



Figure I.15 : Machines de triages et recyclage des déchets médicaux [27].

I.7.5 Triage des déchets organiques :

Les déchets organiques sont acheminés vers des centres spécialisés où des équipes les trient automatiquement. Selon leur nature, ces déchets seront ensuite valorisés via le compostage ou la méthanisation (voir la figure I.16).

- **Pour le compostage** : les déchets sont broyés et mélangés à des copeaux, la transformation se fait lentement grâce à des vers, des champignons et des bactéries. A la fin du cycle, le compost ressemble à une terre relativement foncée et granuleuse, qui est conditionnée pour être vendue. Un engrais naturel parfait pour fertiliser les sols de son jardin [28].
- **La méthanisation** : consiste à transformer des déchets organiques (déchets verts, bio déchets, déchets agricoles, etc.) en biogaz, essentiellement du méthane. Enfermés dans une cuve appelée digesteur, les déchets vont fermenter et produire au bout d'un mois ce biogaz. Il sera utilisé dans le réseau de gaz naturel, pour produire de la chaleur ou encore comme carburant de certains véhicules [28].

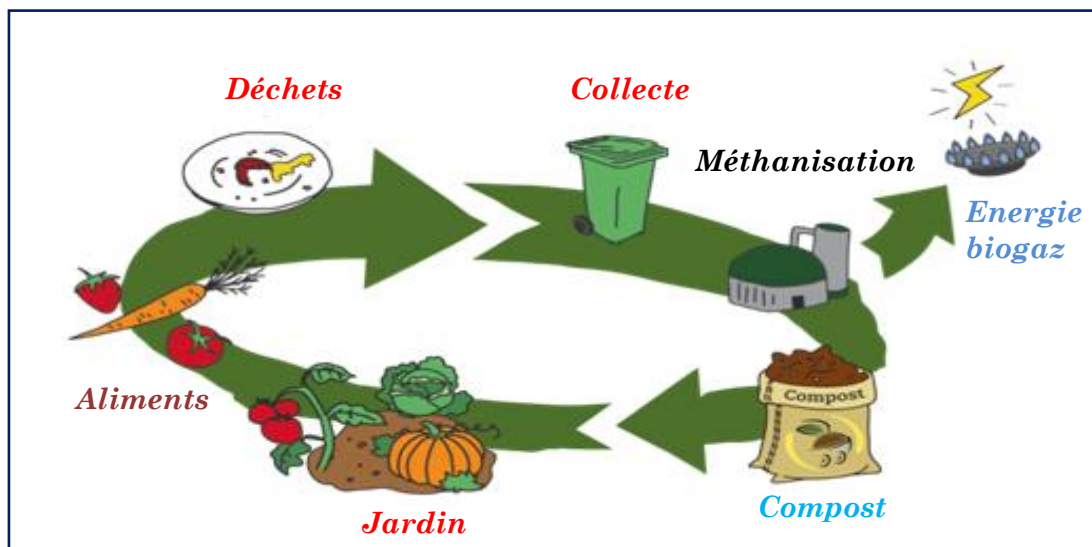


Figure I.16 : Image repésentante le cycle des déchets organique [29].

I.8 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons discutés sur les généralités des systèmes de triage qui offre une introduction complète et instructive sur l'importance déterminante du triage dans divers contextes. En examinant les principes fondamentaux du triage, le lecteur acquiert une compréhension approfondie des objectifs leurs applications spécifiques, des méthodes utilisées, plus en détail les différents types de systèmes de triage, et des enjeux liés à cette pratique essentielle.

Dans le chapitre suivant, on propose une structure globale synoptique pour réaliser notre projet, on commence de l'instrumentation électronique et la conception mécanique vue d'ensemble cohérente et éclairante les bases nécessaires pour explorer plus en détail la conception et la réalisation.

CHAPITRE II :

Instrumentation et conception du système de triage

Chapitre II : Instrumentation et conception du système de triage

II.1 Introduction :

L'instrumentation et la conception des systèmes mécaniques combiné est la clé pour réaliser un système de triage adapter aux nouvelles demandes et exigences de ce temps, pour traiter mieux nos déchets, donc on s'intéresse à la mise en place des techniques pour automatiser et optimiser le processus de tri. Cela implique de choisir une bonne structure mécanique et des instruments électroniques corrects pour identifier les différents types de matériaux, d'inventer des systèmes de contrôle pour guider le processus de tri, et de garantir la sécurité et l'efficacité du système.

Ce chapitre couvrira l'intérêt pour l'instrumentation et la conception des systèmes de triage qu'est important pour réaliser notre projet "**Corbeille intelligente**".

II.2 Objectif du projet :

Nous sommes convaincus que ce domaine à un rôle crucial à jouer dans la gestion continu des déchets urbains et que le projet "**Corbeille intelligente**" peut être un véritable succès. Principalement ce projet vise à identifier et trier les différents types de déchets tels que **papier**, **plastique** et le **métal**.

L'objectif principal est son impact environnemental positif ; la réduction de la quantité de déchets envoyés en décharge et l'augmentation du taux de recyclage contribuent à la protection de l'environnement et à la préservation des ressources naturelles, ainsi son développement nécessite de faire appel à des technologies en matière d'instrumentation, de traitement du signal et de contrôle.

II.3 Structure globale du système de triage (schéma synoptique) :

Le schéma tracer dans la figure II.1, explique les différents instruments (capteurs et actionneurs) plus la partie de contrôle (à travers le microcontrôleur ESP32).

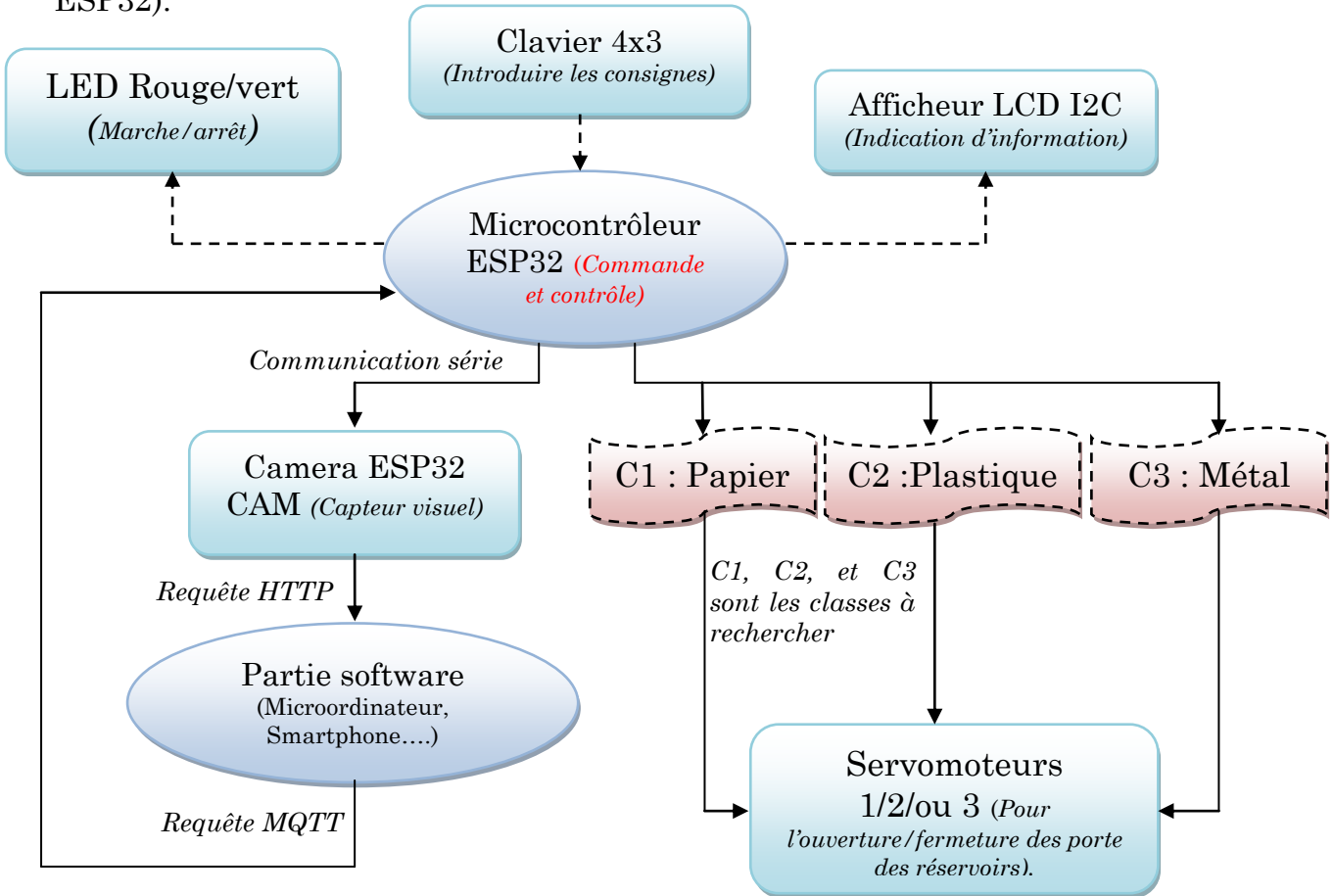


Figure II.1 : Structure globale en bloc du système de triage.

Après avoir visualisé ce schéma, nous pouvons explorer les deux modes de fonctionnement, manuel et automatique pour comprendre comment la machine effectue le triage des déchets.

Dans ce système, le mode manuel implique l'utilisation d'un clavier (introduire des consignes), afficheur LCD (indication d'information) et des Servomoteurs (1,2 et 3) pour contrôler le processus. Cela signifie que l'utilisateur interagit directement avec la machine en tapant des commandes sur un clavier (4*3) pour lui dire quoi faire.

En revanche, le mode automatique utilise une caméra « ESP32-CAM » pour effectuer le triage. Dans ce mode, la caméra est chargée de reconnaître les différents types de déchets tels que le papier, le plastique et le métal. Une fois que la caméra identifie le type de déchet, elle peut déclencher les mécanismes appropriés (Servomoteurs 1,2 et 3) pour trier efficacement les déchets dans leurs bacs spécifiques.

En résumé, le mode manuel nécessite une interaction directe de l'utilisateur via un clavier, tandis que le mode automatique repose sur la capacité de la caméra à reconnaître et trier les déchets sans intervention directe.

II.3.1 Structure mécanique :

Avant de commencer tel étape, la structure mécanique est obligatoire à représenter car c'est le socle du prototype (figure II.2), et pour ce faire on doit les décomposer en plusieurs pièces suivantes :

A) Boîtier extérieur : Le boîtier extérieur proposé de notre projet est conçu d'une manière adaptée au milieu administratif et domestique pour être facile à positionner et à déplacer avec un design exceptionnel (voir la figure II.2), qui contient les composants mécaniques et électroniques nécessaires pour le bon fonctionnement du système.

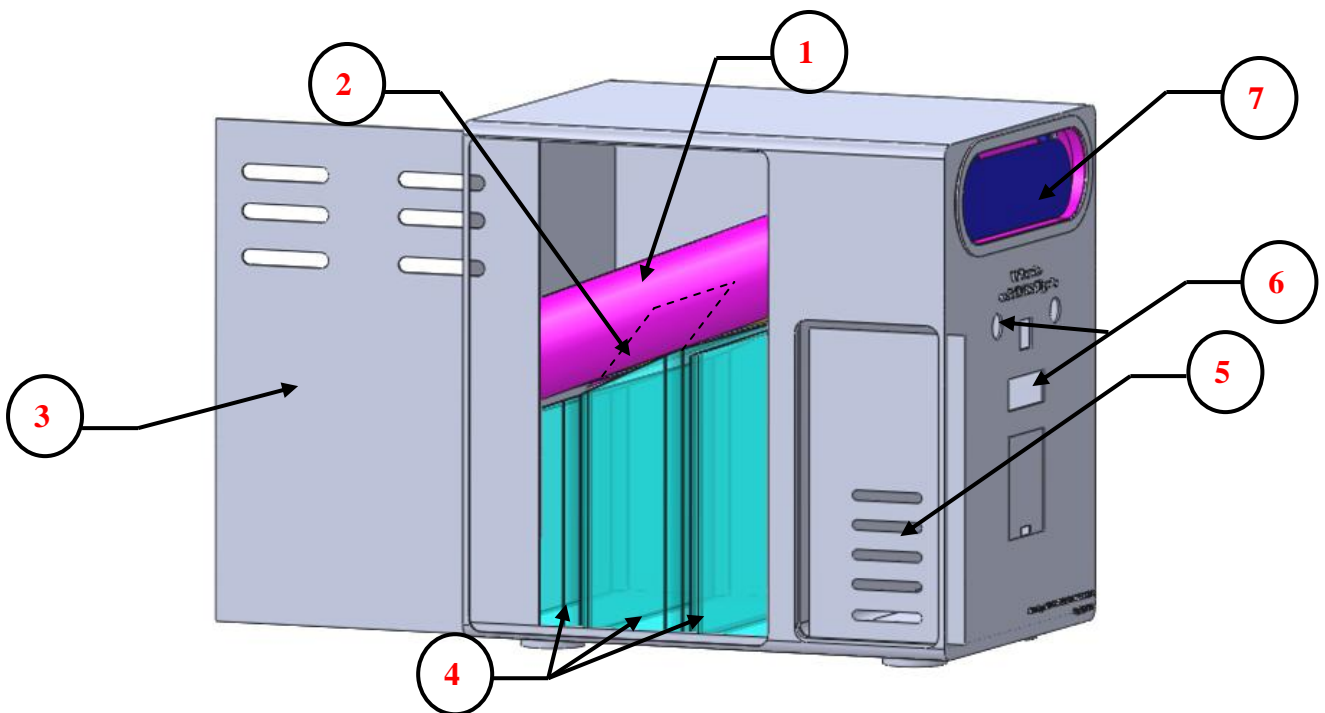


Figure II.2 : Image 3D du système de tri automatique, dont le boîtier extérieur.

Le prototype réalisé est composées par plusieurs parties qui sont suivantes :

1. Canal du séparation ;
2. Séparateur de déchets ;
3. Boitier extérieur et porte colissante ;
4. Bacs de déchets ;
5. L'emplacemet pour le circuit de commande et d'alimentation ;
6. Vu de face pour l'affichage, led de signalisation ;
7. Couvercle manuel.

