



ÉCOLE CENTRALE CASABLANCA

PROJET LEARNING BY DOING

Gestion de la collecte des déchets ménagers à Casablanca



Réalisé par :

BENMIMOUN Oussama
BENRGUIG Ayyoub
CHOUKHMANE Assia
DIA Mohamadou
EL KABLI Khadija

Encadrante :

Mme. BENSIALI Bouchra

Juin 2023

Table des matières

Remerciements	4
Résumé	5
Abstract	5
1 Introduction	6
2 Développement du projet	7
2.1 Planification	7
2.1.1 Gestion du projet	7
2.1.2 Diagramme de Gant	7
2.2 Contextualisation	7
2.2.1 La ville intelligente	7
2.2.2 Les déchets	9
2.2.3 Périmètre du projet : Pourquoi la collecte des déchets et non pas leur traitement ?	9
2.3 Problématique	9
2.3.1 Déchets Solides Municipaux (DSM) en Afrique	10
2.3.2 Profil du client visé : Questionnaire	11
2.4 État de l'art	12
2.4.1 Solutions existantes	12
2.4.2 Comparaison des solutions	15
2.4.3 Discussion	15
2.5 Mise en place de la solution	15
2.5.1 Solution retenue	15
2.5.2 Principe de fonctionnement	15
2.5.3 La poubelle intelligente	16
2.6 Diagrammes représentant le système	23
2.6.1 Diagramme FAST (Functional Analysis System Technique)	23
2.6.2 Diagramme SADT (Structured Analysis and Design Technique)	24
2.7 Réalisation et tests	25
2.7.1 Processus de la collecte des déchets	25
2.7.2 Organigramme de fonctionnement	26
2.7.3 Circuit électronique du système	26
2.7.4 Conception 3D du prototype	27
2.7.5 Test du code et du circuit	27
2.7.6 Test de la plateforme Casa Zero Waste	28
2.7.7 Résolution et test de problème CVRP	29
2.8 Réalisation du prototype	30
2.9 Les résultats obtenus suivis des commentaires et d'analyses	32
3 Conclusion générale	33
4 Bibliographies	34
5 Annexes	35

Table des figures

1	Tableau de répartition des tâches	7
2	Diagramme de Gantt de notre projet	7
3	Le processus général de la transition urbaine [2]	8
4	Prévision de la composition des déchets municipaux en Afrique à l'horizon de 2050 [5]	9
5	Estimation des quantités de déchets ménagers produits annuellement (2017 à 2022)	10
6	Composition des DCM en Afrique [6]	10
7	Mauvaise gestion des déchets plastiques en Afrique (2010 à 2025)	10
8	Photos illustrant la sortie de l'équipe projet à Casablanca	11
9	La collecte en porte à porte des déchets	12
10	La collecte pneumatique des déchets	13
11	Les bacs intelligents	13
12	L'interface de l'application mobile	14
13	Regroupement des domiciles	14
14	Tableau de comparaison entre les solutions existantes	15
15	Schéma explicatif du fonctionnement du système	16
16	Tableau des matériels utilisés pour la conception de la poubelle	18
17	Tableau des prix des matériels utilisés	18
18	Plateforme Casa Zero Waste	19
19	Vehicle Routing Problem	22
20	Diagramme FAST	24
21	Diagramme SADT	25
22	Processus de notre système de collecte des déchets	25
23	Organigramme de fonctionnement de notre système de collecte des déchets	26
24	Circuit électronique du système	26
25	Modélisation 3D du prototype	27
26	Code et résultats obtenues de détection de la présence de l'utilisateur	27
27	Code et résultats obtenues du capteur de poids	28
28	Test de la plateforme Casa Zero Waste à Casablanca	28
29	Distance générée aléatoirement	29
30	Solution obtenue	30
31	Photos de notre prototype de la poubelle intelligente	31
32	Emplacement de la partie électronique dans le prototype	31
33	Emplacement du détecteur de niveau des déchets	32
34	Emplacement du détecteur de présence du citoyen	32

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à exprimer notre profonde gratitude envers l'École Centrale Casablanca pour nous avoir offert l'opportunité d'enrichir nos compétences grâce à la mise en place du projet Learning by doing dans notre programme d'études. Nous souhaitons également remercier sincèrement l'équipe du projet LBD sur lequel nous avons travaillé tout au long de l'année. Ce projet nous a permis de saisir les défis concrets du monde professionnel et de développer des capacités pour les relever de manière adéquate et intelligente.

Nous souhaitons adresser une reconnaissance particulière à notre tutrice, Madame Bouchra Bensiali, pour sa disponibilité, ses conseils précieux, ses remarques importantes et son soutien constant. Sa contribution a grandement nourri notre réflexion et a été une référence essentielle tout au long de ce projet.

Nous tenons également à exprimer notre gratitude envers Monsieur Khalid Dahi et toute l'équipe du Fablab, en particulier Monsieur Abdelaziz Daghouri, pour nous avoir fourni le matériel et les instructions nécessaires à la réalisation de notre prototype et à la concrétisation de notre solution.

Enfin, nous aimerais exprimer nos chaleureux remerciements à tous les membres des jurys pour leurs remarques pertinentes lors des soutenances et leurs commentaires constructifs. Leurs interventions nous ont permis de dissiper certaines incompréhensions relatives au projet et de progresser encore davantage.

