

LETTER

# Mise en place d'une poubelle intelligente avec système de récompenses

Wided BEN YAAGOUB \* and Mariem TURKI

Université de Gabes, Institut Supérieur d'Informatique et de Multimédia de Gabes, Tunisie

\*Corresponding author. Email: wided.benyaagoub@isimg.tn

## Abstract

La croissance démographique et l'urbanisation rapide font de la gestion des déchets en milieu urbain une préoccupation majeure. L'idée d'une poubelle intelligente dotée de caractéristiques avancées est hautement justifiée à la lumière de cet enjeu. La poubelle intelligente vise à Aménager un paysage citadin moderne où la gestion des déchets est incorporé dans le tissu journalière, en encourageant les gens à adopter des comportements écologiquement responsables. Notre approche est innovante, car elle combine des technologies pour encourager le recyclage et la diminution des déchets. Elle combine l'intelligence artificielle à une technologie embarquée qui peut identifier les déchets et les organiser correctement. Les usagers se connectent avec un badge RFID et peuvent transférer des points de fidélité après la détection des déchets. Une application mobile jouir d'une interface utilisateur accueillante qui facilite ainsi aux utilisateurs de gérer leurs points et de profiter de remises en échange de points par des codes promotionnels.

**Keywords:** Poubelle intelligente; IA; Application mobile; RFID; Récompenses

**Abbreviations:** ISIMG: Institut Supérieur d'Informatique et de Multimédia de Gabes, IA: Intelligence Artificielle

## 1. Introduction

### 1.1 Contexte général sur la pollution et les déchets

La production de déchets était très faible à l'époque préhistorique, car la population était peu dense. Cependant, l'urbanisation a entraîné une croissance significative de la quantité de déchets.

Aujourd'hui, le monde "développé" est devenu un grand fournisseur de déchets et de polluants. D'après les données de la Banque mondiale, L'édition de déchets devrait atteindre 3,88 milliards de tonnes par an d'ici 2050, soit une augmentation de 70 % par rapport à 2020 [4]. Cette tendance alarmante souligne l'importance de mettre en place des actions efficaces visant à diminuer la fabrication de déchets et à promouvoir une encadrement pérenne des ressources. Les problèmes environnementaux et sanitaires mondiaux sont liés aux déchets et à la pollution. La pollution de l'air est devenue un sujet d'inquiétude majeur.

Selon l'Organisation mondiale de la santé (OMS), des millions de personnes décèdent prématurément chaque année en raison de la pollution de l'air [2]. La pollution est caractérisée par la dégradation

d'un milieu naturel à cause de l'introduction de substances étrangères, de façon directe ou indirecte. Ses répercussions peuvent être à long terme et impacter la qualité de la santé humaine et des écosystèmes, ainsi que la biodiversité terrestre et aquatique. En conclusion, la nécessité d'une gestion appropriée de la pollution et des déchets est cruciale pour protéger notre santé et l'environnement, exigeant des actions préventives et une gestion efficiente.

### **1.2 Importance de la gestion des déchets pour l'environnement**

Les choix que nous faisons quotidiennement ont un impact important sur notre planète. Choisir les bons solutions de gestion des ordures est donc essentiel, car c'est une pratique et une stratégie essentielles pour la conservation et la sécurité de notre environnement. Les méthodes et pratiques de collecte des débris solides, liquides et autres résidus sont incluses dans la gestion des déchets. Elle vise essentiellement à préserver les ressources et à préserver l'environnement des effets toxiques des éléments présents dans les ordures.

Une mauvaise gestion des ordures peut conduire à la pollution de l'eau, de l'érosion des sols et de l'air, et à la production de gaz à effet de serre grâce à la transformation des résidus organiques en produits exploitables, comme le biogaz.

De plus, une gestion efficace des déchets contribue à diminuer les problèmes de santé et à assurer des communautés plus sûres et un approvisionnement en eau plus sain. La gestion des déchets dépasse la simple opération de jeter les déchets dans les poubelles et implique la mise en place de pratiques appropriées ayant des répercussions significatives sur notre environnement.

### **1.3 L'IA pour perfectionner les méthodes de gestion.**

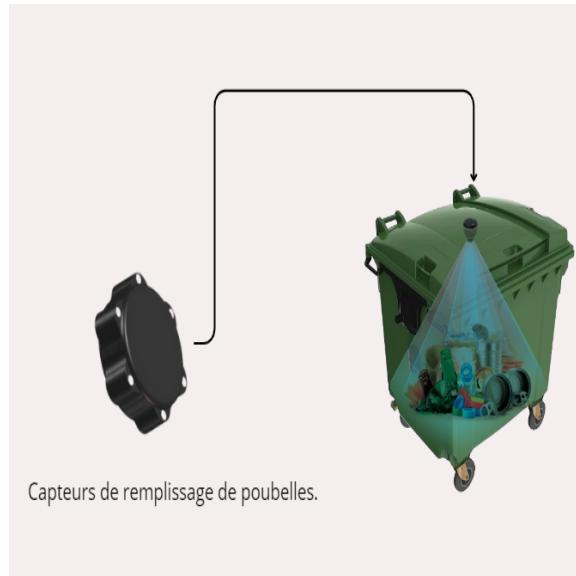
L'intelligence artificielle (IA) fait des vagues depuis plusieurs années, et pour cause elle change fondamentalement les secteurs à tous les niveaux. On évoque souvent des avancées technologiques impressionnantes comme les véhicules autonomes et la reconnaissance faciale, mais l'intelligence artificielle (IA) dépasse largement ces domaines. En effet, ces dernières années, l'IA a profondément transformé divers secteurs industriels, y compris la gestion des déchets solides.

Avant d'explorer comment l'intelligence artificielle peut favoriser une gestion plus écologique des déchets, il est essentiel de définir précisément ce qu'est l'intelligence artificielle. Selon Oxford Référence, l'IA est « la théorie et le Conception de systèmes informatiques qui exécutent des tâches nécessaires habituellement l'intelligence humaine, comme la perception visuelle, la reconnaissance vocale, la prise de décision et la traduction entre langues » [3].

L'automatisation facilitée par l'intelligence artificielle est un changement majeur pour nos systèmes de gestion des déchets. L'intégration de la robotique avec l'IA et l'apprentissage automatique a significativement amélioré la qualité des opérations de gestion des déchets, les rendant plus complexes et améliorant les environnements de travail et la santé des employés.

L'intelligence artificielle offre des opportunités pour l'amélioration de la gestion des déchets, la surveillance de leur trajectoire dans le processus de recyclage, l'optimisation de la logistique et du transport des matériaux recyclés, l'identification et la diminution des activités illégales de déversement et de traitement des déchets, l'analyse de la composition chimique des déchets. En outre, le recours à des capteurs intelligents pour la gestion des déchets à l'origine constitue une autre innovation prometteuse dans le domaine du recyclage et de l'IA.

Il s'agit de capteurs alimentés par l'IA, liés à l'Internet des objets (IOT), et utilisés spécifiquement dans la gestion des déchets comme capteurs de niveau de remplissage comme le montre la figure 1. Les camions de collecte peuvent être optimisés grâce à des capteurs intelligents qui ne s'activent que lorsque c'est nécessaire. Cependant, l'IA va plus loin et offre un logiciel d'amélioration des itinéraires qui permet de déterminer en temps réel les itinéraires les plus performants. Non seulement la présence de déchets polluants dans notre environnement est réduite, mais elle réduit également la nécessité d'extraire de nouvelles ressources, réduisant ainsi la pollution associée à cette activité. Nous



**Figure 1.** Capteur de remplissage de poubelle en action

examinerons les différentes applications de l'intelligence artificielle dans la valorisation énergétique des déchets, les solutions de poubelles intelligentes, les robots spécialisés dans le tri des déchets, les modèles prédictifs de génération de déchets et les systèmes de surveillance et de suivi des déchets.

#### **1.4 Surveillance environnementale en temps réel**

La Surveillance instantanée est un processus complexe pour la gestion des déchets qui implique la collecte, la transmission, l'analyse La visualisation des données sur la production, la composition, la collecte, le transport, le traitement et l'élimination des déchets en temps réel ou quasi immédiat. Cette surveillance utilise Une gamme de technologies telles que des capteurs, des étiquettes RFID, des traceurs GPS, des caméras, des drones, des poubelles intelligentes et le cloud computing pour recueillir et analyser des données de diverses sources et lieux.

Elle peut également faire recours à l'intelligence artificielle, à l'apprentissage automatique et à l'analyse du Big Data pour générer des données, des recommandations basées sur ces informations et des prévisions.

la Surveillance instantanée apporte multiples avantages pour la gestion des déchets , incluant l'accroissement de l'efficacité et de la productivité, l'amélioration de la qualité et des performances, le soutien à la prise de décisions et à la planification, ainsi que la promotion de la durabilité et de l'innovation. Elle joue Un rôle vital dans l'amélioration des applications des villes intelligentes en permettant la surveillance et la gestion en temps réel des processus urbains.

Par exemple, les capteurs de déchets intelligents compatibles avec l'IoT permettent aux villes d'optimiser la récupération des déchets, de réduire les débordements des poubelles et de gérer efficacement les ressources.

#### **1.5 Solution proposée**

En outre, l'utilisation des technologies IoT dans les récipients permet d'utiliser l'apprentissage automatique, l'intelligence artificielle et la vision par ordinateur pour améliorer le tri des déchets, diminuer les erreurs humaines et simplifier le travail dans les centres de recyclage.