B) Canal de séparation :

C'est l'élément principal responsable de la distribution des différents types des déchets et les orienter à leurs bacs correspond voir numéro (1) dans la figure II.2, avec un mécanisme incliné de 30 degrés par rapport au toit de boitier extérieur à base d'une force de gravité.

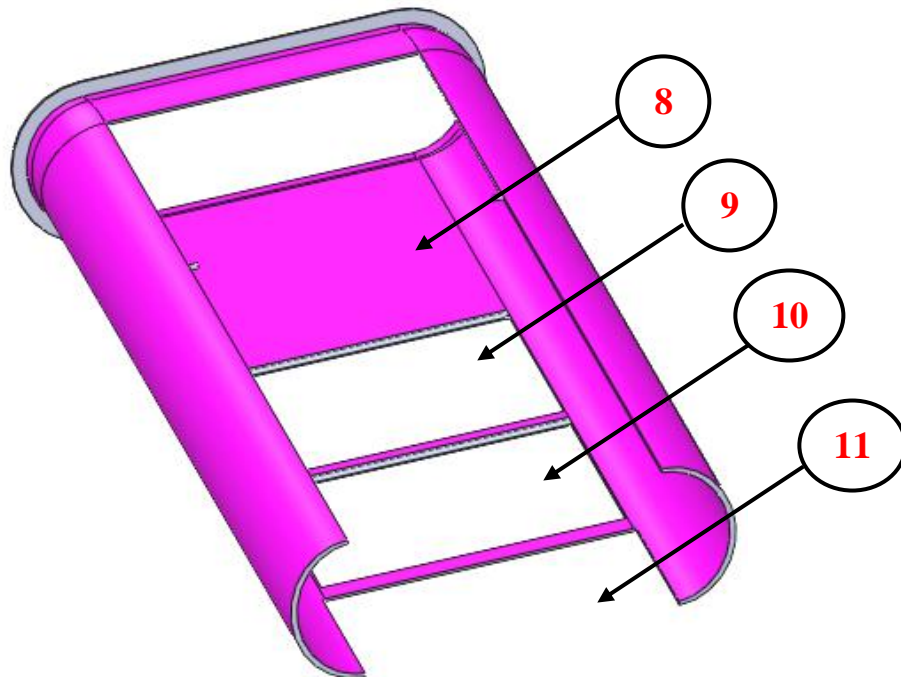


Figure II.3 : Image 3D du canal de séparation.

8. Espace de test d'image et detection d'objets;
9. Premier puit de classe detecté ;
10. Deuxième puit de classe detecté ;
11. Troisième puit de classe detecté.

C) Bacs des déchets :

Pour ce projet on a compté trois types de déchets avec ordres numéro (12) : bac1 pour le papier, bac2 pour le plastique, et le dernier bac3 pour le métal, chaque un son emplacement spécifique séparément.

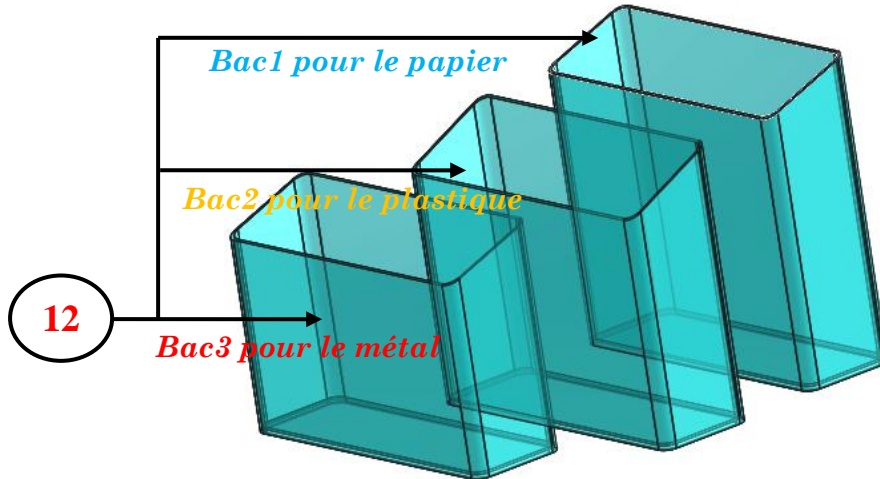


Figure II.4 : Images 3D représentent les bacs de déchets.

D) Portes coulissantes :

Pour accéder aux bacs des déchets et les vider en cas de remplissage on ouvre la grande porte numéro (13), et pour le circuit électronique c'est le cas de la deuxième numéro (14) (voir la figure II.4).

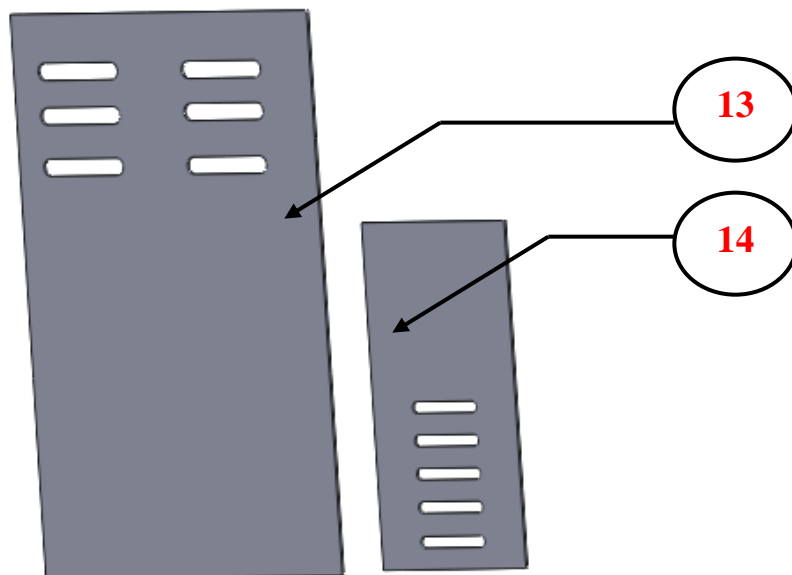


Figure II.5 : Images 3D représentent les portes coulissantes.

E) Séparateurs des déchets :

On a met trois séparateurs, leurs fonction est ouverture/fermeture à fin de classifier les déchets dans des bacs spécifier par leurs natures avec un servomoteur contrôlé (voir figure II.5).

15. Surface de collisions des déchets.

16. Tige de liaison entre le séparateur et le servomoteur.

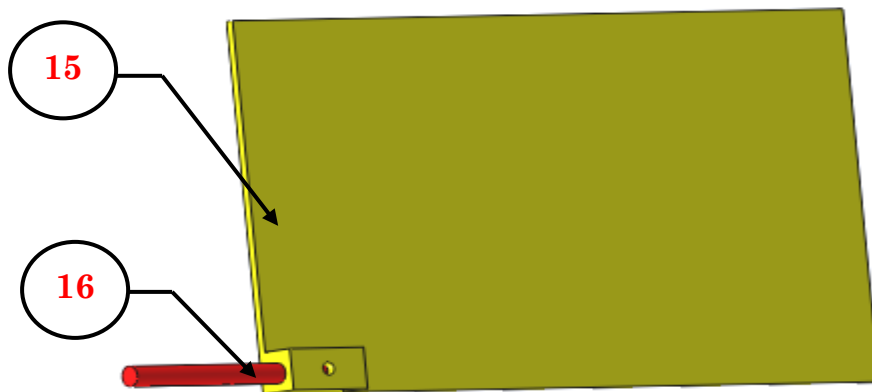


Figure II.6 : Images 3D représentent le séparateur de déchets.

F) Couvercle :

Est un accessoire situer (contraire au bout), cache les pièces mécaniques visible en face direct aussi il empêche l'échappement des ordures indésirables .

17. Axes de rotation de couvercle et le boitier extérieur.

18. Façade de couvercle.

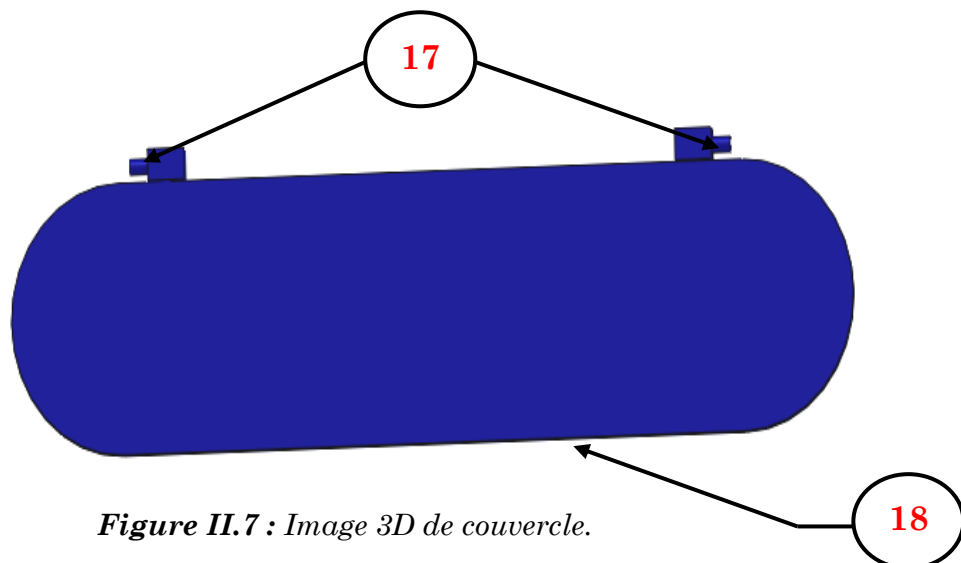


Figure II.7 : Image 3D de couvercle.

II.3.2 Instrumentation (de contrôle, de mesure, et d'action) :

Pour réaliser le projet de tri automatique, on utilise les instrument de contrôle, de mesure et d'action suivants :

A) Micro contrôleur Carte ESP 32 :

Le microcontrôleur ESP32 est une petite puce électronique qui permet de connecter des appareils à Internet et de réaliser des projets de domotique ou de robotique. C'est un petit cerveau pour des objets connectés. Elle peut se connecter en Wi-Fi ou Bluetooth, ce qui la rend très polyvalente pour des projets variés.



Figure II.8 : Micro contrôleur ESP 32 de type Dev Module [30].

Cette carte de la figure II.9 dispose:

- **3V3** : Alimentation en 3.3V.
- **GND** : Masse, pour refermer le circuit.
- **EN** : Utilisé pour redémarrer la puce.
- **Vin** : Alimentation alternative, souvent 5V.
- **GPIO** : Broches numériques utilisées pour les entrées et sorties. Par exemple, GPIO 0, GPIO 2, GPIO 16, etc.
- **ADC** : Convertisseurs analogique-numérique, comme ADC1 et ADC2, pour lire des signaux analogiques.
- **DAC** : Convertisseurs numérique-analogique, utilisés pour générer des signaux analogiques à partir de valeurs numériques.
- **SPI** : Interface pour connecter des périphériques SPI (Serial Peripheral Interface).
- **I2C** : Interface pour connecter des périphériques I2C (Inter-Integrated Circuit), avec SDA (données) et SCL (horloge).
- **UART** : Interface pour la communication série, avec TX (transmission) et RX (réception).
- **PWM** : Modulation de largeur d'impulsion, pour contrôler des moteurs ou des LEDs avec des signaux analogiques simulés.

B) Micro contrôleur ESP 32 CAM :

Le micro contrôleur intégré d'une camera ESP32-CAM (figure II.8) est une petite carte électronique qui intègre une caméra et permet de capturer des images ou des vidéos et de les envoyer via Wi-Fi. C'est comme un mini appareil photo connecté à Internet. Elle est idéale pour des projets de surveillance, de reconnaissance faciale, ou pour créer des caméras de sécurité maison. Elle est populaire parmi les étonnants d'électronique pour sa facilité d'utilisation et son coût abordable.

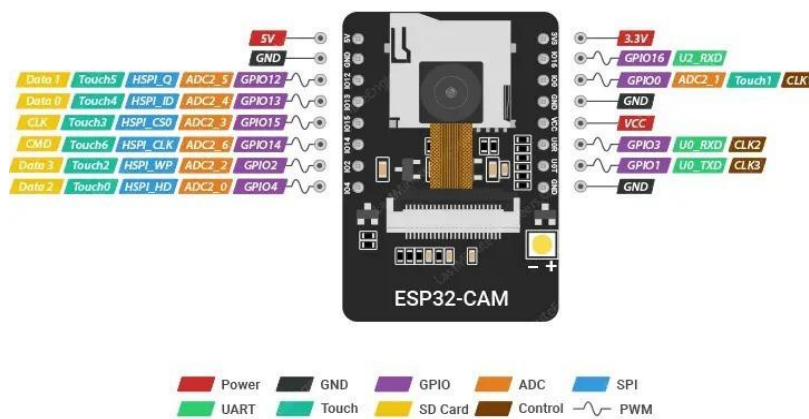


Figure II.9 : Micro contrôleur associées à une camera intégré ESP 32-CAM de type Wrover Module [31].

Cette carte dispose :

- **3V3** : Alimentation en 3.3V.
- **GND** : Masse, pour refermer le circuit.
- **EN** : Utilisé pour redémarrer la puce.
- **U0R (RX)** : Réception des données série (UART).
- **U0T (TX)** : Transmission des données série (UART).
- **GPIO 1** : TX (sortie série).
- **GPIO 3** : RX (entrée série).
- **GPIO 16** : Utilisé souvent pour le flash LED.
- **GPIO 0** : Utilisé pour la mise en mode flash (boot mode).
- **GPIO 2** : Connecté à la LED de la carte.
- **GPIO 4** : Données de la caméra (D2).
- **GPIO 12** : Données de la caméra (D6) et carte SD (D2).
- **GPIO 13** : Données de la caméra (D7) et carte SD (D3).
- **GPIO 14** : Données de la caméra (D5) et carte SD (CLK).
- **GPIO 15** : Données de la caméra (D4) et carte SD (CMD).

C) Prés actionneur servomoteurs :

Le pré actionneur de type micro servo SG90 9g (figure II.9) est un petit moteur utilisé dans des projets électroniques pour créer du mouvement. C'est un peu comme un petit bras robotisé qui peut tourner à gauche ou à droite. On l'utilise souvent pour faire bouger des objets légers, comme des roues, des leviers ou des petites portes.

- **Fil Rouge (VCC) :** Alimentation positive (5V)
- **Fil Marron ou Noir (GND) :** Masse (GND)
- **Fil Orange (Signal) :** Signal de commande



Figure II.10 : Pré actionneur servomoteur de type servo SG90 9g [32].

D) Clavier :

Un clavier 4x3 est un type de clavier ou pavé numérique qui a 4 rangées et 3 colonnes de touches. On le trouve souvent sur les téléphones, les calculatrices et certains claviers numériques.

- **Rangées :** Il y a quatre rangées horizontales.
- **Colonnes :** Il y a trois colonnes verticales.

Ce type de clavier est utilisé pour entrer des chiffres de manière simple et rapide et des commandes dans des projets Arduino.



Figure II.11 : Clavier de dimension 4x3 pour introduire les consignes [33].

E) Afficheur LCD I2C :

Un afficheur LCD I2C est un écran qui affiche des informations et se connecte facilement à une carte ESP32 grâce à l'interface I2C, qui utilise seulement deux fils pour la communication.

- **LCD** : Écran à cristaux liquides (Liquid Crystal Display) qui peut afficher des lettres, des chiffres, et des symboles.
- **I2C** : Interface de communication qui utilise deux fils (SDA pour les données et SCL pour l'horloge) pour envoyer des informations entre l'ESP32 et l'écran.

Cet afficheur est utile pour afficher des messages, des valeurs de capteurs, ou des états de programme dans des projets électroniques.



Figure II.12 : Écran et afficheur à cristaux liquides LCD I2C [34].

F) Voyant LED :

Les éléments d'affichage voyant LED (diode électroluminescente) est un petit composant électronique qui produit de la lumière lorsqu'il est traversé par

un courant électrique, leur but l'indication état marche et arrêt du prototype de triage.



Figure II.13 : Voyants LED pour l'affichage et signalisation [35].

G) Connexion par des fils électriques:

Un fil électrique est un conducteur en métal, généralement en cuivre ou en aluminium, recouvert d'une isolation en plastique, utilisé pour transporter l'électricité d'un point à un autre.

- **Conducteur** : Le métal à l'intérieur conduit l'électricité.
- **Isolation** : Le plastique autour protège et empêche les courts-circuits.



Figure II.14 : Connecteur électrique pour les liaisons filaires [36].

II.3.3 Schémas électrique sur PROTEUS :

Réaliser des schémas sur Proteus est très important pour notre projet. Cela nous permet de visualiser et de planifier le circuit électronique avant de le construire. Avec Proteus, on peut tester les connexions, vérifier le fonctionnement des composants et identifier les erreurs potentielles. Cela nous aide à gagner du temps, à éviter des erreurs coûteuses et à assurer que notre projet fonctionne correctement dès le début.

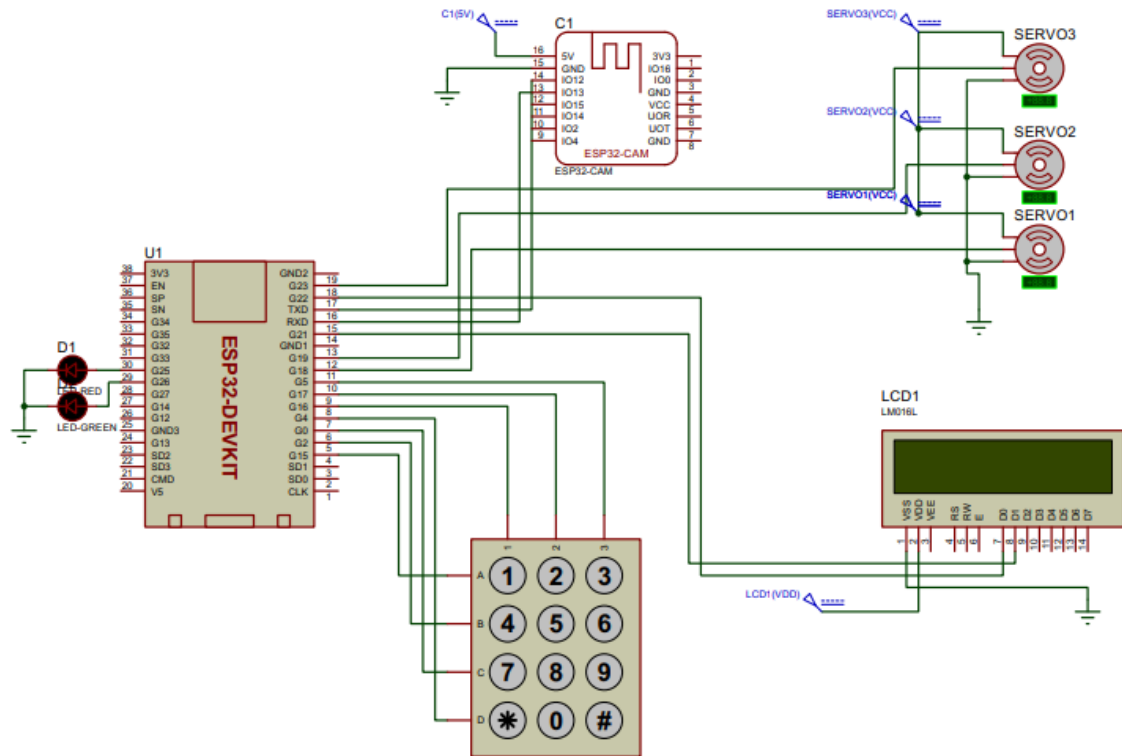


Figure II.15 : Schémas électrique du protocole à réaliser.

II.4 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons vu que l'étude des instruments électroniques est essentielle pour réaliser notre projet (système de tri des déchets) efficace. Les microcontrôleurs, capteurs, les actionneurs et autres composants jouent un rôle fondamental pour le bon fonctionnement du système, permettent de détecter et de trier les déchets correctement, Par ailleurs, les structures mécaniques assurent la stabilité et la précision de l'ensemble du processus, garantissant que les objets sont acheminés correctement aux différents points de tri.

Ensuite, dans les prochaines étapes on essaye d'étudier une méthode de classification qui convient pour ce prototype.

CHAPITRE III :
Classification par
apprentissage profond
Deep Learning

Chapitre III : Classification par apprentissage profond Deep Learning

III.1 Introduction :

L'instrumentation et la conception des systèmes de triage est un domaine qui s'intéresse à la mise en place de technologies et de techniques pour automatiser et optimiser le processus de tri. Cela implique de choisir les capteurs et les instruments corrects pour identifier les différents types de matériaux, d'inventer des systèmes de contrôle pour guider le processus de tri, et de garantir la sécurité et l'efficacité du système.

Ce chapitre couvrira l'intérêt pour l'instrumentation et la conception des systèmes de triage qu'est important pour réaliser notre projet "**Corbeille intelligente**".

III.2 Définition :

Le Deep Learning, une branche du Machine Learning, utilise des architectures hiérarchiques supervisées comprenant plusieurs couches de calcul itératif pour des tâches d'analyse et de classification. Ces techniques exploitent des réseaux de neurones artificiels pour extraire des caractéristiques hiérarchiques des données d'entrée, les transformant en représentations vectorielles. Cette approche englobe diverses méthodes, telles que les réseaux de neurones, les modèles probabilistes hiérarchiques, et différents algorithmes supervisés et non supervisés d'apprentissage des fonctionnalités.

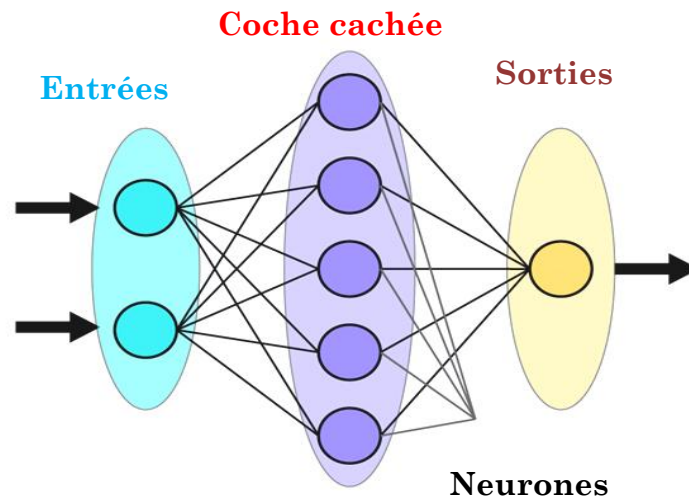


Figure III.1 : Schéma représentatif d'un réseau de neurone [37].

III.3 Schémas et Pseudo programme sous le langage Python :

Ce programme est un exemple d'utilisation de TensorFlow et Keras pour créer et entraîner un modèle de classification d'images pour distinguer différents types de déchets (carton, métal, papier, plastique) voir la figure III.2. L'explication générale est donnée par la figure suivante. Deux programmes en langage Python utilisée pour avoir un protocole de triage :

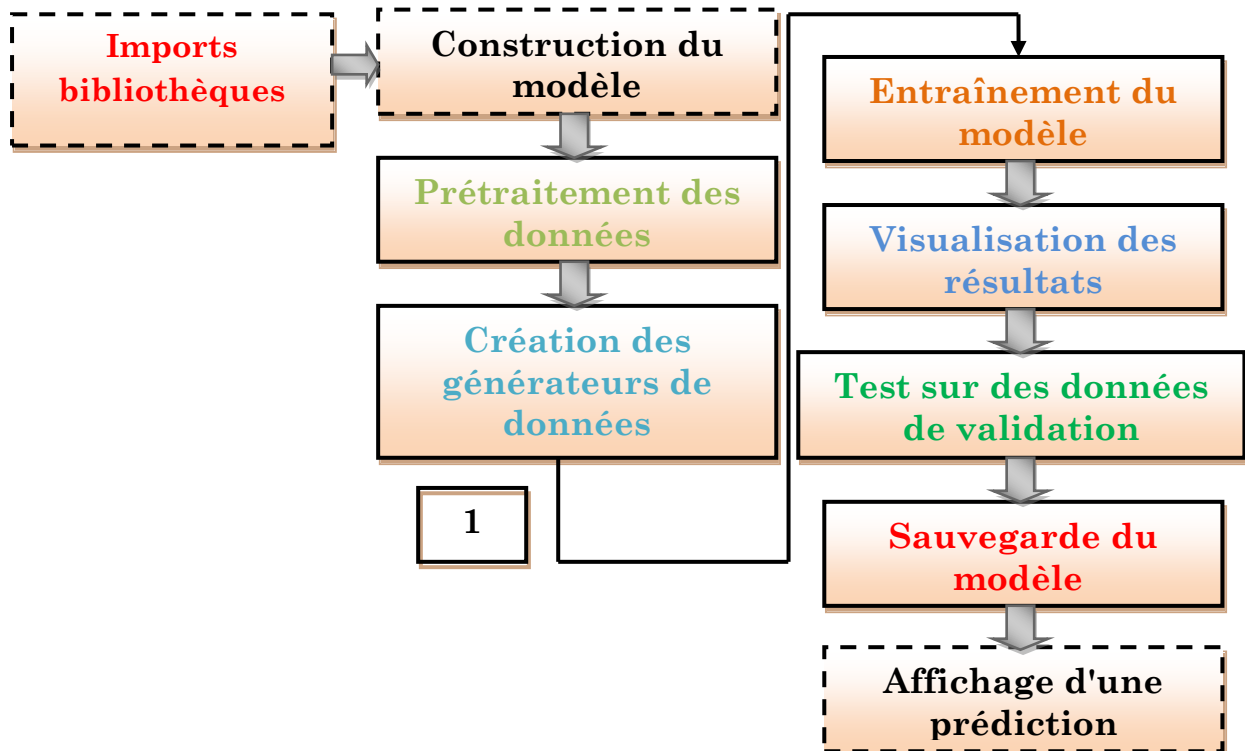


Figure III.2 : Schémas explicatif du model pré-entraîner.

Le Pseudo programme sous le langage Python est donnée comme suite:

```

from google.colab import drive
drive.mount('/content/drive')
import numpy as np
import pandas as pd
import re
import os
import random
import glob

import tensorflow as tf
from tensorflow import keras
from tensorflow.keras.preprocessing.image import ImageDataGenerator
from tensorflow.keras.callbacks import EarlyStopping, ReduceLROnPlateau
import cv2
from keras.callbacks import ModelCheckpoint, EarlyStopping
from keras.layers import Conv2D, Flatten,
MaxPooling2D, Dense, Dropout, SpatialDropout2D
from keras.models import Sequential
from keras.preprocessing.image import ImageDataGenerator, img_to_array,
load_img, array_to_img
from PIL import Image
import random, os, glob
import matplotlib.pyplot as plt
import matplotlib.image as mpimg
from sklearn.metrics import accuracy_score, confusion_matrix,
ConfusionMatrixDisplay
def build_model(num_classes):
    base_model = tf.keras.applications.MobileNetV2(weights='imagenet',
include_top=False)
    x = base_model.output
    x = tf.keras.layers.GlobalAveragePooling2D()(x)
    x = tf.keras.layers.Dense(1024, activation='relu')(x)
    predictions = tf.keras.layers.Dense(num_classes,
activation='sigmoid')(x)
    model = tf.keras.Model(inputs=base_model.input, outputs=predictions)
    base_model.trainable = False
    return model
file_path = '/content/drive/MyDrive/Datasets1/Dataset'
img_list = glob.glob(os.path.join(file_path, '*/*.jpg'))
print("nombre d'images :", len(img_list))
train_dir = os.path.join('/content/drive/MyDrive/Datasets1/Dataset')
labels = ['Carton', 'Metal', 'Papier', 'Plastique']
for label in labels:
    directory = os.path.join(train_dir, label)
    print("Images of label \"" + label + "\":\t",
len(os.listdir(directory)))
train=ImageDataGenerator(horizontal_flip=True,
vertical_flip=True,
validation_split=0.1,
rescale=1./255,
shear_range = 0.1,
zoom_range = 0.1,
width_shift_range = 0.1,
height shift range = 0.1,)