Les nouvelles poubelles intelligentes identifient et classent les déchets en verre, papier, plastique et métal, les compriment et communiquent aux agents sanitaires les niveaux de remplissage de chaque type de déchets.

Le but de ce projet est de mettre en place un système de gestion des déchets en utilisant l'IA et l'IoT. L'objectif de ce système est :

- Développer un modèle d'intelligence artificielle qui permet de classifier les déchets et permet d'augmenter la rapidité et la précision du tri, ce qui réduit les erreurs et améliore l'efficacité du recyclage
- Mettre en place un prototype de poubelle intelligente équipé d'une plateforme embarquée, une caméra ainsi qu'un lecteur RFID pour l'identification des utilisateurs. Grâce à son identification automatique des types de résidus, la poubelle intelligente facilite le recyclage, ce qui aide à réduire la contamination des matériaux recyclables et à améliorer la qualité des matériaux récupérés.
- Attribuer des récompenses aux utilisateurs de ces poubelles intelligentes selon les déchets remis. Cette approche encourage à participer au recyclage ce qui permet la création d'une communauté engagée et consciente de l'importance du recyclage.
- Développer une application mobile qui permet à ses utilisateurs de suivre leur score de recyclage, de gagner des codes promo en partenariat avec des marques collaboratives, et de profiter d'un système de parrainage avantageux.

## 2. Description architecturale

Le premier volet de notre étude portera sur l'analyse des exigences fonctionnelles du système suivi d'une exploration approfondie de sa conception matérielle et logicielle avec les choix technologiques et les principes directeurs. La figure 2 représente l'architecture générale de notre système.

Cette figure montre l'interaction entre les différents composants du système.

Pour mieux comprendre le rôle et les caractéristiques de ces composants, nous avons opté pour la division de notre solution proposée sous forme de sous-systèmes fortement liés qui seront détaillés dans les sections suivantes.

### 2.1 Prototype matériel

Cette section traite du prototype matériel de notre poubelle intelligente. Nous allons y décrire tous les composants utilisés.

#### 2.1.1 Description du Raspberry Pi4 modèle B

Le Raspberry Pi 4 qui présente dans la figure 3 a une option intéressante par rapport aux autres microcontrôleurs et ordinateurs monocarte du marché. Cela en fait un choix idéal pour les écoles et universités aux budgets serrés. Comme le montre la figure 3, cette plateforme inclus divers composants. Entre autres, il est équipé d'un puissant processeur quadricœur ARM Cortex-A72, qui peut gérer facilement des applications robotiques complexes [5].

Par ailleurs, il est équipé de 8 Go de RAM, ce qui est assez pour exécuter plusieurs applications simultanément. Même pour les débutants, la navigation de la Raspberry Pi est facile et conviviale. C'est donc un choix parfait pour les professeurs qui veulent introduire la robotique à leurs élèves.

Il supporte aussi plusieurs langages de programmation, en particulier Python et C+. Les étudiants peuvent ainsi choisir le langage de programmation qui répond le mieux à leurs besoins d'apprentissage.

L'ensemble de GPIO (General Purpose Input/Output) de la carte Raspberry est utilisé de manière intensive dans le DIY, mais il n'y a pas de limites.

Le Raspberry Pi possède une variété de périphériques, y compris des ports USB et HDMI, qui peuvent être utilisés pour connecter différents appareils et capteurs, tels que des microphones, et des capteurs, contrairement à Arduino.

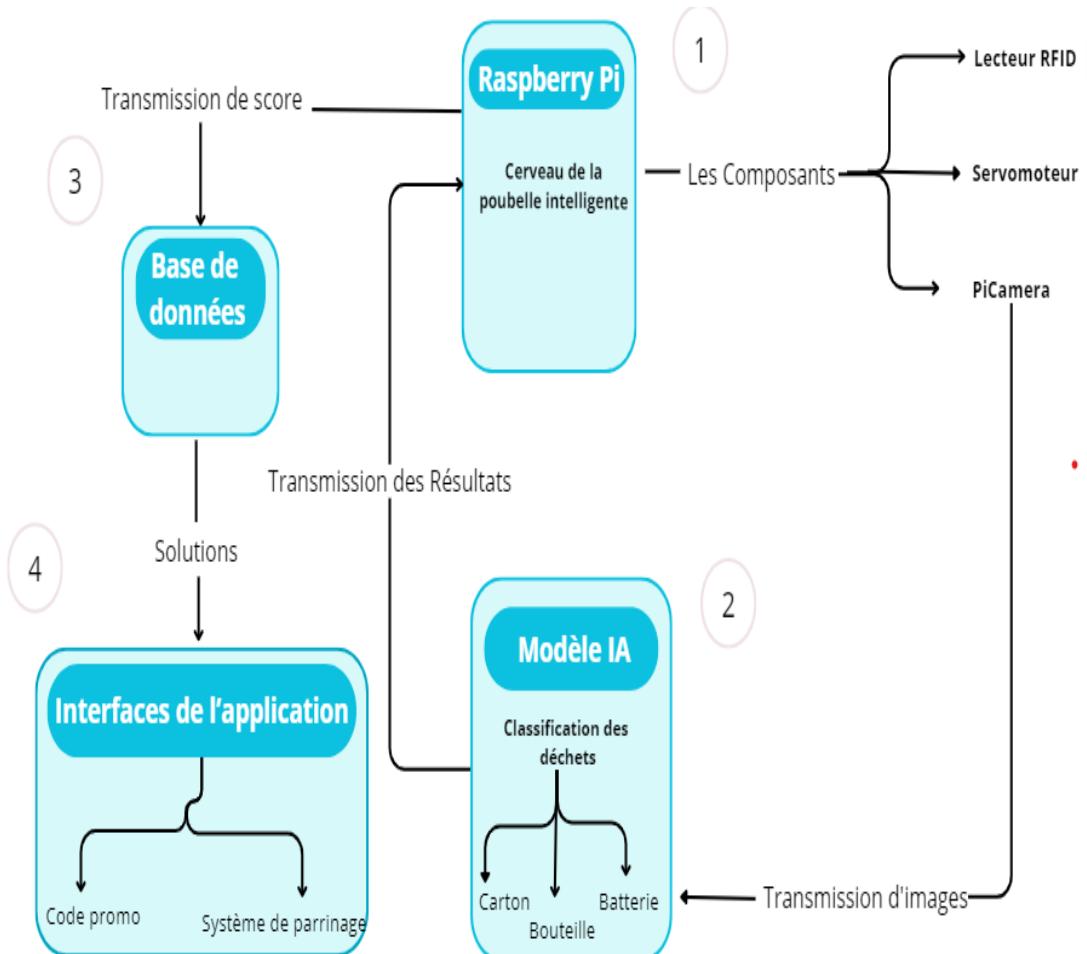


Figure 2. Vue d'ensemble de notre système

### 2.1.2 Le module Camera

Dans notre projet on va utiliser une caméra pour prendre des photos à des déchets déposés dans la poubelle. qui sont ensuite classifiées par un système d'IA qui traite les données visuelles.

Les caractéristiques de la camera sont [1]:

- Capteur 8 Mégapixels
- Dimension du capteur 3280 x2464 pixels
- Résolutions vidéo 1080p30, 720p60 et 640x480p90
- Dimension du pixel 1,4 µm x 1,4 µm avec technologie OmniBSI
- Dimension de la partie optique 1/4

### 2.1.3 Lecteur RFID

Le rfid est une technologie basée sur l'usage d'étiquettes RFID, aussi connues sous le nom de tags, qui sont attachées à des objets pour permettre leur identification unique. Les tags RFID sont composés d'une puce électronique qui contient des données et d'une antenne qui communique avec un lecteur RFID par ondes radio. Il est possible de communiquer entre les deux en utilisant un Raspberry Pi et un

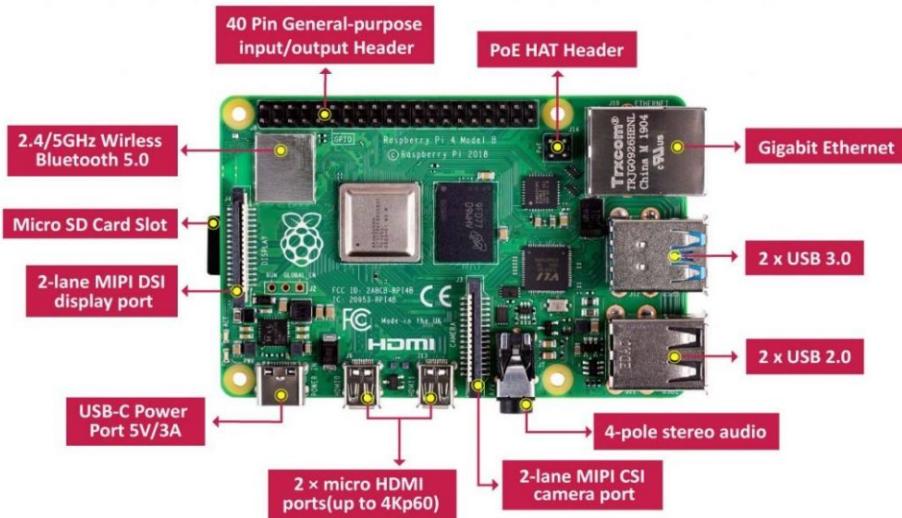


Figure 3. Les caractéristiques du Raspberry Pi 4 Modèle B

lecteur RFID connecté au Raspberry Pi pour lire les données des tags. Ceci facilite l'incorporation de la technologie RFID dans des projets Raspberry Pi, comme la poubelle intelligente, pour l'identification et le suivi des déchets. Le schéma de connexion est illustré dans la figure 4.