```

```

test=ImageDataGenerator(rescale=1/255,validation_split=0.1)

train_generator=train.flow_from_directory(file_path,target_size=(256,256),b
atch_size=32,
                                     class_mode='categorical',
                                     subset='training')
test_generator=test.flow_from_directory(file_path,target_size=(256,256),cla
ss_mode='categorical',
                                     subset='validation')
labels = (train_generator.class_indices)
print(labels)
labels = dict((v,k) for k,v in labels.items())
print(labels)
print (train_generator.class_indices)
Labels = '\n'.join(sorted(train_generator.class_indices.keys()))

with open('labels.txt', 'w') as f:
    f.write(Labels)
for image_batch, label_batch in train_generator:
    break
    image_batch.shape, label_batch.shape
plt.imshow(image_batch[1])
print(labels[list(label_batch[1]).index(1)])
early = EarlyStopping(monitor="val_loss",mode="min",patience=3)
learning_rate_reduction = ReduceLRonPlateau(monitor='val_loss', patience =
2, verbose=1,factor=0.3, min_lr=0.0001)
callbacks_list = [early, learning_rate_reduction]
callbacks = callbacks_list
model = build_model(num_classes=5)
model.compile(loss='categorical_crossentropy',
optimizer=keras.optimizers.Adam(learning_rate = 0.001),
metrics=['accuracy'])
history = model.fit(train_generator, epochs=50, verbose=1,
validation_data=test_generator, callbacks=[callbacks])
plt.plot(history.history['loss'], label='loss')
plt.plot(history.history['val_loss'], label='val_loss')
plt.legend()
plt.show()
plt.plot(history.history['accuracy'], label='accuracy')
plt.plot(history.history['val_accuracy'], label='val_accuracy')
plt.legend()
train_dir = os.path.join('/content/drive/MyDrive/Datasets1/Dataset')
labels = ['Carton', 'Metal', 'Papier', 'Plastique']
for label in labels:
    directory = os.path.join(train_dir, label)
    print("Images of label \"\" + label + "\":\t",
len(os.listdir(directory)))

cat = 0
ind = 0
directory = os.path.join(train_dir, labels[cat % 6])
try:
    path = os.path.join(directory, os.listdir(directory)[ind])
    img = mpimg.imread(path)
    x = keras.preprocessing.image.img_to_array(img)
    x = np.expand_dims(x, axis=0)

```

```
images = np.vstack([x])
classes = model.predict(images)
pred = labels[np.argmax(classes)]
plt.imshow(img)
plt.xticks([])
plt.yticks([])
plt.title('Actual: {} Pred: {}'.format(labels[cat], pred))
except:
    print('Invalid Value')
model.save('Model-RESNET1-Classification-déchets.h5')
```

Voici une explication de chaque partie du programme :

III.3.1 Imports bibliothèques :

Les bibliothèques nécessaires sont importées. Cela inclut TensorFlow, Keras, OpenCV (cv2), NumPy, Pandas, et d'autres pour la manipulation et le traitement des images, ainsi que pour la création et l'entraînement du modèle.

III.3.2 Construction du modèle :

La fonction `build_model` crée un modèle de réseau de neurones convolutionnel (CNN) en utilisant l'architecture MobileNetV2 pré-entraînée comme modèle de base (figure III.3). Les couches supérieures sont personnalisées pour s'adapter au problème de classification spécifique.

MobileNetV2 est une architecture de réseau de neurones convolutifs (CNN) conçue principalement pour la mobilité et l'efficacité, ce qui signifie qu'elle est adaptée pour fonctionner efficacement sur des appareils mobiles et des systèmes embarqués avec des ressources limitées.

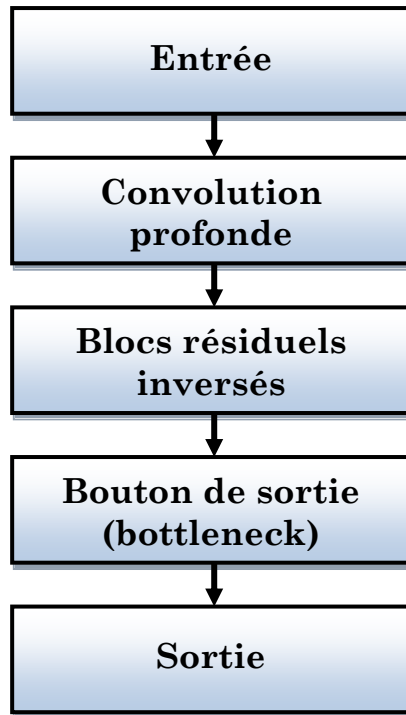


Figure III.3 : Schémas présentatif de l'architecteur de MobileNetV2.

Voici les principales caractéristiques de MobileNetV2 :

Couche d'entrée : L'image en entrée est typiquement de taille 224x224 pixels avec trois canaux de couleur (Rouge, Vert, Bleu).

Module de convolution profonde : MobileNetV2 utilise des convolutions en profondeur qui permettent d'extraire des caractéristiques à différentes échelles spatiales dans l'image.

Blocs résiduels inversés (Inverted Residual Blocks) : Au cœur de MobileNetV2 se trouvent les blocs résiduels inversés, qui consistent en une combinaison de couches de convolutions légères et de couches de « skip connection ». Ces blocs permettent d'apprendre des représentations riches tout en maintenant un coût de calcul relativement bas.

Bouton de sortie (bottleneck layer) : Chaque bloc résiduel inversé est suivi par une couche de « bottleneck » qui réduit la dimensionnalité des caractéristiques avant de passer au bloc suivant.

Couche de sortie : Dans ce cas, la couche de sortie est exclue car l'argument `include_top` est réglé sur `False`, ce qui signifie que la dernière couche

(la couche de classification) n'est pas incluse. Cela permet d'utiliser MobileNetV2 comme extracteur de caractéristiques sans la dernière couche de classification.

Une fois le modèle de base chargé, nous avons ajouté des couches supplémentaires au sommet du modèle pour adapter celui-ci à notre tâche spécifique de classification d'images.

Nous avons utilisé une couche de « Global Average Pooling » pour réduire les dimensions spatiales de la sortie du modèle de base :

$$\mathbf{GAP}(x) = \frac{1}{H * W} \sum_{h=1}^H \sum_{w=1}^W x_{h,w} \quad (1)$$

Où H et W sont les dimensions de la carte de caractéristiques.

Suivie d'une couche dense de 1024 neurones avec une fonction d'activation ReLU $f(x) = \max(0, x)$ pour apprendre des représentations plus abstraites des caractéristiques extraites.

$$\mathbf{Dense1024}(x) = \mathbf{ReLU}(W1.x + b1) \quad (2)$$

Enfin, une couche dense de sortie avec une fonction d'activation sigmoïde a été ajoutée pour prédire la probabilité d'appartenance à chaque classe, ce qui est couramment utilisé pour la classification multi-classe.

$$\mathbf{Output}(x) = \mathbf{Sigmoid}(W2.x + b2) \quad (3)$$

Le modèle final a été construit en spécifiant les entrées et les sorties, en utilisant le modèle de base comme entrée et les prédictions comme sortie.

Pour empêcher que les poids du modèle de base ne soient modifiés pendant l'entraînement, nous avons gelé ces poids en les rendant non-entraînaibles. En gelant les poids du modèle de base, nous nous assurons que seules les couches ajoutées seront entraînées, ce qui permet d'accélérer le processus d'entraînement et d'éviter le sur-ajustement.

III.3.3 Prétraitement des données :

Les données d'images sont prétraitées à l'aide de Image Data Generator pour effectuer des augmentations de données comme la rotation, le zoom, et le retournement, etc.

Pour retourner et de faire la rotation horizontalement et verticalement est défini par l'équation suivante selon deux approches différentes en Python :

$$Flip(x) = \sum_{x=1, y=1}^{N,L} X[x, y - 1], \text{ ou } X[x - 1, y] \quad (4)$$

Pour le cisaillement, zoom, décalage d'image est défini par les équations suivantes selon deux approches différentes en Python:

$$Shear(x) = x + \lambda s \quad (5)$$

$$Zoom(x) = x \cdot z \quad (6)$$

$$Shift(x) = x + t \quad (7)$$

Où s, z et t sont respectivement les paramètres de cisaillement, de zoom et de translation.

III.3.4 Création des générateurs de données :

Une base de données (images des différents types des déchets) de 319 photos organisées dans leurs dossiers, est employée dans ce modèle trouvées dans le site de développement en ligne KAGGLE, modifiée selon notre besoin [38].

Deux générateurs de données sont créés, un pour l'ensemble d'entraînement (90%) plus la validation (10%) et un pour l'ensemble de test, en utilisant les répertoires d'images fournis.

```

-----
nombre d'images : 319
Images of label "Carton":      105
Images of label "Metal":       47
Images of label "Papier":      42
Images of label "Plastique":   176
{'Carton': 0, 'Metal': 1, 'Papier': 2, 'Plastique': 3}
-----

```

III.3.4 Entraînement du modèle :

Les callbacks sont utilisés pour surveiller la performance du modèle pendant l'entraînement avec 50 époques et ajuster certains paramètres dynamiquement (par exemple, réduction du taux d'apprentissage si la perte sur l'ensemble de validation cesse de diminuer).

```
Epoch 1/50
11/11 [=====] - 44s 4s/step - loss: 1.6524 -
accuracy: 0.5522 - val_loss: 1.1355 - val_accuracy: 0.4857 - lr: 0.0010
Epoch 2/50
11/11 [=====] - 38s 3s/step - loss: 0.5633 -
accuracy: 0.7821 - val_loss: 0.9794 - val_accuracy: 0.6000 - lr: 0.0010
Epoch 3/50
11/11 [=====] - 39s 4s/step - loss: 0.3499 -
accuracy: 0.9015 - val_loss: 1.0290 - val_accuracy: 0.6857 - lr: 0.0010
Epoch 4/50
11/11 [=====] - ETA: 0s - loss: 0.2475 -
accuracy: 0.9075
Epoch 4: ReduceLROnPlateau reducing learning rate to
0.0003000000142492354.
11/11 [=====] - 37s 3s/step - loss: 0.2475 -
accuracy: 0.9075 - val_loss: 1.1704 - val_accuracy: 0.5714 - lr: 0.0010
Epoch 5/50
11/11 [=====] - 39s 3s/step - loss: 0.1780 -
accuracy: 0.9493 - val_loss: 1.1127 - val_accuracy: 0.6286 - lr: 3.0000e-
04
```

Le modèle est compilé avec une fonction de perte et un optimiseur spécifiés, puis entraîné sur les données d'entraînement.

$$Loss = -\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sum_{c=1}^C y_{i,c} \log(p_{i,c}) \quad (8)$$

L'expression est une fonction de perte (ou loss function) utilisée souvent en apprentissage automatique, notamment en classification. Elle pourrait être interprétée de la manière précédant en langage mathématique, où :

- N est le nombre total d'exemples dans l'ensemble de données.
- C est le nombre de classes dans le problème de classification.
- $y_{i,c}$ est la valeur réelle (ou la cible) pour l'exemple i et la classe c.
- $p_{i,c}$ est la prédiction de probabilité pour l'exemple i et la classe c produite par le modèle.
- log représente le logarithme naturel (ou logarithme en base e).

$$\theta = \theta - \eta \frac{\hat{m}}{\epsilon + \sqrt{\hat{u}}} \quad (9)$$

Cette expression représente une mise à jour de paramètre dans un contexte d'optimisation ou d'apprentissage automatique, où :

- θ est un vecteur ou un ensemble de paramètres à mettre à jour.
- η est le taux d'apprentissage (learning rate), un paramètre fixé qui contrôle la taille des pas de mise à jour.
- \hat{m} représente probablement une estimation ou une mesure.
- ϵ est un petit nombre, souvent utilisé pour éviter la division par zéro.
- \hat{u} semble mal formé et pourrait être une erreur de syntaxe.

III.3.5 Visualisation des résultats :

Les courbes de perte et de précision sont tracées pour évaluer la performance du modèle voir la figure III.4.

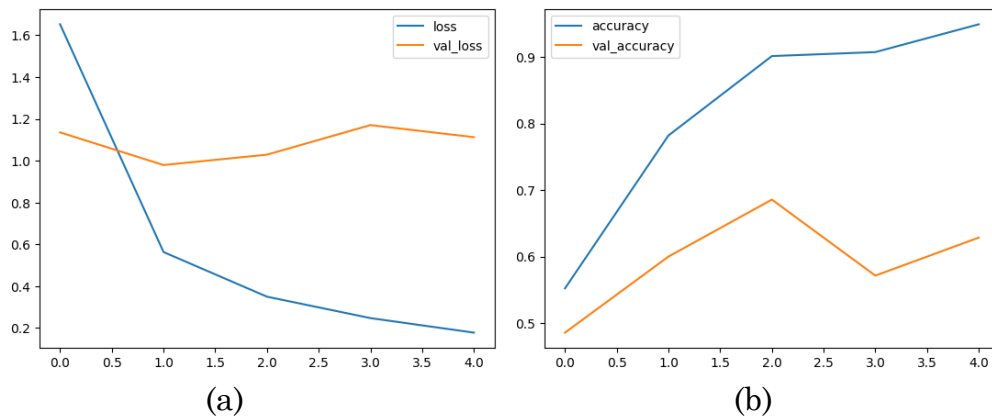


Figure III.4 : Résultats d'entraînement après apprentissage, (a) : Courbe représente une fonction de perte, (b) ; Courbe représente une fonction de précision.

III.3.6 Test sur des données de validation:

Le modèle est testé sur des données de validation pour évaluer sa précision et d'autres métriques, les images de teste sont donnée par la figure II.5.



Figure III.5 : Images utilisé dans la basse de données [38] pour les testes.

III.3.7 Sauvegarde du modèle :

Une fois que le modèle est entraîné et satisfait aux exigences, il est sauvegardé pour une utilisation future.

III.3.8 Affichage d'une prédiction spécifique :

Une prédiction est faite sur une image spécifique pour voir comment le modèle se comporte sur une seule instance, et donné par la figure III.6.



Figure III.6 : Images après la classification et apprentissage profond Deep Learning.

III.4 Transfert des données et envoi d'image :

Ce script est conçu (figure III.7) pour être utilisé avec Google Apps Script pour gérer le téléchargement de fichiers vers Google Drive et envoyer des notifications via l'API de notification LINE en réponse à chaque téléchargement.

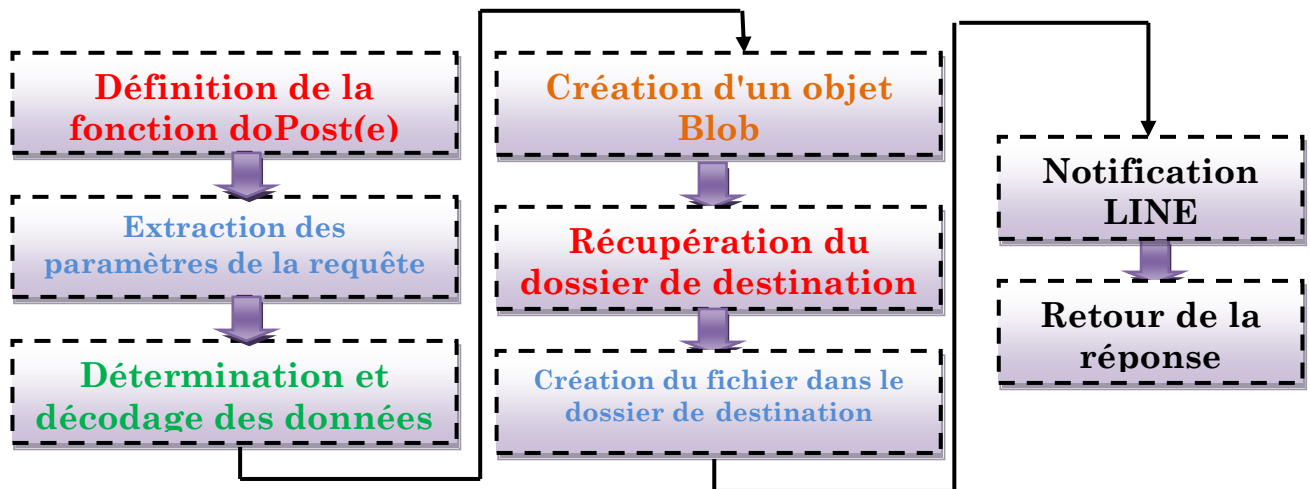


Figure III.7 : Schéma explicatif de réception de requête http et le prototype.

Le programme réalisé après le schéma de réception de requête http est représenté par le pseudo code suivant :

```

function doPost(e) {
  var myFoldername = e.parameter.myFoldername;
  var myFile = e.parameter.myFile;
  var myFilename = e.parameter.myFilename;
  var myToken = e.parameter.myToken;
  var contentType = myFile.substring(myFile.indexOf(":")+1,
myFile.indexOf(";"));
  var data = myFile.substring(myFile.indexOf(",")+1);
  data = Utilities.base64Decode(data);
  var blob = Utilities.newBlob(data, contentType, myFilename);
  var folder, folders = DriveApp.getFoldersByName(myFoldername);
  if (folders.hasNext()) {
    folder = folders.next();
  } else {
    folder = DriveApp.createFolder(myFoldername);
  }
  var file = folder.createFile(blob);
  file.setDescription("Uploaded by " + myFilename);
  var imageID =
file.getUrl().substring(file.getUrl().indexOf("/d/")+3,file.getUrl().indexO
f("view")-1);
  var imageUrl = "https://drive.google.com/authuser=0&id="+imageID;
  var res = "Line Notify: ";
  try {
    var url = 'https://notify-api.line.me/api/notify';
  }
}

```

```
var response = UrlFetchApp.fetch(url, {
  'headers': {
    'Authorization': 'Bearer ' + myToken,
  },
  'method': 'post',
  'payload': {
    'message': imageUrl
  }
});
res += response.getContentText();
} catch(error) {
  res += error;
}
return
ContentService.createTextOutput(myFoldername+"/"+myFilename+"\n"+imageUrl+"\n"+res);
}
```

III.4.1 Définition de la fonction doPost(e)

C'est la fonction principale du script qui sera déclenchée lorsqu'une requête HTTP POST est envoyée à l'application web. Le paramètre "e" contient les données de la requête HTTP.

III.4.2 Extraction des paramètres de la requête

Les paramètres de la requête sont extraits pour obtenir :

- myFoldername : Le nom du dossier dans lequel le fichier sera sauvegardé.
- myFile : Les données du fichier, encodées en base64.
- myFilename : Le nom du fichier.
- myToken : Le token d'authentification pour l'API de notification LINE.

III.4.3 Détermination du type de contenu et décodage des données du fichier

Le type de contenu du fichier est extrait à partir de la chaîne myFile. Et les données du fichier encodées en base64 sont décodées.

III.4.4 Création d'un objet Blob

Un objet Blob est créé à partir des données décodées du fichier, avec le type de contenu et le nom du fichier.

III.4.5 Création ou récupération du dossier de destination

Le script tente de récupérer un dossier portant le nom spécifié dans myFoldername. S'il existe, ce dossier est utilisé sinon, un nouveau dossier est créé avec ce nom.

III.4.6 Création du fichier dans le dossier de destination

Le fichier est créé dans le dossier récupéré pour être utiliser.

III.4.7 Notification LINE

L'URL du fichier est extraite et construit pour être utilisé dans la notification LINE. Aussi une requête POST est envoyée à l'API de notification LINE avec le message contenant l'URL du fichier. Si la requête est réussie, le script retourne la réponse sinon, il retourne l'erreur.

III.4.8 Retour de la réponse

Le script retourne une réponse contenant les points suivantes :

- Le chemin du fichier dans le dossier.
- L'URL publique du fichier sur Google Drive.
- La réponse de l'API de notification LINE (succès ou erreur).

III.5 Partie de test d'images :

Pour tester les images (photos capter par esp32 Cam), on a besoin d'appeler notre modèle entraîné par divers instructions figure III.8, et le programme utilisé pour cette partie est donner comme suite :

```
pip install paho-mqtt
import tensorflow as tf
from tensorflow.keras.preprocessing.image import load_img, img_to_array
```

```
import paho.mqtt.publish as publish
import time
from google.colab import drive
import os
drive.mount('/content/drive')
model_path = '/content/drive/MyDrive/Model-RESNET1-Classification-
déchets.h5'
model = tf.keras.models.load_model(model_path)
mqtt_server = "test.mosquitto.org"
mqtt_port = 1883
mqtt_topic = "esp32"
def send_data(data):
    try:
        predicted_value = int(data[0])
        publish.single(mqtt_topic, str(predicted_value),
hostname=mqtt_server, port=mqtt_port)
        print("Data sent successfully")
    except Exception as e:
        print("Error:", e)
image_directory = '/content/drive/MyDrive/ESP32-CAM/'
old_files = set(os.listdir(image_directory))
while True:
    current_files = set(os.listdir(image_directory))
    new_files = current_files - old_files
    if new_files:
        for new_file in new_files:
            image_path = os.path.join(image_directory, new_file)
            new_image = load_img(image_path, target_size=(150, 150))
            new_image_array = img_to_array(new_image)
            new_image_array = new_image_array / 255.0
            new_image_input = tf.expand_dims(new_image_array, axis=0)
            predictions = model.predict(new_image_input)
            predicted_class = tf.argmax(predictions, axis=1).numpy()
            print("Classe prédite pour", new_file, ":", predicted_class)
            send_data(predicted_class)
            old_files = current_files
time.sleep(10)
```

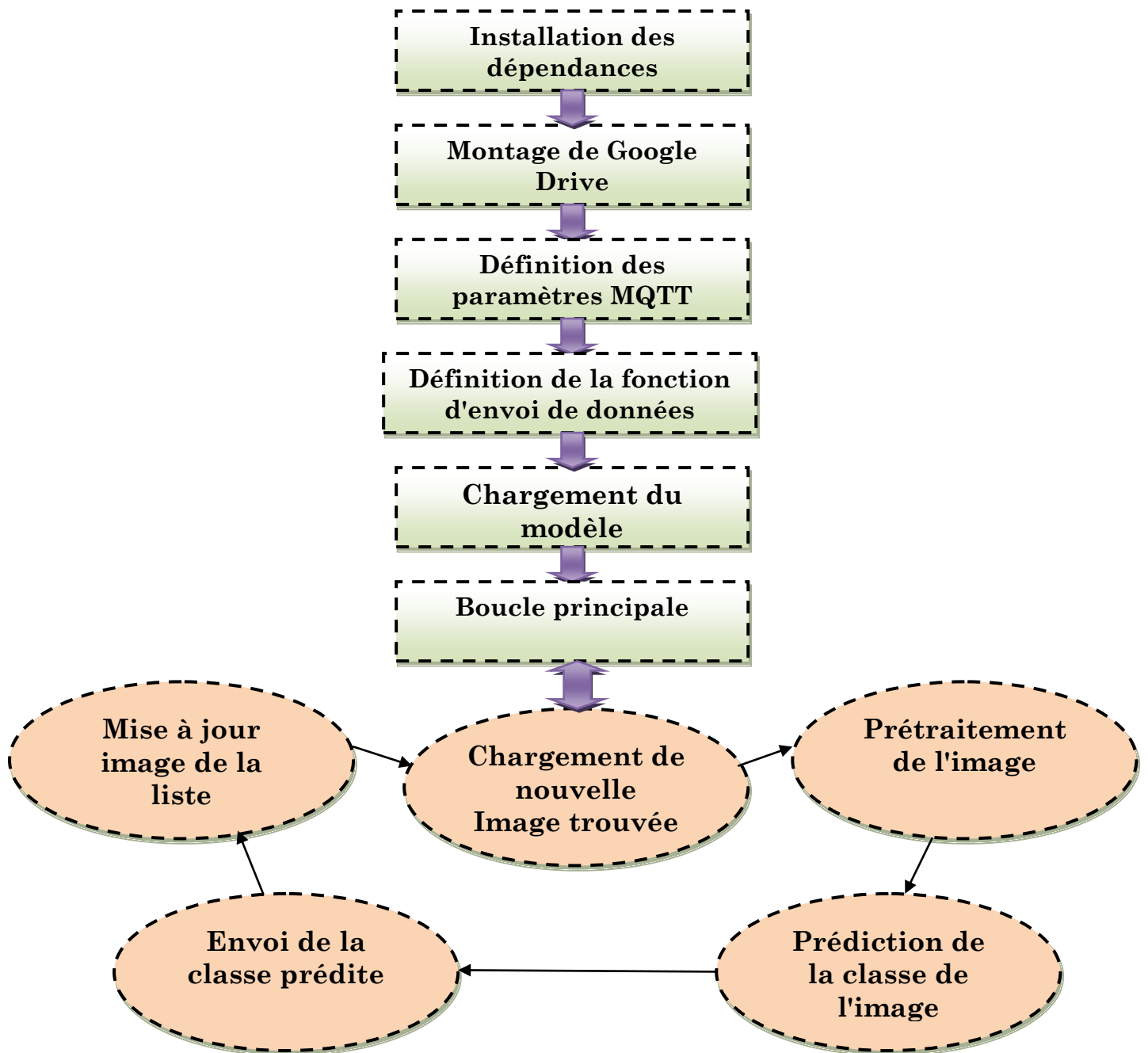


Figure III.8 : Schéma du cycle de teste des images réelles.

III.5.1 Installation des dépendances

Installation de la bibliothèque paho-mqtt pour la communication MQTT, et importation des bibliothèques nécessaires, y compris TensorFlow et ses modules pour le chargement et la prédiction des images.

III.5.2 Montage de Google Drive

Montage du lecteur Google Drive pour accéder aux fichiers du modèle et des images envoyé depuis esp32 Cam par « serveur HTTP ».

III.5.3 Définition des paramètres MQTT

Définition des paramètres pour la communication MQTT, tels que le serveur MQTT, le port et le sujet.

III.5.4 Définition de la fonction d'envoi de données

La fonction `send_data` est définie pour envoyer les données prédites à l'ESP32 via MQTT.

III.5.5 Chargement du modèle

Chargement du modèle de classification d'images depuis le chemin spécifié.

III.5.6 Boucle principale

Une boucle infinie est initiée pour surveiller continuellement le répertoire des images de l'ESP32-CAM.

À chaque itération, la liste des fichiers dans le répertoire est comparée à celle de l'itération précédente pour détecter de nouveaux fichiers, si de nouveaux fichiers sont trouvés, ils sont traités un par un :

1. Chargement de l'image nouvellement trouvée.
2. Prétraitement de l'image pour la passer au modèle.
3. Prédiction de la classe de l'image à l'aide du modèle chargé.
4. Envoi de la classe prédite à l'ESP32 via MQTT.
5. La liste des fichiers est mise à jour pour la prochaine itération.

Une pause de 10 secondes est effectuée entre chaque itération pour éviter une consommation excessive de ressources.

III.6 Test et explication réels :

D'après les résultats de model conçu, on observe qu'il réagir d'une manière fiable avec un taux de réussite de 15/24 équivalant de 62.5% pour ces exemples (images), grâce au l'algorithme puissants utilisé dans le programmes de classification par l'apprentissage profond.



Figure III.9 : Test de l'image réelle du cycle d'apprentissage Deep Learning.

III.6 Conclusion :

Grace à cette nouvelle technologie d'apprentissage profond on a réussi à générer un protocole de classification efficace qui permet de distinguer entre les déchets à l'aide d'une caméra « esp32 Cam » qui envoie une image de l'élément à tester en suite trié dans des bacs spécifiques correspond, donc le « Deep Learning » changera le monde par cette nouvelle intelligence artificielle qui joue un rôle important, il remplace le cerveau humain dans cette étape, la suite de l'opération on la verra dans le prochain chapitre.

Chapitre IV :

Conception et réalisation de la corbeille intelligente

Chapitre IV : Conception et réalisation de la corbeille intelligente

IV.1 Introduction :

Le but de ce chapitre est d'assembler tous ce que vu précédemment de connaissances et d'expériences, coté mécanique, informatique, et aussi électronique essayant d'améliorer le processus de triage dont la corbeille intelligente, détaillant aussi le mode de fonctionnement et calculant les performances, accompagne par une étape d'étude technico-économique.

IV.2 Problématique :

Le changement climatique, la pollution avec tous ces types change le monde au pire c'est le sujet d'actualité, faut agir avant que soit trop tard. Les métaux abandonnés, les emballages en plastique et en papier qu'on trouve partout même dans des centaines des mètres au fond des océans, tous ces matériaux sont recyclable une fois triée par classes selon leurs natures.

Donc la seule solution c'est le recyclage puisque la majorité des déchets sont recyclable, mais une fois trier. Et ici un autre problème s'apparaitre, comment faciliter cette opération de triage ces déchets qui semble complexe.