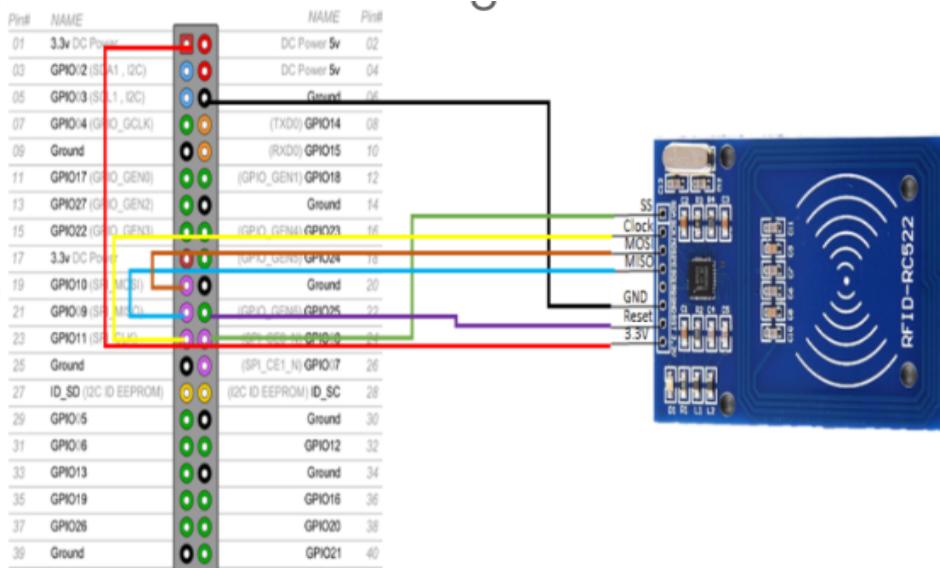


Figure 4. Schéma de connexion du RFID avec la Raspberry

#### 2.1.4 Caractéristiques du Servo-Moteur

Le servo-moteur dans notre projet joue un rôle crucial basé sur les résultats du modèle. Il est responsable de déplacer le couvercle de la poubelle pour permettre le dépôt des déchets. Après un

délai spécifié, le servo-moteur ramène le couvercle à sa position initiale, prêt pour une nouvelle utilisation. les caractéristiques du servo-moteur utilisé sont décrites comme suit [6]:

- Alimentation : 4,5 V à 6 V.
- Couple : 1,2 kg/cm sous 4,5 V ; 1,4 kg/cm sous 6,0 V.
- Vitesse : 0,12 sec/60° sous 4,5 V ; 0,10 sec/60° sous 6,0 V.
- Longueur du fil : 19 cm.
- Rotation : 180°
- Dimensions : 22,8 x 11,6 x 23,6 mm.
- Poids : 9 g.

## **2.2 Conception d'Application Mobile**

Notre future application mobile aura comme objectifs de donner aux utilisateurs la possibilité de consulter en temps réel leur score, basé sur les déchets qu'ils ont correctement triés et éliminés dans la poubelle intelligente.

Nous prévoyons d'inclure un diagramme de cas d'utilisation qui mettra en lumière les différentes fonctionnalités et interactions que les utilisateurs pourront avoir avec l'application comme représenté dans la figure 5 .

Au sein de notre système de poubelles intelligentes, l'application mobile occupe une place fondamentale dans la communication avec les utilisateurs. Grâce à un compte personnel, les utilisateurs peuvent accéder à un service de localisation des poubelles intelligentes disponibles dans leur région .

Cette option permet aux utilisateurs de localiser facilement les poubelles les plus proches, ce qui les encourage à jouer un rôle actif dans la gestion des déchets. De plus, l'application attribue un "score" à chaque utilisateur, basé sur la catégorie de déchet et la quantité de déchets correctement triés et recyclés.Le score est une mesure de l'engagement de l'utilisateur envers le recyclage et la gestion écologique des déchets.

En fonction de leur score, Les utilisateurs peuvent obtenir des codes promo des marques partenaires de notre système de poubelles intelligentes .

Ces codes promo offrent aux utilisateurs des avantages exclusifs chez les marques partenaires, créant ainsi une motivation supplémentaire à adopter des comportements écoresponsables.

L'application offre également aux utilisateurs d'inviter des amis en partageant un code de parrainage unique. lorsque le compte d'un ami a été inscrit avec ce code et commence à recycler, l'utilisateur gagne des points de parrainage supplémentaires. Ainsi, l'application non seulement récompense les actions individuelles mais aussi encourage les utilisateurs à influencer leur entourage à adopter des pratiques de recyclage.

## **2.3 Génération de Modèle d'intelligence artificielle pour la classification des déchets**

L'apprentissage supervisé est une approche typique pour créer un modèle d'IA pour la classification des déchets .

L'apprentissage du modèle repose sur un jeu de données labellisé, où chaque image d'entraînement est identifiée par une étiquette indiquant le type de déchet correspondant. Grâce à l'optimisation de sa fonction de perte, le modèle apprend des exemples étiquetés et peut ensuite généraliser pour classifier correctement les déchets non étiquetés.

La classification des déchets, tout comme d'autres tâches de classification d'images, repose souvent sur l'apprentissage supervisé en raison de sa capacité à créer des modèles qui sont à la fois précis et fiables.

Pour générer un modèle d'IA, il est nécessaire de passer par 4 étapes principales:

- Préparation de la base de données
- Phase d'apprentissage/ d'entraînement

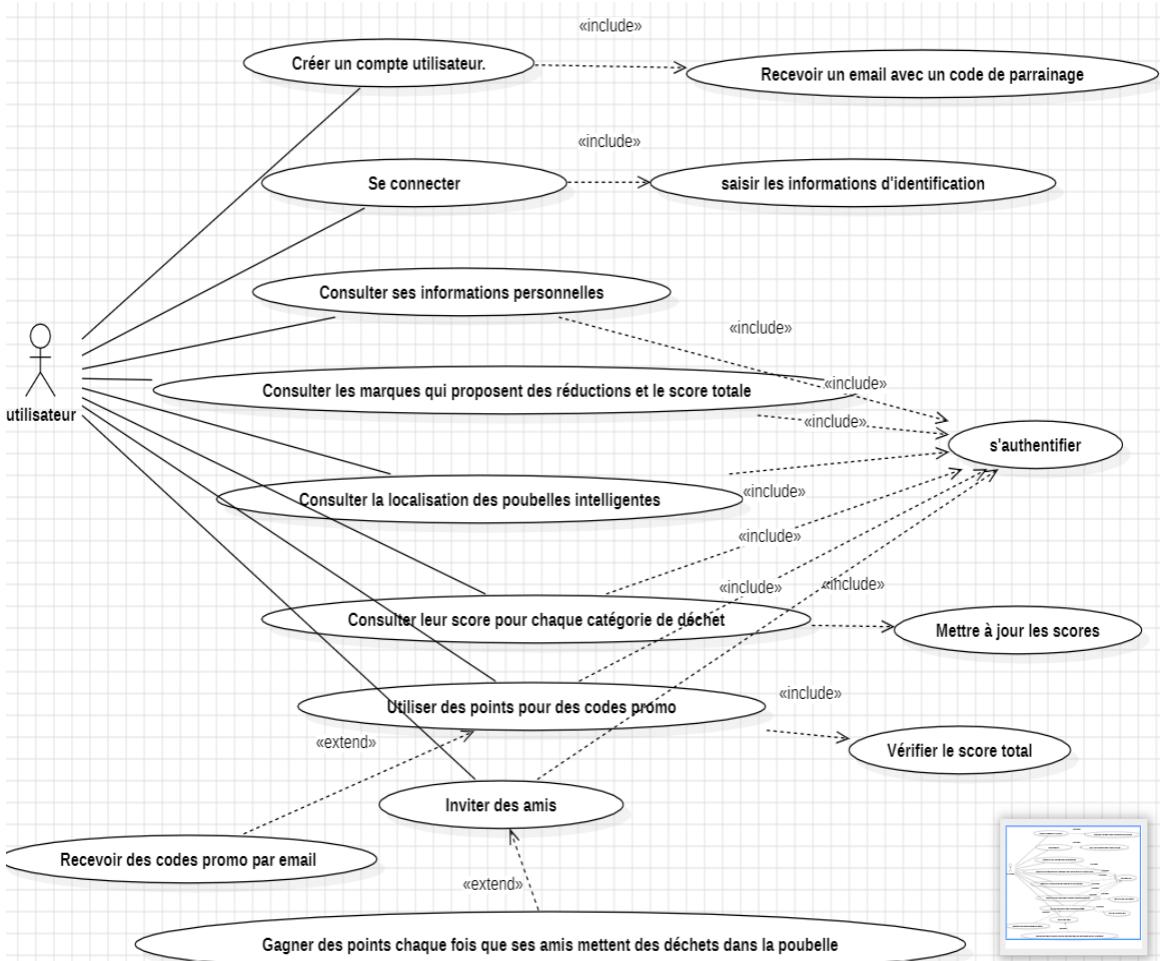


Figure 5. Diagramme de cas d'utilisation

- Génération du modèle

### 2.3.1 Préparation de la base de données

Pour créer une base de données, comprenant des images de trois classes de déchets : carton, bouteille et batterie, j'ai collecté des images représentatives de chaque classe à partir de diverses sources. Par la suite, j'ai nettoyé les données en retirant les images qui ne correspondaient pas à des critères de qualité suffisants comme illustré dans la figure 6.

Ensuite, j'ai appliqué un prétraitement aux images, notamment en les redimensionnant à une taille standard de 150x150 pixels, en les convertissant en niveaux de gris, et en normalisant les valeurs des pixels pour les rendre comparables. Ces étapes de prétraitement sont cruciales pour veiller à ce que ces images soient standardisées et prêtes à être utilisées dans un modèle d'apprentissage automatique.

Une étape importante consiste à séparer les données en plusieurs ensembles :

- Une série d'entraînement: qui servent à inciter le modèle à faire des prévisions ou à faire des choix.



Figure 6. Illustration des données de déchets classées

- Une série du test: utilisées pour évaluer à quel point le modèle peut prédire avec succès des données qu'il n'a pas encore vues.
- Une série de validation: qui est utilisées pour évaluer l'efficacité du modèle pendant sa phase d'entraînement. Elles permettent de vérifier si le modèle apprend de manière adéquate sans être trop spécialisé sur les données d'entraînement. Après chaque étape d'entraînement, le modèle est testé sur les données de validation pour voir s'il peut bien s'adapter à de nouvelles données. Si le modèle fonctionne bien sur les données de validation, cela signifie qu'il est probablement prêt à être utilisé sur de nouvelles données.

Ces données joueront un rôle crucial dans le processus d'apprentissage, de mesure et d'amélioration du modèle .

### 2.3.2 Entrainement du modèle

Pour notre projet de rangement des déchets, nous avons opté pour une architecture de réseau neuronal convolutif (CNN) en raison de sa capacité à extraire des caractéristiques pertinentes des images, ce qui est fondamental pour une classification précise des déchets.

Nous avons mis en place une architecture CNN avec trois couches principales comme présente la figure 7. Cette architecture inclus principalement les couches suivantes :

- Convolution: Cette couche joue un rôle crucial au moment de l'extraction des attributs importantes en appliquant des filtres pour détecter des motifs tels que des contours, des textures ou des formes. Une fois la convolution effectuée, la fonction ReLU (Rectified Linear Unit) est souvent appliquée pour introduire de la non-linéarité, remplaçant les valeurs négatives par zéro.
- Max Pooling : La couche de MaxPooling est utilisée pour réduire la dimension des données tout en préservant les caractéristiques importantes. Elle favorise la rapidité de l'apprentissage en réduisant la quantité de données à traiter.
- Flatten : La couche Flatten a pour rôle de transformer la sortie en un vecteur unidimensionnel. Elle est généralement utilisée après les couches de convolution et de pooling, ce qui permet de préparer les données pour les couches entièrement connectées qui suivent. Cette transformation

réduit la dimensionnalité des données, facilitant ainsi leur traitement et l'extraction des propriétés importantes nécessaires à la classification ou à la prédiction.

- Dropout : La couche Dropout est une méthode de régularisation utilisée pour prévenir le surapprentissage (overfitting) dans les réseaux de neurones. Pendant l'entraînement, des neurones aléatoires de la couche Dropout sont "désactivés", ce qui signifie qu'ils ne sont pas pris en compte lors du passage avant ou arrière de l'information. Cette technique aide le réseau à développer des caractéristiques plus robustes et à éviter de trop se spécialiser sur des patterns spécifiques, ce qui peut l'aider à généraliser les nouvelles données et à être moins sensible aux variations mineures des données d'entraînement.
- Dense : Chaque neurone dans cette couche est relié à tous les neurones dans la couche précédente. elle est utilisé pour transformer les caractéristiques extraites de la couche précédent en une forme adaptée à la tâche de classification finale. La fonction Softmax est couramment utilisée comme fonction d'activation dans la dernière couche Dense d'un réseau de neurones pour la classification. Elle normalise les scores de sortie en probabilités, indiquant la probabilité que chaque entrée appartienne à une classe spécifique. Ainsi, elle facilite la sélection de la classe prédictive comme celle avec la probabilité la plus élevée.

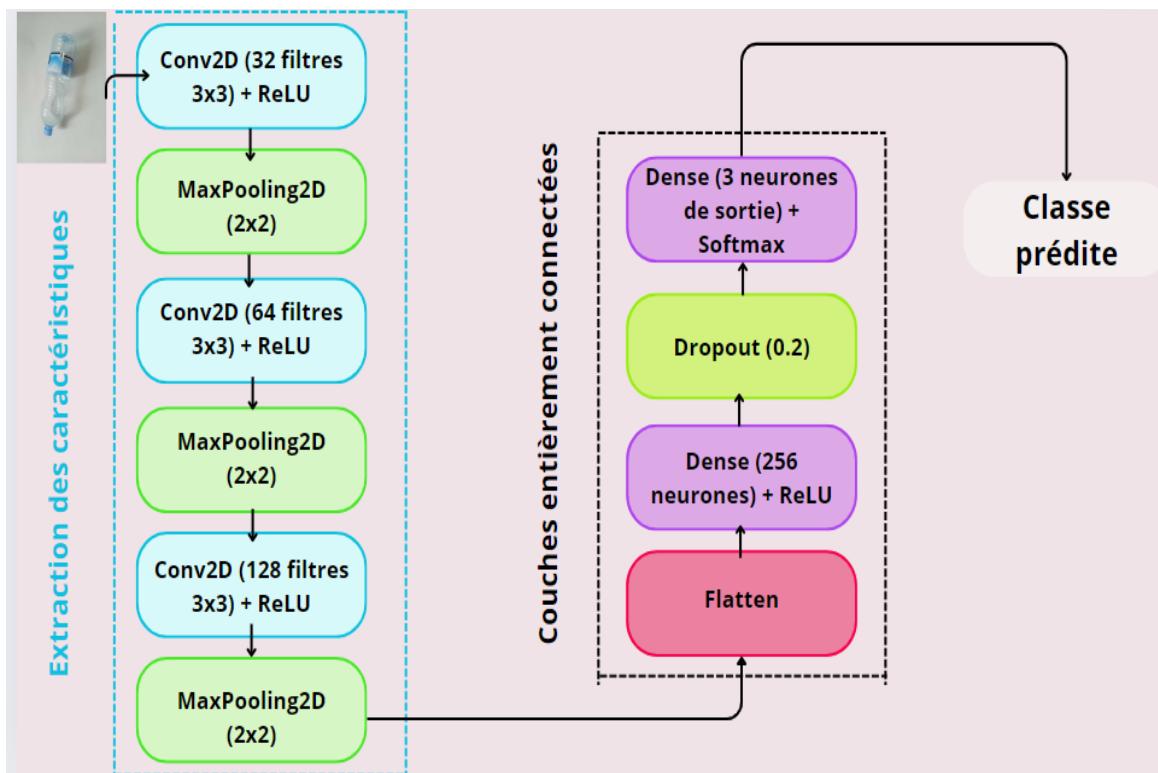


Figure 7. Schéma de l'architecture CNN

### 2.3.3 Génération du modèle

Une fois l'entraînement terminé, le modèle est évalué sur un ensemble de données de test distinct pour évaluer sa performance finale. Cette évaluation inclut l'utilisation de la matrice de confusion pour analyser les performances de classification du modèle. Cette analyse permet de comprendre les

forces et les faiblesses du modèle, ainsi que d'identifier les domaines où des améliorations peuvent être apportées. Après cette évaluation, le modèle est converti en format TensorFlow Lite (TFLite) pour être utilisé efficacement sur des dispositifs embarqués comme le Raspberry Pi, puis enregistré pour une utilisation future.

## 2.4 Base de données

Dans notre système de classification des déchets, le Raspberry Pi et ses composants agissent comme l'unité de traitement principale, tandis que la partie IA se charge de l'analyse et de la classification des images.

Cette combinaison permet à notre système d'effectuer une classification précise et efficace des déchets. Les données résultantes sont ensuite envoyées via une API . Les informations obtenues sont ensuite transférées à une base de données via une API .

Une API (Interface de Programmation Applicative) est un ensemble de règles et de protocoles qui permettent à différentes applications informatiques de communiquer entre elles de manière structurée et normalisée. Cela permet à des systèmes informatiques différents, comme une application mobile, un serveur web ou un Raspberry Pi, de s'échanger des données ou de déclencher des actions spécifiques.

Cette connexion entre la base de données et l'application assure une gestion efficace des données collectées, offrant ainsi une solution complète et fonctionnelle pour notre système de classification des déchets.

## 3. Mise en oeuvre et Résultats

Cet article expose les résultats de notre projet de poubelle intelligente qui associe les récentes évolutions en développement mobile, en Internet des objets (IoT), en intelligence artificielle (IA) et en embarquée. Notre système intègre de manière innovante l'intelligence artificielle pour la détection et la classification des déchets,de l'Internet des objets pour la connectivité et le contrôle à distance,une application mobile pour l'interaction avec les utilisateurs, et un Raspberry Pi pour le traitement d'image en temps réel.

### 3.1 Les technologies utilisées

Le développement de notre projet de poubelle intelligente a nécessité une expertise diversifiée en programmation, Comme présenté dans la figure 8

Java s'est avéré être le choix idéal pour notre application mobile en raison de sa compatibilité et de sa fiabilité sur la plateforme Android,offrant des options comme la visualisation en direct du score de recyclage et la possibilité de recevoir des notifications personnalisées.