IV.3 Solution :

Là on propose une solution qui s'attaque directement la source (les consommateurs) qui sera disponible à leur côté, la corbeille intelligente est un projet qu'on a développé pour faciliter la collecte et triage des déchets et aidé à protéger l'environnement et préserver la nature, aussi les matériaux recyclable seront une source de revenu pour les investisseurs.

IV.4 Mode de fonctionnement du prototype :

Deux modes sont employer dans notre projet permet de bien comprendre le principe de fonctionnement :

Mode manuelle : c'est une démonstration simple explique brièvement le principe de triage utilisons des composants électroniques (clavier, afficheur LCD, servomoteurs...etc.) avec sont adaptations avec le coté mécanique.



Figure IV.1 : Affichage en mode manuelle.

Mode automatique : c'est une suite de mode manuelle à fin de rendre le processus automatisé à l'aide de l'intelligence artificielle et traitement d'image par camera.

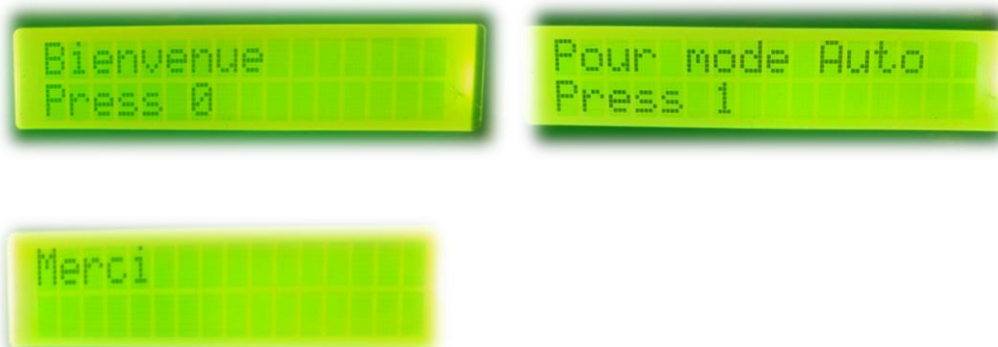


Figure IV.2 : Affichage en mode automatique.

D'abord notre système (figure IV.1 et IV.2) basé sur l'analyse des images pour conclure la nature des déchets, on a besoin d'un élément qui capte des photos, pour ça « esp32 Cam » le bon choix puisque il est adapter avec autres composants utilisé dans ce projet, responsable aussi d'envoyer les images par « serveur HTTP » à Google Drive et importer par Google Colab (plateforme d'exécution Python en ligne) à fin de les tester, puisque il contient un modèle wifi intégré, après l'analyse d'image le résultat de test saura envoyer à esp32 par « serveur MQTT » et exécuter l'action, des servomoteurs qui sépare les déchets.

Pour ce projet, on concentre plutôt sur trois types de déchets (métal, papier et plastique) donc trois bacs sont consacré comme suit, le premier pour le papier, après le plastique, en fin le métal.

Les servomoteurs comme on à motionné au-dessus sont les responsable pour guider les déchets a leurs emplacements spécifique, quand le résultat est le papier, le premier et deuxième servomoteur ouvre l'isolateur et séparateur (1) pour que les déchets tombe par la force de gravité dans sont bac. Le cas de plastique l'isolateur et séparateur (2) qui s'ouvre. En fin le métal juste l'isolateur qui s'ouvre puisque c'est le dernier. Tous ca pour le mode automatique, ce qui concerne le mode manuelle en replace le model de l'intelligence artificielle par un clavier, avec qu'on désigne la nature de déchets, écrit et illustré par un afficheur LCD, a fin de donnée l'ordre de triage avec les servomoteurs par le microcontrôleur « esp32 ».

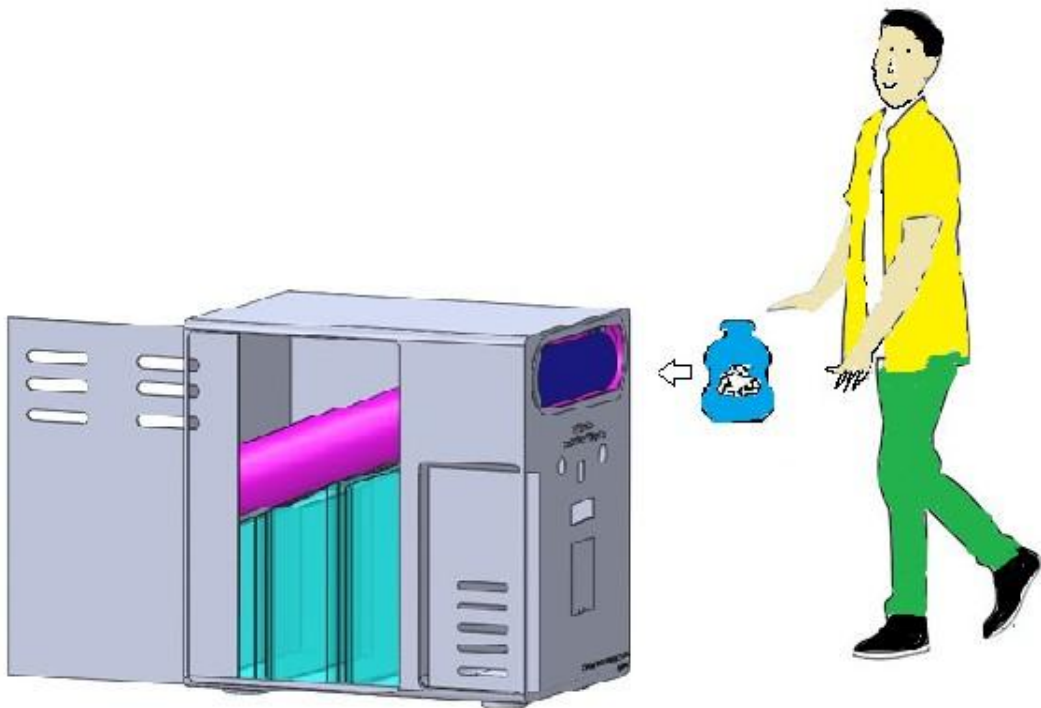


Figure IV.3 : Démonstration du système de triage réalisé.

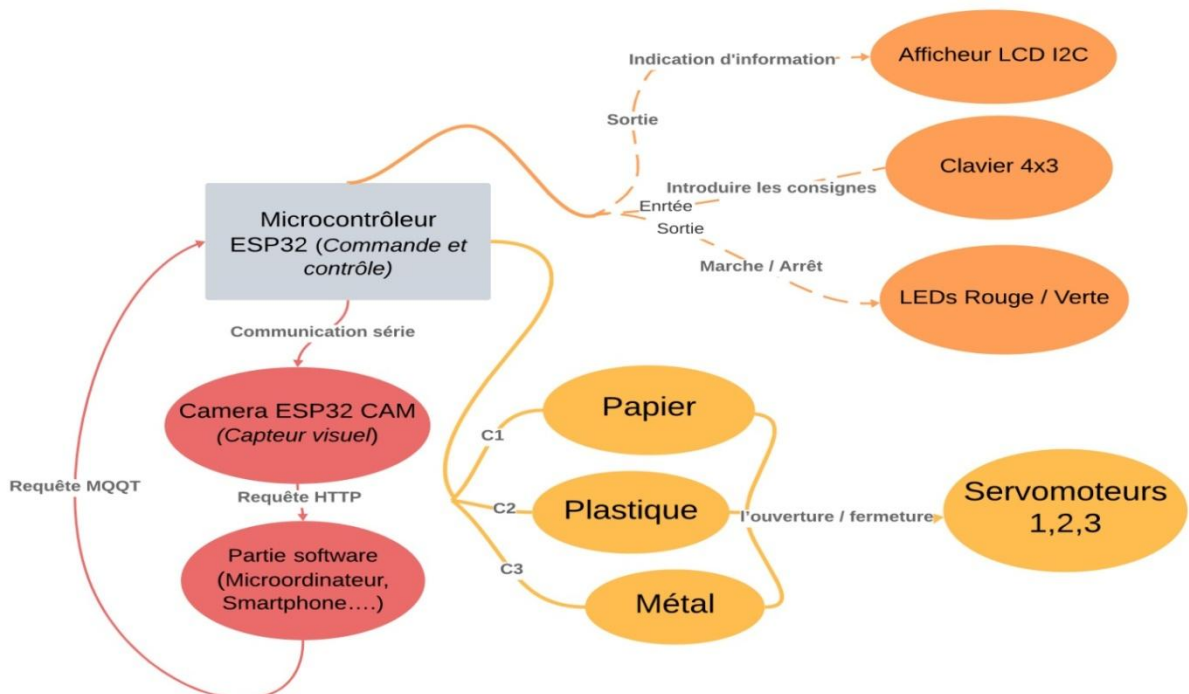


Figure IV.4 : Schéma global du protocole réalisé.

IV.5 Domaine technique

Notre système de triage des déchets « corbeille intelligente » c'est une fusion des technologies innovantes et récentes de l'intelligence artificielle et l'instrumentation, ordonner dans un achèvement mécanique, basé sur la technique de « Deep Learning » une méthode qui utilise des algorithmes puissant et apprendre sur des données connue a fin de créer un model entraîné prêt pour tester en temps réel les images des déchets envoyés par un model de camera « ESP32-CAM » pour conclure leurs natures. A l'aide du mécanisme conçue d'une manière arranger pour la classification par des servomoteurs et la force de gravité.

Le but de ce projet est de créer un prototype autonome, pratique à réaliser dans des lieux publique facile a utiliser, pour luter contre le problème écologique.

IV.6 Etat de la technique antérieure

Pour le triage des déchets, il existe nombreux techniques anciennes telles que : le triage magnétique, par courant de Foucault, par criblage, ces ensemble d'opérations nécessite beaucoup de potentiels (un budget élevé, une grande station pour le traitement...etc.).

Pour la collecte des déchets on utilise souvent des simples poubelles, sa tâche est juste la récolte de ces derniers, une fois récoltée ils se finissent bruler ou enterrer ou même libérer dans la nature, la minorité sera envoyée au recyclage à cause de coût élevé des stations de triage et leurs indisponibilités.

Cependant, ces procédés cités ne satisfis pas la combine, à ce terme on s'adresse aux nouvelles technologies de l'intelligence artificiel qui est la solution convienne dans ce cas, car il est moins coûteux et facile à exploité avec des résultats étonnants, l'aidée c'est de mélanger cette nouvelle technologie avec le principe de collecte des déchets a fin d'avoir un système de triage disponible à coté des consommateurs prêt a transférer directement au processus de recyclage.

La branche utilisée dans cette invention est le Deep Learning qui est largement fonctionnelle dans le domaine reconnaissance des objets par ordinateur à travers des algorithmes d'apprentissage profond et des données connues (images), a fin d'obtenir un modèle pré-entraîner pour effectuer des prédictions sur les échantillons à tester (les déchets).

L'avantages de cette technologie (Deep Learning) est d'offrir une maniabilité extrêmes sur l'échelle économique et écologique pour notre projet, d'une manière à résoudre le problème de classification avec simplicité, puisque il affilie avec des composants disponible comme : la camera, le microcontrôleur...etc. Pour effectuer la tâche de triage.



Figure IV.5 : Image représente les déchets dans leurs bacs.

IV.7 But de l'invention

En bout de notre invention, le but est de réaliser un prototype intelligent adapter conformément à la technologie du 21^{ème} siècle, également accompagnée

l'opération de triage des déchets accumulés et le recyclage, un moyen indispensable pour diminuer la pollution qui menace l'humanité.

IV.8 Programmation du pic ESP32

Après avoir réalisé la partie logiciel, il reste la validation sur un micro contrôleur ESP32. Pour procéder à cette étape on commande par le code Arduino qui est conçu (figure IV.3) pour être utilisé avec un module ESP32-CAM pour capturer des images et les envoyer à un service Google Apps Script via une requête HTTP POST, l'explication est donner par les point suivantes :

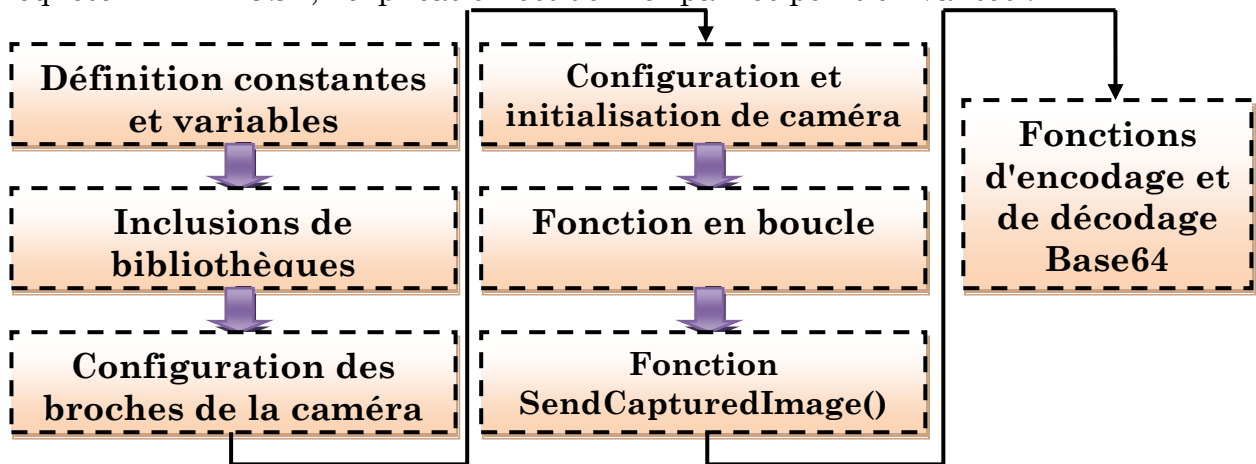


Figure IV.6 : Schémas explicatif de programme ESP-32 CAM.

IV.8.1 Définition des constantes et des variables :

Les variables qui sera utilisées sont : Les constantes RXD2 et TXD2 définissent les broches RX et TX utilisées pour la communication série. Les variables SSID et PASSWORD stockent les identifiants du réseau WiFi auquel se connecter.

Aussi les variable myScript, myLineNotifyToken, myFoldername, myFilename et myImage sont des chaînes de caractères utilisées pour construire l'URL de destination où envoyer les images capturées.