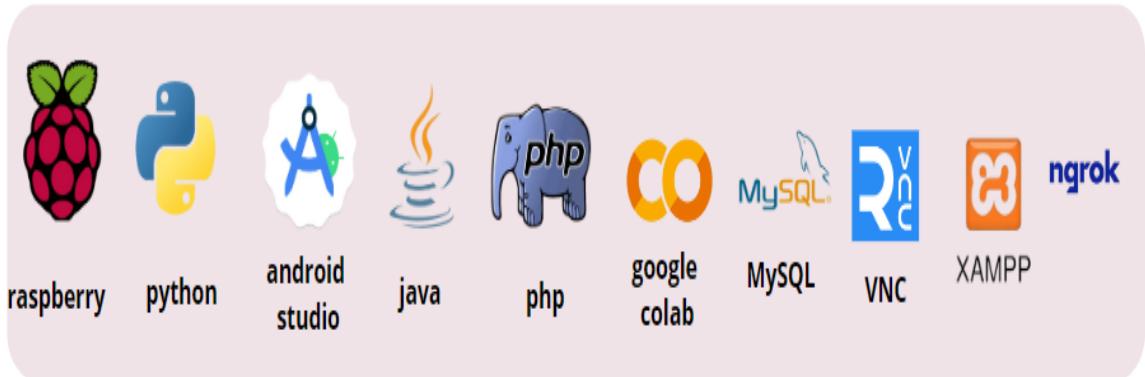
Python a joué un rôle crucial dans notre projet, en particulier pour la mise en œuvre de l'intelligence artificielle. En intégrant les bibliothèques TensorFlow et OpenCV, la poubelle intelligente a pu détecter et classer les objets de manière précise,facilitant ainsi le tri efficace des déchets.

Cette approche nous a conduit à obtenir une précision élevée dans la reconnaissance des objets,ce qui a eu un impact positif sur l'efficacité de notre système de gestion des déchets.

PHP a été important pour gérer les informations et la communication avec notre serveur web de manière fiable, assurant une collecte fiable des informations sur les déchets collectés et les scores de recyclage des utilisateurs.Cette incorporation avec notre infrastructure IoT a facilité la mise en œuvre de mesures avancées.

nous avons utilisé ngrok pour créer un tunnel sécurisé entre la Raspberry Pi et Internet, permettant ainsi l'accès à la base de données depuis des applications et services mobiles externes .

Pour autoriser la transmission des données de la Raspberry Pi vers la base de données, nous avons employé des requêtes HTTP. Ces requêtes sont envoyées à l'API RESTful que nous avons développée pour superviser les interactions entre la Raspberry Pi et la base de données .



**Figure 8.** Les technologies utilisées pour créer notre Poubelle Intelligente

De plus, pour faciliter la gestion et la consultation des données dans la base de données, nous avons opté pour PHPMyAdmin comme interface d'administration.

### 3.2 *Les interfaces de l'application*

C'est une application tout-en-un qui propose une multitude d'outils qui permettent aux utilisateurs de mieux gérer leur score de recyclage et à profiter de codes promo auprès de marques partenaires.

Elle convient parfaitement à ceux qui souhaitent de s'engager dans le recyclage et de découvrir les avantages qui en découlent.

#### 3.2.1 *Authentification*

La section d'authentification est composée de quatre écrans : connexion, inscription, réinitialisation du mot de passe, et utilisation du code de vérification pour réinitialiser le mot de passe et créer le nouveau mot de passe. comme illustré dans la figure9 .

L'écran d'accueil de l'application propose deux options :Les utilisateurs ayant un compte peuvent saisir leur adresse e-mail et leur mot de passe pour accéder ou s'inscrire en créant un nouveau compte. Dans cette deuxième option, il est nécessaire que l'utilisateur saisisse :

- Son nom
- Son identifiant: Il s'agit du numéro de carte RFID personnelle.
- Son adresse e-mail
- Un mot de passe

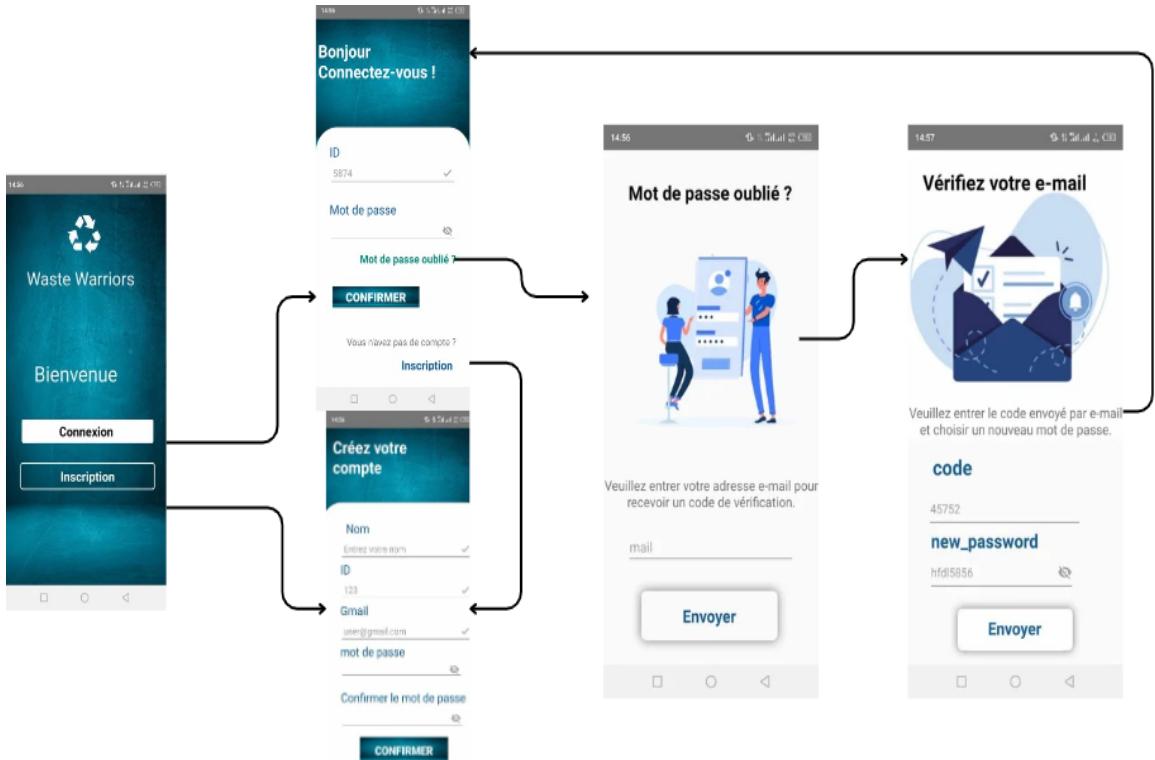


Figure 9. Les interfaces d'authentification

En cas d'oubli de mot de passe, l'utilisateur peut se rendre sur l'écran de réinitialisation du mot de passe en entrant son adresse e-mail, puis suivre le processus de vérification et de génération d'un nouveau mot de passe.

### 3.2.2 Système de parrainage

Après l'étape d'authentification, l'utilisateur accède à l'interface du tableau de bord. Si l'utilisateur souhaite participer au programme de parrainage, il lui suffit d'ajouter son code lors de la création de son compte, comme indiqué la figure10 .

Ce système de parrainage permet à un utilisateur existant de créer des comptes pour ses amis puis leur envoyer les identifiant de ces comptes.

En insérant son code de parrainage, l'utilisateur permet à ses amis d'être associés à son compte en tant que filleuls.

L'intérêt du parrainage peut être multiple:

- Pour les utilisateurs existants : Il accumule des points à chaque fois que son parrain jette un déchet dans la poubelle, tout en élargissant son réseau social en invitant des amis à rejoindre la plateforme.
- Pour la plateforme : Stimuler la croissance de l'utilisateur en encourageant les utilisateurs existants à inviter de nouveaux utilisateurs.

Le parrainage peut donc être un outil puissant pour stimuler la croissance d'une plateforme tout en offrant des avantages à ses utilisateurs