IV.8.2 Inclusions de bibliothèques :

La déclaration des bibliothèques sont obligatoire tel que : WiFi.h et WiFiClientSecure.h pour la connexion au réseau WiFi et l'envoi de requêtes HTTPS.

Aussi la bibliothèque soc/soc.h et soc/rtc_cntl_reg.h pour désactiver le module de surveillance du microcontrôleur, ce qui est nécessaire pour éviter un redémarrage intempestif. Base64.h et Base64.cpp pour l'encodage Base64 des données d'image.

IV.8.3 Configuration des broches de la caméra :

La nécessité de la déclaration des broches GPIO utilisées pour le contrôle de la caméra.

IV.8.4 Configuration et initialisation de la caméra :

Les paramètres de configuration de la caméra sont définis, tels que la résolution, la qualité JPEG, etc. et la caméra est initialisée avec ces paramètres.

IV.8.5 Fonction en boucle « loop() » :

La fonction loop() est la boucle principale du programme. Elle vérifie si des données sont disponibles sur la liaison série, puis les traite. Si les données reçues sont égales à "1", une image est capturée et envoyée via la fonction SendCapturedImage().

IV.8.6 Fonction SendCapturedImage() :

Cette fonction capture une image avec la caméra. L'image est ensuite encodée en Base64. Une connexion HTTPS est établie avec le service Google Apps Script. Les données de l'image sont envoyées via une requête POST. Et puis La réponse du serveur est lue et renvoyée.

IV.8.7 Fonctions d'encodage et de décodage Base64 :

Ces fonctions permettent d'encoder et de décoder des données en Base64, ce qui est utilisé pour convertir les images en une forme qui peut être transmise via HTTP.

IV.9 Programme pour manipuler les composants du protocole par Esp32 :

Ce code Arduino est conçu pour contrôler un système de tri automatique à l'aide d'un ESP32, de servomoteurs et d'un écran LCD, aussi un clavier, tout en se connectant à un réseau Wi-Fi et en communiquant avec un serveur MQTT pour recevoir des instructions à distance.

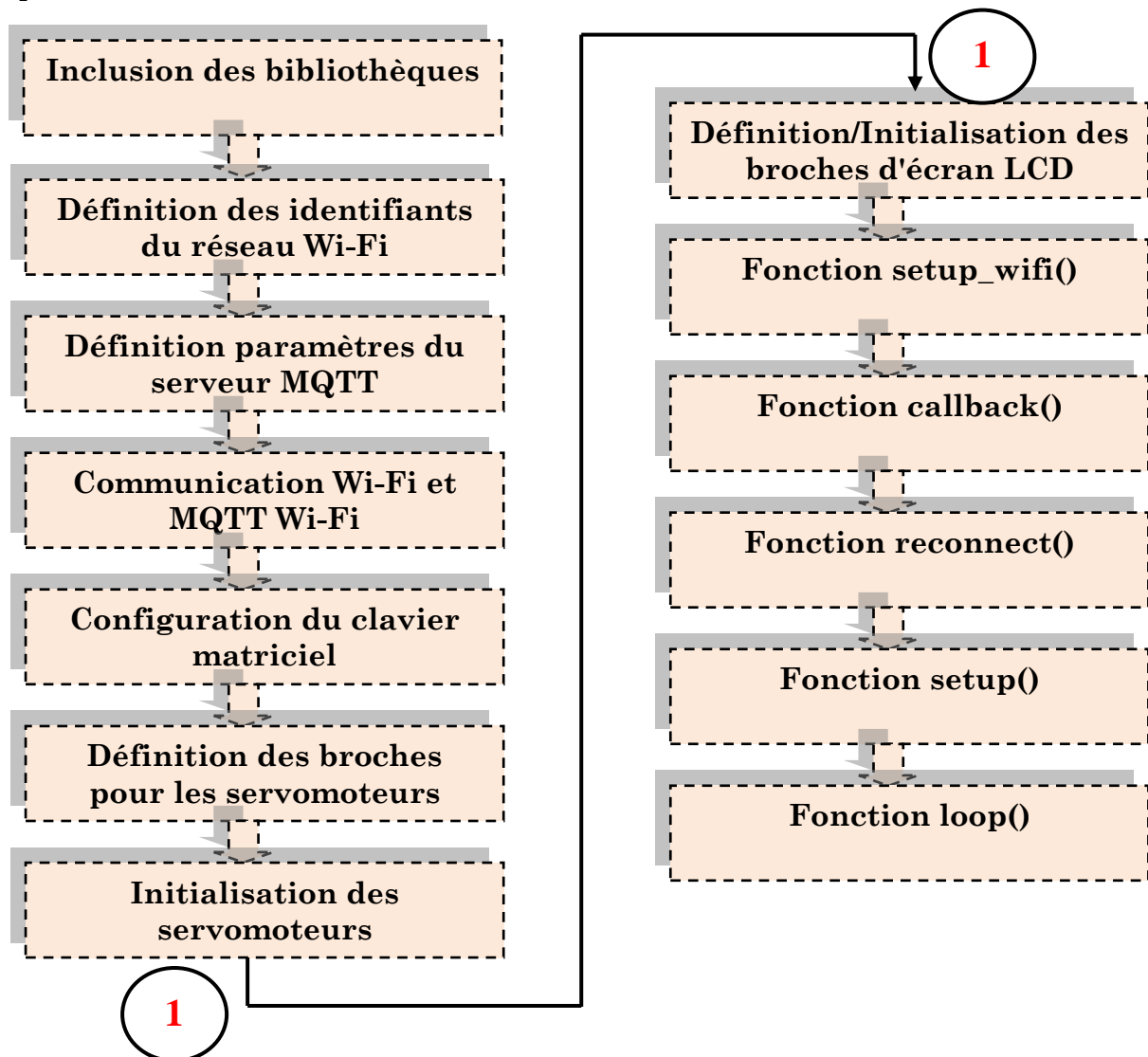


Figure IV.7 : Schéma explicatif du programme réalisé sur le contrôleur ESP-32.

IV.9.1 Inclusion des bibliothèques

Les bibliothèques fournies dans la première partie du code sont nécessaires pour utiliser les fonctionnalités spécifiques des différents composants, tels que le Wi-Fi, MQTT, les servomoteurs, le clavier matriciel et l'écran LCD.

IV.9.2 Définition des identifiants du réseau Wi-Fi

Ces variables contiennent le nom du réseau Wi-Fi (ssid) et le mot de passe (password) pour se connecter au réseau.

IV.9.3 Définition des paramètres du serveur MQTT

Ces variables définissent l'adresse du serveur MQTT (mqtt_server), le port utilisé (mqtt_port) et le sujet MQTT (mqtt_topic) auquel le dispositif va souscrire pour recevoir des commandes.

IV.9.4 Déclaration des objets pour la communication Wi-Fi et MQTT

WiFiClient espClient et PubSubClient client(espClient) sont utilisés pour établir la connexion Wi-Fi et MQTT respectivement.

IV.9.5 Configuration du clavier matriciel

La bibliothèque Keypad est utilisée pour configurer le clavier matriciel. Les broches des lignes (rowPins) et des colonnes (colPins) du clavier sont définies.

IV.9.6 Définition des broches pour les servomoteurs

Les broches auxquelles sont connectés les servomoteurs sont définies (servoPin1, servoPin2, servoPin3).

IV.9.7 Initialisation des servomoteurs

Les objets monServo1, monServo2 et monServo3 sont attachés aux broches correspondantes et initialisés avec les angles de position initiaux (angleFerme).

IV.9.8 Définition des broches pour l'écran LCD et initialisation

La bibliothèque LiquidCrystal_I2C est utilisée pour configurer l'écran LCD avec l'adresse I2C, le nombre de colonnes et de lignes.

IV.9.9 Validation initialisation de la fonction setup_wifi()

Cette fonction initialise la connexion Wi-Fi en utilisant les identifiants définis précédemment. Elle affiche également l'adresse IP attribuée au périphérique une fois qu'il est connecté au réseau.

IV.9.10 Application de la fonction callback()

Cette fonction est appelée chaque fois qu'un message MQTT est reçu. Elle extrait la valeur reçue du message, la convertit en entier et effectue des actions en fonction de cette valeur, notamment en contrôlant les servomoteurs.

IV.9.11 connexion de la fonction reconnect()

Cette fonction est appelée lorsque la connexion MQTT est perdue. Elle tente de se reconnecter au serveur MQTT de manière itérative.

IV.9.12 Démarrage du programme par la fonction setup()

Cette fonction est appelée une seule fois au démarrage du programme. Elle configure les broches, initialise les périphériques et établit les connexions Wi-Fi et MQTT.

IV.9.13 Fonction en boucle « loop() »

Cette fonction est appelée en boucle après l'exécution de la fonction setup(). Elle lit l'entrée utilisateur à partir du clavier, affiche des informations sur l'écran LCD et contrôle les servomoteurs en fonction de l'entrée. Elle vérifie également périodiquement si la connexion MQTT est active et la rétablit si nécessaire.

IV.10 Résultat en temps réels :

Comme déjà mentionné notre projet utilise deux modes de fonctionnement ; le mode manuel, le mode automatique.

Le mode manuel : est une démonstration qui résume le fonctionnement d'une manière simple du prototype. Pour faire fonctionner, un afficheur indique des informations sur le mode de fonctionnement, un clavier dédié pour introduire des consignes au microcontrôleur « ESP32 », a son rôle de manipuler les trois servomoteurs et guider les déchets à leur emplacement spécifique. Exemple d'une bouteille de plastique, d'abord l'afficheur indique la touche (4) pour le plastique, en appuyant, les servomoteurs responsables guident la bouteille à l'emplacement de plastique.

Le mode auto : Ce mode est inspiré par le principe du mode manuel (manuel), en ajoutant la nouvelle technologie d'apprentissage profond qui analyse l'image du déchet gardant la démonstration de séparation par microcontrôleur et les servomoteurs pour la classification, les exemples ci-dessus montrent le résultat en temps réel, tester par la corbeille figure IV.5.

Pour effectuer un processus de triage automatique, en appuyant sur la touche du clavier (1) pour spécifier ce mode, ensuite l'opération de triage s'achève automatiquement (figure IV.6).

On observe un taux de réussite de 7/12 qui équivaut à 58.33%, avec quelques améliorations ultérieurement, nous espérons en avoir plus.

Notre réalisation de ce projet « corbeille intelligente » dans le but du tri des déchets comporte plusieurs avantages et inconvénients. Parmi ces avantages :

- Gain d'espace ; notre projet permet un tri efficace des déchets tout en occupant peu d'espace, idéal pour les endroits publics où l'espace est limité.
- Elle permet de trier d'une manière autonome, puisque elle fonctionne avec des composants électroniques à faible consommation d'énergie.

- Réduction des coûts de gestion de déchets ; en facilitant le tri dès le début peuvent réduire les coûts liés à la collecte et au traitement des déchets.
- En favorisant le tri, le recyclage et en réduisant la contamination des déchets les corbeilles participent à la préservation de l'environnement.
- Sensibiliser le public au tri des déchets et encourager des pratiques plus durables.
- Un investissement rentable.

Pour les Inconvénients nous avons les points suivants :

- Coût initial ; la technologie avancée des corbeilles intelligents peut entraîner des coût initiaux élevés pour l'installation par rapport au corbeille sauvant utilisé (basic) .
- Maintenance spécialisée ; elles peuvent nécessiter une maintenance spécialisée pour assurer le bon fonctionnement.
- Le fonctionnement de la caméra est la difficulté de trouver le dataset adéquat pour entraîner le modèle qu'est essentiel pour garantir la précision et l'efficacité de la technologie de reconnaissance d'images.



Figure IV.8 : Teste d'évaluation en temps réels sur la corbeille intelligente.



Figure IV.9 : Corbeille intelligente associe de tous les capteurs et actionneurs plus la partie contrôle.

IV.11 Revendications :

Ce prototype de triage automatique dispose les points de revendications suivantes :

1. Un prototype innovent disponible à coté de consommateur permet de trier les déchets par classes sans intervention.
2. Pour facilité la tâche de recyclage des déchets ce système semble idéale puisque fait deux action à la fois « la collecte et le triage ».
3. Cette invention est de nouvelle technologie conforme au besoin des nouvelles villes intelligente qui semble plus en plus en évolution.
4. Le projet utilise l'intelligence artificiel « Deep Learning » d'un coté pour la classification et les composants électroniques « microcontrôleur, camera...etc. », aussi la structure mécanique pour triage d'une autre partie, adaptable au petite surface contrairement aux autres solutions de triages qui nécessite des méga structures.
5. Une solution écologique pour l'environnement puisque il limite les déchets éparpillé et réduire le coût de traitement, aussi c'est un système autonome qui nécessite pas une consommation d'énergie considérable.

IV.12 Etudes technico-économiques :

Pour notre projet, c'est indispensable et objectif de faire une étude technico-économique est de fournir aux entreprises une analyse complète et objective d'une technologie et/ou d'un marché. Cette analyse doit permettre aux entreprises de prendre des décisions éclairées sur la poursuite de ce projet.

Composants	Quantité	Prix unitaire (DA)
ESP32	1	2400
ESP32-CAM + ESP32-CAM-MB	1	2900
Servomoteur SG90 9g	3	650
Afficheur LCD I2C	1	1100
Clavier 4*3	1	450
LED 12V	2	200
Partie logiciel	/	50000
Structure mécanique	/	30000
Alimentation en tension	1	900
Liaison et câbles	/	100
Programmation des contrôleurs	/	30000
Le circuit intégré	/	1500
Total	-	120200 DA

Tableau IV.1 : Cout de la réalisation et étude technico-économique.

IV.13 Conclusion :

Après l'assemblage de protocole final, notre corbeille intelligente semble prête à l'utilisation pour résoudre des tâches que l'être humain néglige dans sa

vie quotidienne « la collection et le triage des déchets ». C'est un moyen indispensable et de nouveau pour les projets des villes intelligentes développées avec l'apparition de l'intelligence artificielle couplée avec l'instrumentation électronique en manœuvrant des pièces mécaniques à fin de développer un processus efficace contre ce phénomène (les déchets).

Conclusion générale

Conclusion générale

En long terme de notre chemin universitaire, les recherches sur l'électronique d'instrumentation nous mène à approfondir dans autres domaines voisins tels que la mécanique, l'informatique, sciences de l'environnement, etc. Pour adapté au besoin de la société et élaborer des solutions innovante et durable pour divers phénomènes, on cite le sujet d'actualité qui est « les déchets » et leurs impact sur la nature, c'est pour ça nous avons tendance à résoudre ce fait à travers l'idée qui illustre notre capacité à allier technologie et respect de l'environnement.

Ce projet « corbeille intelligente » représente un progrès significatif dans la gestion des déchets puisque sera disponible à coté des consommateurs directement, c'est une solution créative pour réduire le taux des déchets cumulés sur terre, et une préservation accrue des ressources naturelles.

Enfin, notre expérience dans la conception de ce projet nous a enseigné l'importance de l'interdisciplinarité de la collaboration et de la persévérance. Ce projet nous a permis de créer un produit utile. Il démontre que les jeunes chercheurs et ingénieurs peuvent jouer un rôle crucial dans la construction d'un avenir plus durable, nous espérons que ce projet inspirera d'autres initiatives similaires et encouragera une prise de conscience accrue de l'importance de recyclage et la gestion des déchets dans notre société.

Références bibliographiques

- [1] : Data Adobe Stock, Images illustratives de tri sélectif, date de consultation 08/02/2024. stock.adobe.com.
- [2] : Journal le Dauphiné liberté, Déchets agricoles brûlés à Avignon « France », 25/01/2024, date de consultation 09/02/2024, www.ledauphine.com.
- [3] : Site ORDIF observatoire régional des déchets, Déchets ménagers et assimilés, L'institut Paris région, 15/11/2018, date de consultation 09/02/2024, www.ordif.fr.
- [4] : M. AUGRIS, J. VINIT, et F. WIITKAR. Gestion des déchets: guide pour les établissements publics d'enseignement supérieur ou de recherche. Document de Synthèse CNRS, INRA, INSERM, 2002.
- [5] : P. COLLET, Les gros établissements industriels et commerciaux réduisent leurs déchets, ACTU Environnement, 03/02/2015, date de consultation 09/02/2024, www.actu-environnement.com.
- [6] : Site G2D2, Vos déchets et notre métier, Déchets dangereux, 2020, date de consultation 10/02/2024, www.g2d2.com.
- [7] : Site La galaxie de FUTURA, Déchets industriels banals, date de consultation 09/02/2024, www.futura-sciences.com.
- [8] : Site Algérie ECO, Déchets spéciaux et dangereux, 15/12/2022, date de consultation 09/02/2024, www.algerie-eco.com.
- [9] : Site Carrément But, Le tri sélectif pour réduire les déchets, 24/03/2023, date de consultation 09/02/2024, blog.but.fr.
- [10] : Site club CITEO, L'intérêt du tri, Économie linéaire, date de consultation 09/02/2024, www.clubciteo.com.

[11] : Guide sur plan national de prévention des déchets 2021-2027, Ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires, 27 mars 2023, date de consultation 09/02/2024, www.ecologie.gouv.fr.

[12] : Site sur les cahiers du développement durable, Pistes et solutions pour une gestion durable des déchets, date de consultation 09/02/2024, les.cahiers-developpement-durable.be.

[13] : J. VAN PAMEL, Fragmentation, Cahier technique n°19, édition juillet 2016, date de consultation 04/02/2024.

[14] : N. BOUZIDI, Techniques de tri des déchets. Université Abderrahmane Mira Bejaia. édition, 2021.

[15] : J. J. ROBIN, Etat de l'art concernant les méthodes de tri des matières plastiques. Méthodes de tri des matières plastiques, 1998, p. 1.1-2.

[16] : Guide et fiches techniques pour améliorer le tri des emballages en acier et en aluminium, Juin 2018, date de consultation : 18/02/2024.

[17] : Rapport GOUDSMIT MAGNETICS, Recyclage et Tri, récupération de métaux avec des séparateurs magnétiques, date de consultation : 18/02/2024, www.goudsmitmagnets.com.

[18] : A. N. I. AYAD, Etude et Réalisation d'un séparateur à induction électromagnétique, Thèse de doctorat, université de SIDI BEL ABBES 2017.

[19] : Data MPP AERO & INDUSTRIAL SOLUTIONS, Eddy current MPP, Date de consultation 13/02/2024, mpp.be.

[20] : Site Observatoire Europe Afrique 2030, Fiche pour systèmes de tri des déchets, 2015, Date de consultation 10/02/2024. observatoire-europe-afrique-2030.org.

[21] : Data FalaisesduTalou, déchetteries, Date de consultation 12/02/2024, <https://www.falaisesdutalou.fr>.

[22] : Site DULE system, Camion collecteur de déchets, 2024, Date de consultation 10/02/2024, dulesystem.com.

[23] : Data FALAISESDUTALOU, Système de tri dans une centre de déchetteries, Date de consultation 12/02/2024, www.falaisesdutalou.fr.

[24] : PERROUX-CECCON, Dominique. Forum de dialogue mondial sur le travail décent dans la gestion des déchets électriques et électroniques. 2019.

[25] : Data choses à savoir, pourquoi faudrait-il recycler les déchets électroniques, Date de consultation 11/02/2024, www.chosesasavoir.com.

[26] : TWINCH, E. Manuel de gestion des déchets médicaux. Comité international de, 2011.

[27] : Data ECOSTERYL, Traitement et recyclage des déchets médicaux, Date de consultation 12/02/2024, www.ecosteryl.com.

[28] : Site HUBENCY, Les déchets valorisés, date de consultation 11/02/2024, www.hubency.com.

[29] : Data MINETT KOMPOST, Transformation des déchets en matières organique, Date de consultation 05/02/2024, minett-kompost.lu.

[30] : Site DIRENC, ESP32-WROOM-32U Wifi Bluetooth Development Module, date de consultation 01/06/2024. www.direnc.net.

[31] : Site SIGMANORTEC, ESP32-CAM, date de consultation 01/06/2024. www.sigmanortec.ro.

[32] : Data DIGITAL INIT, servomoteur SG90, date de consultation 01/06/2024. www.digitalinit.be

[33] : Data FORUM ARDUINO.CC, Clavier 4*3, date de consultation 01/06/2024. www.forum.arduino.cc

[34] : Site POWER TECH, Afficheur LCD 16 x 2 + Adaptateur I2C, date de consultation 01/06/2024. www.powertech-dz.net.

[35] : Site GO TO SHOPING, 12V Voyant vert et rouge LED, date de consultation 01/06/2024. www.salezoomov.xyz.

[36] : Site BLOG MAISON.CO, Les normes de couleurs pour les fils électriques, date de consultation 01/06/2024. www.blogmaison.com.

[37] : Data Datascientest, réseaux de neurones artificiels date de consultation 23/04/2024. www.datascientest.com.

[38] : Site KAGGLE, manon str cleaned dataset, date de consultation 29/03/2024. www.kaggle.com.

Annexe A

A.1 Définitions :

Champ magnétique : Consistant en une aimantation simple permet de signaler la présence de métaux ferreux, parfois de retirer l'objet métallique par aimantation directe [14].

L'OVERBAND : Convient pour la suppression ou la séparation de grands volumes de fer ou d'acier et est suspendu au-dessus d'une bande transporteuse plane ou incurvée [17].

La poulie magnétique : La poulie est de forme cylindrique réalisée avec des aimants permanents dans l'extrémité du convoyeur, les éléments ferreux sont portés par la poulie et entraînés par la bande en dessous du convoyeur.

Le tambour magnétique : Les aimants à tambour pour le recyclage sont appropriés pour la séparation de particules ferromagnétiques (Fe) ou faiblement magnétiques dans un flux de matériaux en vrac. Les aimants à tambour connaissent de nombreuses possibilités d'utilisation et ont une faible hauteur d'intégration. Ainsi, ils conviennent pour de nombreuses applications, même dans des endroits où il n'y a pas la place pour un OVERBAND [17].

Le capteur optique : Les capteurs optique permettent de convertirent les signaux électriques de l'information tenue par de la lumière visible ou des rayonnements de longueurs d'onde voisines.

A.2 Principe des courants de Foucault :

Les courants de Foucault sont des phénomènes électriques se produisant lorsqu'un conducteur (métal) traverse un champ magnétique variable. Ce mouvement relatif provoque une circulation d'électrons, ou courant induit, à l'intérieur du conducteur. Ces courants circulaires de Foucault créent des électroaimants avec des champs magnétiques (voir la figure A.1) qui s'opposent à l'effet du champ magnétique appliqué [14].

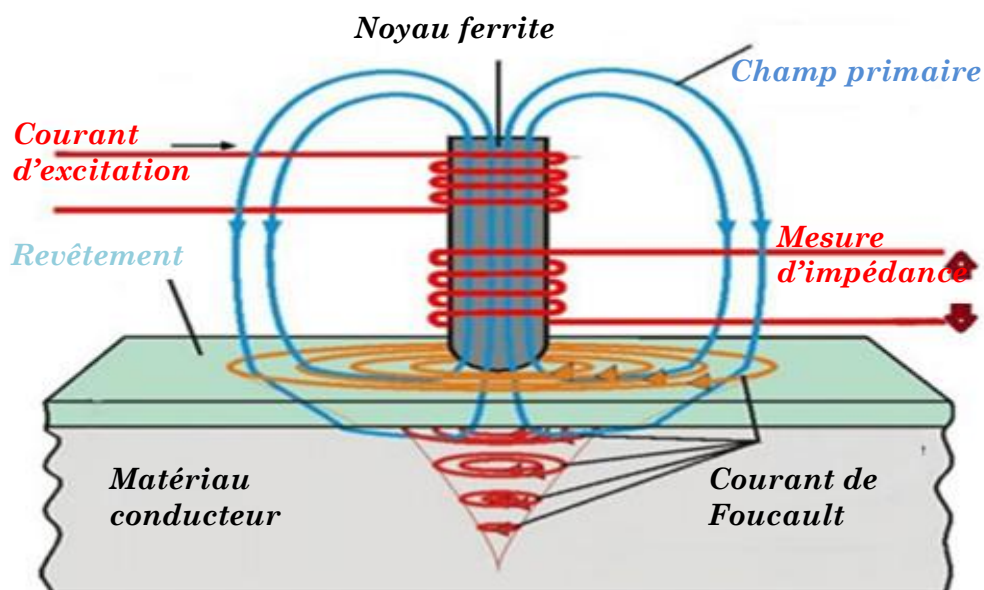


Figure A.1 : Principe et phénomène courant Foucault [19].

A.3 Requêtes MQTT :

Pour les requêtes MQTT on a utilisé le générateur des adresses « MQTT Explorer» pour les réceptions des données.

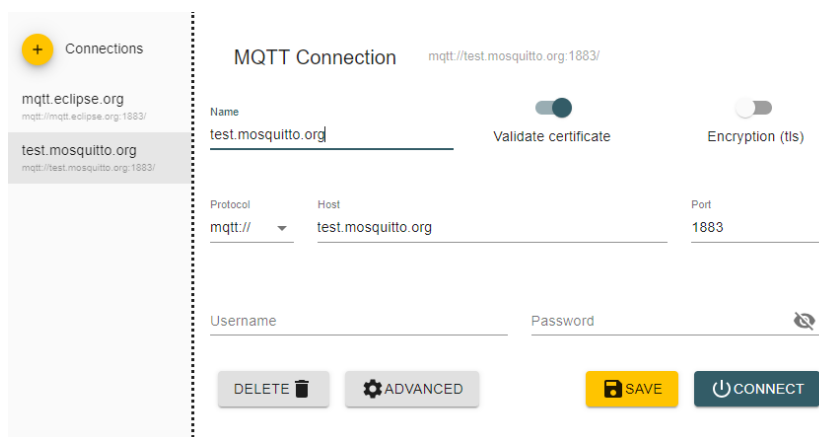


Figure A.2 : Image représente logiciel MQTT Explorer.

Résumé :

La réduction des dommages sur l'environnement du traitement des déchets en général, est certainement devenue un enjeu pour l'ensemble des nations. A ce titre, on se tient engagés dans ce sujet crucial pour réduire l'impact environnemental, par traitement des déchets, et aussi une source d'inspiration pour encourager le recyclage qui est la solution. Ce projet a pour objectif de revoir les méthodes existante du triage des déchets en premier, après conclure le concept qui convient le plus pour notre projet a fin de le réaliser, on choisissant la vision par camera et l'apprentissage profond qui est une branche de l'intelligence artificiel récente, connue avec ces performances dans la reconnaissances des objets. Avec ce projet « corbeille intelligente » le triage des déchets sera plus performant, conformément à la technologie du 21^{ième} siècle.

Mots clés : Deep Learning et intelligence artificiel, corbeille intelligente, déchets, système de triage, traitement d'image.

Abstract :

The reduction of environmental damage from waste treatment in general has certainly become a global issue for all nations. In this regard, we are committed to this crucial subject to minimize environmental impact through waste management, which can also serve as an inspiration to promote recycling, the ultimate solution. This project aims to review current waste sorting methods first, and then determine the most suitable concept for our project in order to implement it, opting for a vision-based approach using deep learning, a recent branch of artificial intelligence known for its performance in object recognition. With this "smart bin" project, waste sorting will be more efficient, in line with 21st-century technology

Keywords : Deep Learning and artificial intelligence, intelligent trash, waste, recycling system, image processing.

ملخص :

تقليل الأضرار على البيئة نتيجة معالجة النفايات بشكل عام أصبح بالتأكيد قضية مهمة لكافة الدول. في هذا الصدد، نحن ملتزمون بشكل كبير بهذا الموضوع الحيوي لتقليل الأثر البيئي من خلال معالجة النفايات، ونحن نسعى أيضاً ليكونوا مصدر إلهام لتعزيز عملية إعادة التدوير كحلاً فعالاً. هدف هذا المشروع هو إعادة النظر في الطرق الحالية لفصل النفايات أولاً، ثم اختيار النهج الأنسب لتنفيذ المشروع، مع التفضيل للرؤية بواسطة الكاميرا والتعلم العميق الذي يعتبر فرعاً حديثاً من الذكاء الاصطناعي معروف بأدائه العالي في التعرف على الأشياء. من خلال مشروعنا "السلة الذكية"، سيكون فصل النفايات أكثر كفاءة، موافقاً لتقنيات القرن الحادي والعشرين.

الكلمات المفتاحية : التعلم العميق والذكاء الاصطناعي، القمامة الذكية، النفايات، نظام إعادة التدوير، معالجة الصور.