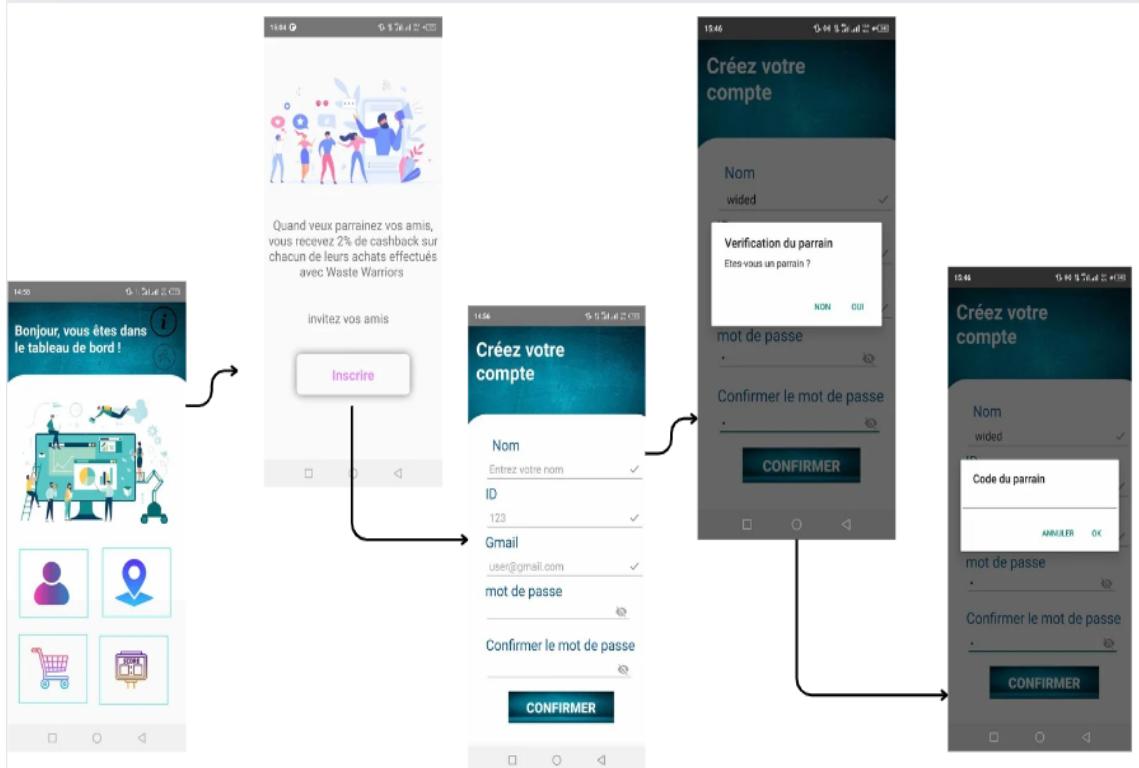


Figure 10. Enchaînement des interfaces du système de parrainage

### 3.2.3 Processus d'obtention d'un code promo

Dans notre application, l'obtention d'un code promo est basée sur le score de recyclage de l'utilisateur. En effet, chaque partenaire à notre application propose des pourcentages de réduction en fonction du score de recyclage atteint par l'utilisateur. Plus l'utilisateur recycle, plus son score augmente, ce qui lui permet de bénéficier de réductions plus essentielles .

Les utilisateurs peuvent consulter leur score de recyclage et les offres disponibles directement depuis l'application, et lorsque l'utilisateur accumule un nombre de points correspondant aux critères définis par une marque spécifique, il peut choisir cette marque pour convertir ses points en un code promo. Cette approche incite les utilisateurs à adopter des comportements écologiques tout en leur offrant des avantages tangibles.

Lorsqu'un utilisateur atteint le score requis pour une marque spécifique, il lui suffit de cliquer sur le pourcentage de réduction correspondant. Un e-mail contenant le code promo de la marque choisie est alors envoyé à l'utilisateur.

De plus, un toast s'affiche à l'écran pour signaler le score restant nécessaire pour obtenir d'autres réductions. La figure 11 illustre les interfaces de ce processus. Par exemple, La marque SHEIN offre une réduction de 25% une fois que l'utilisateur accumule 7000 points. Il suffit de cliquer sur l'image affichant -25%, et l'utilisateur recevra un email contenant le code promo correspondant. Cette réduction sera appliquée sur la somme totale des achats lors de l'utilisation du code promo.

### 3.2.4 Scores par classe de déchets

Sur cette interface, les utilisateurs ont la faculté de consulter leur score individuel pour chaque classe de déchets, reflétant ainsi leur implication dans le recyclage pour chaque type. En effet, le processus

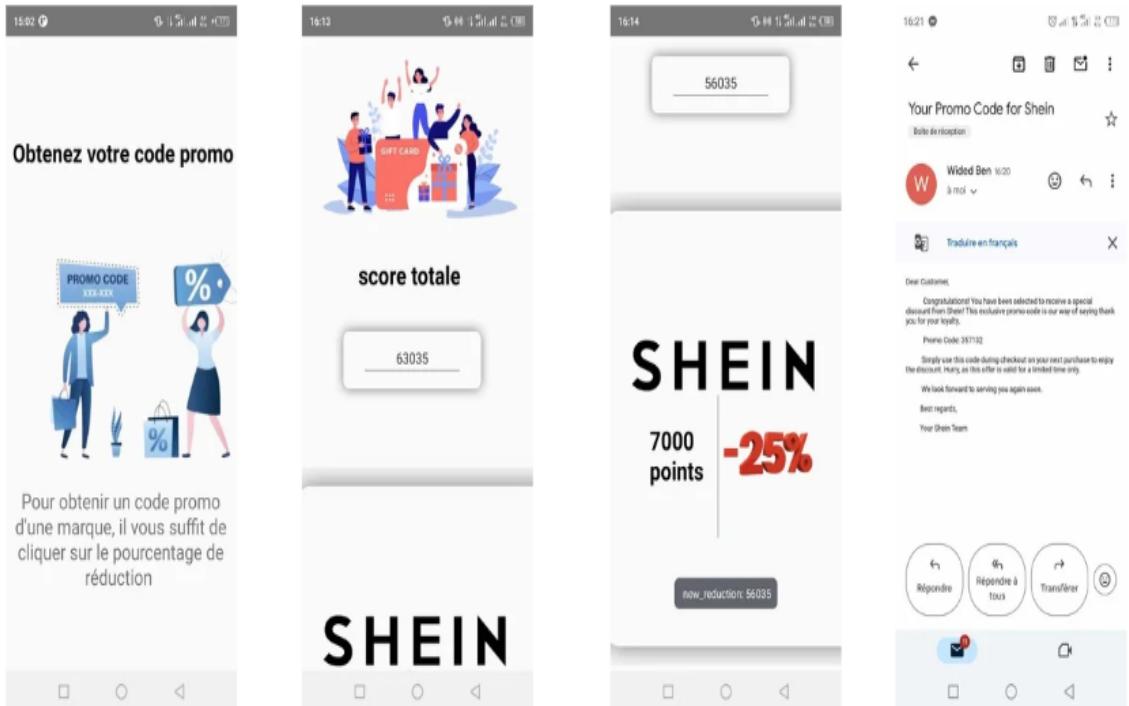


Figure 11. Interfaces du processus d'obtention d'un code promo

d'attribution de points est expliqué à travers la figure 12. Elle leur permet de surveiller leurs progrès en matière de recyclage et d'identifier les aspects à améliorer pour une meilleure efficacité. Dans notre application, nous avons opté d'attribuer les points comme suit:

- 30 points par carton
- 40 points par bouteille
- 70 points par batterie

Ce choix est basé sur plusieurs critères importants. Les batteries, qui reçoivent 70 points, ont un impact environnemental significatif en raison des métaux lourds et des produits chimiques qu'elles contiennent, et leur recyclage est complexe et coûteux. Les bouteilles reçoivent 40 points, bien que leur recyclage soit relativement plus facile, elles contribuent considérablement à la pollution marine et terrestre et occupent un grand volume. Enfin, le carton, qui se voit attribuer 30 points, a un impact environnemental moindre et est l'un des matériaux les plus faciles à recycler, avec un processus bien établi et moins coûteux. Cette répartition des points vise à encourager le recyclage de matériaux plus polluants et plus difficiles à traiter, maximisant ainsi l'impact positif de notre programme de recyclage.

### 3.2.5 Localisation des poubelles intelligentes sur Google Maps

Sur l'interface de Google Maps, les poubelles intelligentes sont représentées par des marqueurs rouges comme représenté la figure 13, permettant aux utilisateurs de les localiser rapidement et facilement. Grâce à l'intégration de l'API Google Maps dans notre application mobile, nous mettons à disposition des fonctionnalités de cartographie et de géolocalisation. Cette API permet d'afficher des cartes

interactives, d'ajouter des marqueurs pour signaler des lieux spécifiques, ce qui contribue à une meilleure expérience utilisateur.

### 3.3 Implémentation de la partie IA

Nous avons commencé par la mise en place d'une connexion entre Google Colab et un ordinateur portable. Après avoir paramétré l'accès à Google Drive pour importer la base, nous avons utilisé la GPU pour accélérer les calculs d'entraînement. Par la suite, nous avons paramétré l'accès à Google Drive afin d'importer la base de données nécessaire qui contient 3 classes.

#### 3.3.1 La phase du l'apprentissage

Pour entraîner notre modèle, nous avons exploité une base de données composée de 2836 images réparties en trois classes, chaque classe représentant approximativement un tiers du total des images. Cette base a été divisée en trois ensembles distincts : l'ensemble d'entraînement (1953 images, soit 70% du total), l'ensemble de validation (560 images, soit 20.1% du total) et l'ensemble de test (277 images, soit 9.9% du total). comme représente la figure 14

Durant le processus d'entraînement, toutes les images ont été standardisées à une taille de 150x150 pixels. Le modèle a été entraîné sur 50 époques, ce qui signifie qu'il a parcouru la totalité des données d'entraînement 50 fois.

Chaque lot d'entraînement était composé de 32 images, ce qui indique que le modèle traitait simultanément 32 images avant d'ajuster ses paramètres. Après chaque époque, les résultats du modèle ont été évalués en utilisant les données de validation. Cela nous a permis de surveiller la progression

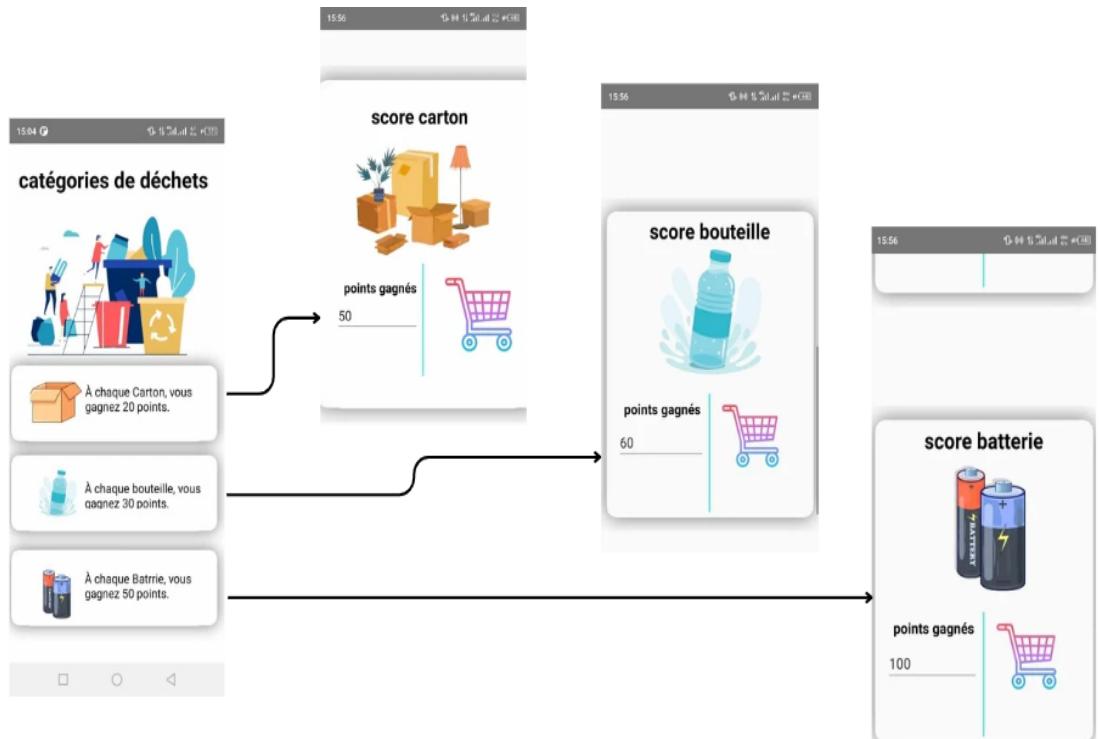
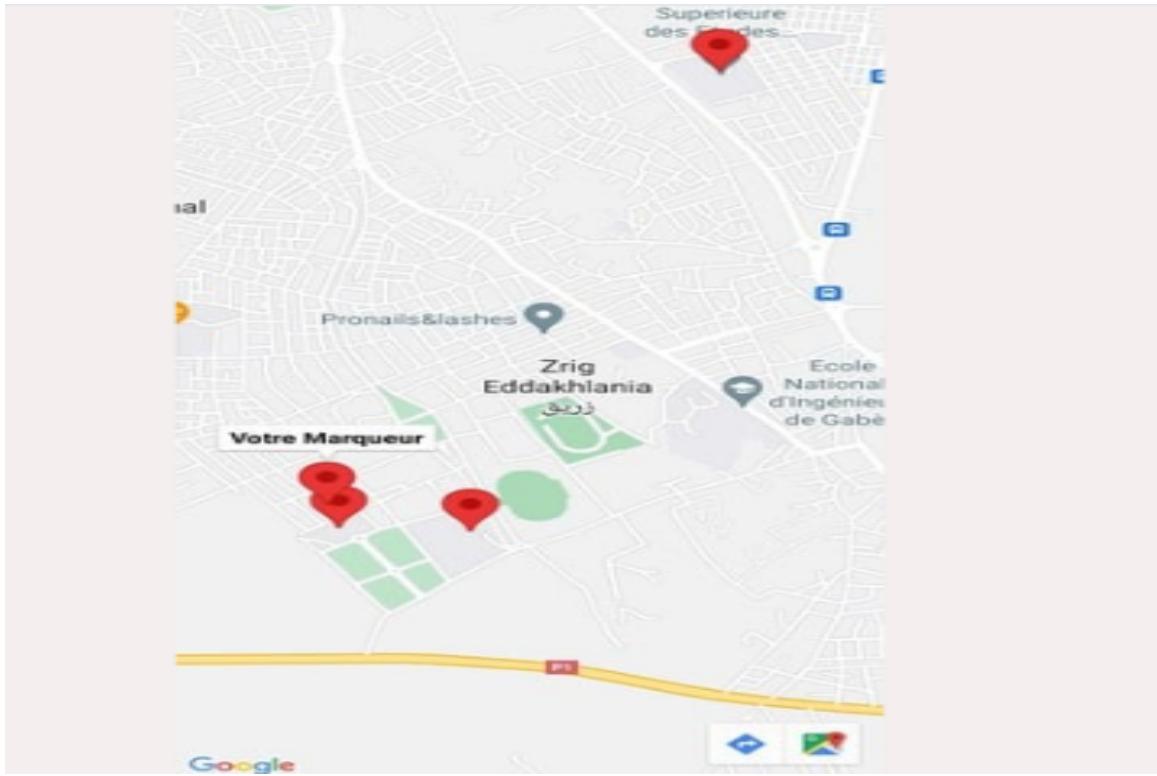


Figure 12. Interface des informations sur la transformation des déchets en points



**Figure 13.** Interface de localisation des poubelles intelligentes sur Google Maps

de l'apprentissage et d'effectuer des ajustements au besoin pour optimiser l'efficacité du modèle.

La performance de notre modèle CNN est représentée sur la figure 15 à travers les courbes d'entraînement et de validation. Nous observons une diminution régulière de la perte à travers l'augmentation de la précision sur les données d'entraînement, ce qui signale que notre modèle réussit à apprendre efficacement les caractéristiques des images de déchets. De plus, Nous observons une bonne concordance entre la courbe de validation et la courbe d'apprentissage, ce qui indique que notre modèle est bien régularisé et généralise correctement aux données de validation. Cette régularité dans l'apprentissage est essentielle pour garantir la capacité de notre modèle à classifier avec précision les déchets dans des situations réelles.

La matrice de confusion présentée dans la figure 15 ci-dessous donne un aperçu de la manière dont le modèle traite les trois classes d'images différentes lors de l'apprentissage de la détection des poubelles.

La similitude en forme entre les bouteilles et les batteries, avec leur caractère cylindrique et leurs extrémités, explique en grande partie les confusions observées. De même, la confusion entre le carton et les batteries peut être due à la teinte brunâtre de certaines batteries, les rendant visuellement proches du carton.

### 3.3.2 La phase de test

Une fois l'apprentissage terminé dans Google Colab, nous avons implémenté le modèle directement dans l'environnement de Google Colab pour le tester avec une caméra.

Cela a été réalisé en utilisant un code spécifique qui nous permet d'interagir avec la caméra et d'afficher les résultats en temps réel, le tout restant dans l'environnement de Google Colab.

Les résultats de cette phase de test sont présentés dans la figures ci-dessous 16 .

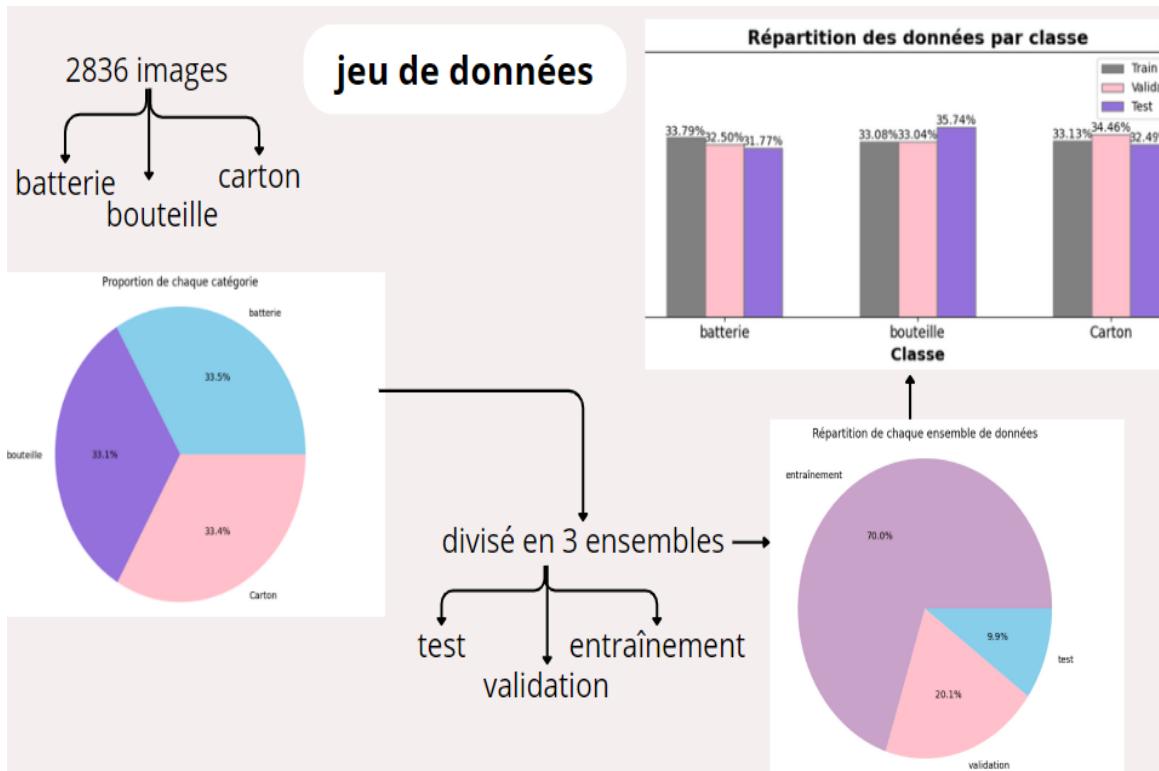


Figure 14. Jeu de données

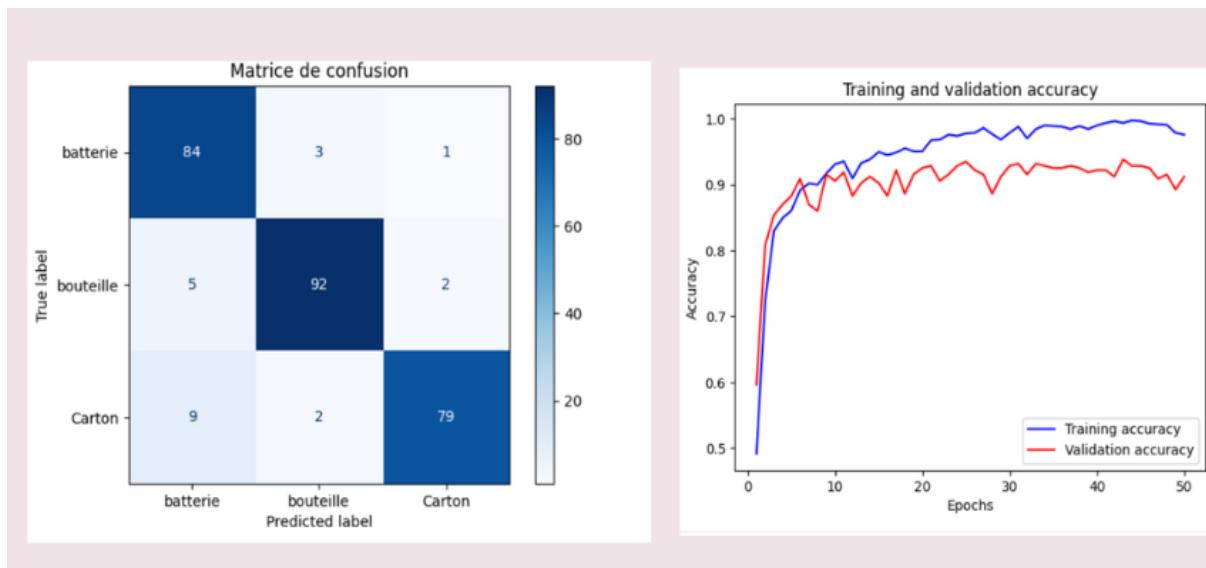


Figure 15. Analyse de Performance du Modèle

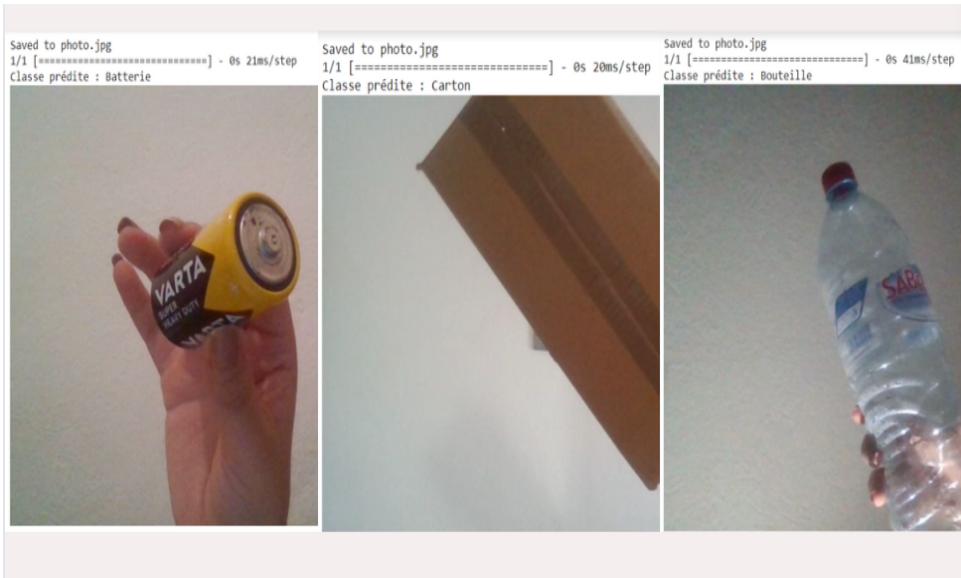


Figure 16. Illustrations des Prédictions pour Chaque Classe

### 3.4 L'implémentation sur Raspberry Pi 4

Pour implémenter le modèle sur la carte, nous avons converti le modèle d'intelligence artificielle au format TFLite afin de le rendre compatible avec les contraintes de ressources et de performances de la carte cible.

Initialement, le modèle au format .h5 avait une taille de 112132.09 KB. Après la conversion au format TFLite, la taille du fichier a été réduite à 37364.34 KB. Cette réduction significative de la taille permet d'optimiser les performances et de s'adapter aux capacités limitées de la carte.

### 3.5 Utilisation du Prototype pour la Détection

Je comprends, voici une version révisée :

Pour effectuer la détection d'image avec le module de caméra, nous avons d'abord utilisé un lecteur RFID pour identifier l'utilisateur et lui permettre d'ajouter des points à son compte en fonction du type de déchet détecté par la caméra.

En outre, le lecteur détecte l'ID de l'utilisateur et l'affiche, puis déclenche la caméra après 3 secondes. L'image capturée est ensuite analysée par le modèle de détection, qui fournit le résultat de la prédiction.

Après ces étapes, la carte envoie une API au serveur pour maintenir les informations dans la base de données, puis tourne la poubelle pour que l'utilisateur puisse placer le déchet dans le cylindre approprié, comme montré dans cette figure 17. Un assistant vocal guide également l'utilisateur tout au long du processus.

## 4. Conclusion

Ce projet a mis en lumière l'efficacité des modèles d'intelligence artificielle pour la classification des déchets. En convertissant notre modèle en format TFLite pour l'intégrer à une carte Raspberry Pi, nous avons optimisé ses performances tout en respectant les limitations de ressources. La réduction de la taille du fichier de 112132.09 KB à 37364.34 KB a considérablement amélioré la vitesse et l'efficacité de l'inférence en temps réel.



**Figure 17.** Images de Prototypes

Par ailleurs, l'application mobile associée joue un rôle crucial en motivant les utilisateurs grâce à un système de récompenses. Les utilisateurs peuvent suivre leurs actions de recyclage et recevoir des codes promotionnels en fonction de leur performance. Le système de parrainage intégré favorise également la croissance de la plateforme en permettant aux utilisateurs d'inviter des amis et de gagner des récompenses supplémentaires.

L'application offre une interface conviviale pour interagir avec le système, offrant des mises à jour en temps réel sur les objets triés et les scores obtenus. Ce projet illustre ainsi le potentiel des technologies embarquées et de l'intelligence artificielle pour développer des solutions intelligentes et écologiques en matière de gestion des déchets.

## 5. Remerciements

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à Mme Mariem Turki, mon encadrante, pour son soutien inestimable et ses conseils éclairés tout au long de ce projet. Sa disponibilité, son expertise et son engagement ont été essentiels à l'aboutissement de cette recherche. Je la remercie chaleureusement pour sa patience, son encouragement et sa confiance qui m'ont permis de mener à bien ce travail.

Je souhaite également remercier mes collègues et amis pour leurs encouragements constants et leur aide précieuse. Leur soutien moral a été une source de motivation continue.

Enfin, je tiens à exprimer ma reconnaissance à ma famille pour leur patience et leur compréhension durant les nombreuses heures consacrées à ce travail. Leur amour et leur soutien inconditionnel ont été un pilier fondamental dans la réalisation de cet article.

## References

- [1] James Adams. *Raspberry Pi V2 Camera: Back-Illuminated Sensor (BSI) and OmniBSI Technology*. URL: <https://www.framboise314.fr/une-nouvelle-camera-pi-v2-pour-le-raspberry-pi-8-megapixels-au-compteur/#:~:text=La%20Camera%20Pi%20V2,-La%20nouvelle%20version&text=Capteur%208%20M%C3%A9gapixels,4%20%C2%B5m%20avec%20technologie%20OmniBSI>.
- [2] *Cinq raisons de se préoccuper de la pollution de l'air*. le 3 juin. 2019. URL: <https://www.unep.org/fr/actualites-et-recits/recit/cinq-raisons-de-se-preoccuper-de-la-pollution-de-lair#:~:text=Selon%20l'Organisation%20mondiale%20de,heure%20ou%2013%20par%20minute>.

- [3] Amanda Holst. *Le leadership collaboratif et le rôle de l'IA*. le 15 octobre. 2021. URL: <https://blog.webex.com/fr/visioconferences/le-leadership-collaboratif-et-le-role-delia/#:~:text=Selon%20le%20dictionnaire%20Oxford%2C%20l,de%20d%C3%A9cision%20et%20la%20traduction>.
- [4] Banque mondiale. 2018. URL: <https://www.banquemondiale.org/fr/news/press-release/2018/09/20/global-waste-to-grow-by-70-percent-by-2050-unless-urgent-action-is-taken-world-bank-report>.
- [5] Niryo. *Raspberry Pi 4 : un atout pour la robotique STEM*. le 13 avril. 2023. URL: <https://niryo.com/fr/learn-robotics/raspberry-pi-4-an-asset-for-robotics-stem-robotics/>.
- [6] Technologie Services. *Micro servomoteur de 9 g*. n.d. URL: [https://technologieservices.fr/ts\\_fr/315576.html](https://technologieservices.fr/ts_fr/315576.html).