Résumé

Vivre dans un environnement propre, bien équipé et bien organisé est un critère essentiel pour une bonne qualité de vie. En examinant les problèmes environnementaux en Afrique à travers diverses statistiques et études, nous constatons que la mauvaise gestion des déchets ménagers constitue un obstacle à la réalisation de cette condition. C'est cette constatation qui a motivé notre groupe, PLBD 10, à aborder et à travailler spécifiquement sur ce sujet.

Ainsi, nous avons exploré les différentes solutions possibles et avons choisi de nous concentrer sur le développement d'une poubelle intelligente, gérée par une entreprise de collecte de déchets via une plateforme Web, et utilisée par les clients par le biais d'une application mobile.

Cette poubelle sera équipée de capteurs connectés à une carte de contrôle, permettant de mesurer son niveau de remplissage et d'envoyer cette valeur à l'entreprise de collecte des déchets. Cette entreprise pourra ainsi intervenir pour vider la poubelle lorsque nécessaire. De plus, ces informations seront également transmises au client, lui permettant de vérifier la disponibilité de la poubelle et de savoir s'il peut y déposer ses déchets sans qu'ils ne s'accumulent.

Dans un premier temps, nous avions envisagé l'utilisation d'un compresseur pour comprimer les déchets et optimiser ainsi l'espace disponible dans la poubelle. Toutefois, cette option n'a pas pu être mise en œuvre en raison du coût élevé du matériel requis.

Abstract

Living in a clean, well-equipped, and well-organized environment is an essential criterion for a good quality of life. By examining environmental issues in Africa through various statistics and studies, we find that the poor management of household waste poses an obstacle to achieving this condition. It is this realization that has motivated our group, PLBD 10, to specifically address and work on this subject.

Therefore, we explored various possible solutions and chose to focus on the development of a smart bin, managed by a waste collection company through a web platform, and used by customers via a mobile application.

This bin will be equipped with sensors connected to a control board, allowing the measurement of its fill level and sending this information to the waste collection company. The company will then be able to intervene and empty the bin when necessary. Additionally, this information will be transmitted to the customer, enabling them to check the availability of the bin and determine if they can dispose of their waste without it accumulating.

Initially, we had considered using a compactor to compress the waste and optimize the available space in the bin. However, this option could not be implemented due to the high cost of the required equipment.

1 Introduction

L'Afrique, riche en ressources naturelles et avec une population majoritairement jeune, est un continent qui offre de nombreux potentiels à exploiter. Les dirigeants africains ont pris conscience de ces opportunités et se sont engagés à les exploiter dans l'intérêt du continent. Cependant, pour concrétiser ces potentiels, il est essentiel de cultiver un capital intellectuel qualifié, capable de relever de manière innovante les défis auxquels l'Afrique est confrontée. Dans cette optique, l'École Centrale Casablanca a choisi le thème "Villes Intelligentes et Durables en Afrique" pour le projet Learning by Doing de l'année 2022-2023. Cette initiative témoigne de l'engagement de l'école à former une nouvelle génération d'ingénieurs capables de contribuer au développement durable de l'Afrique grâce à leur expertise et leur esprit d'innovation.

Ce projet d'une durée d'un an vise à nous familiariser le monde de l'entreprise. Ainsi, notre équipe est chargée de concevoir une solution répondant à un besoin spécifique préalablement défini.

Après avoir terminé notre premier livrable, qui consistait en une synthèse de la recherche bibliographique sur le thème de la "Qualité de Vie et Environnement" en Afrique, nous avons identifié plusieurs problématiques sur lesquelles nous pourrons nous pencher ultérieurement. Parmi ces enjeux figurent le logement et l'itinérance, le manque de connectivité à Internet, la pollution et l'accumulation des déchets, entre autres. Dans le cadre de la thématique définie, notre champ d'action se concentre spécifiquement sur les problèmes liés à la gestion des déchets en Afrique, en mettant l'accent sur la collecte intelligente des déchets domestiques à Casablanca. Le choix spécifique de ce sujet n'est pas le fruit du hasard, mais découle des conclusions tirées de nos recherches. Celles-ci démontrent que le problème de la collecte des déchets est une préoccupation majeure sur le continent africain, nécessitant une résolution prioritaire avant d'aborder la question du traitement de ces déchets, qui constitue actuellement un problème majeur en Europe.

Notre objectif à travers ce projet est de concevoir et développer un système intelligent de collecte des déchets afin d'optimiser au maximum ce processus. Ce système impliquera toutes les parties prenantes, notamment l'entreprise de collecte des déchets qui cherchera à minimiser l'énergie et le temps nécessaires à la collecte, ainsi que le client qui sera informé de l'état de la poubelle avant d'y déposer ses propres déchets.

2 Développement du projet

2.1 Planification

2.1.1 Gestion du projet

Afin d'assurer le succès de ce projet, nous avons dû mettre en place une organisation permettant de trouver un environnement de travail favorable pour tous les membres de l'équipe. Le récapitulatif suivant présente les responsabilités de chaque membre dans le projet.

Membre de l'équipe	Rôles et responsabilités
BENMIMOUN Oussama	Chercheur scientifique
BENRGUIG Ayyoub	Responsable de planification
CHOUKHMANE Assia	Responsable de communication
DIA Mohamadou	Responsable conception
EL KABLI Khadija	Coordinatrice du projet

FIGURE 1 – Tableau de répartition des tâches

2.1.2 Diagramme de Gant

En raison de la durée du projet, nous l'avons divisé en plusieurs tâches qui sont liées les unes aux autres, et nous avons réparti équitablement ces tâches sur toute l'année. Le diagramme de Gant suivant présente notre planification générale du projet.

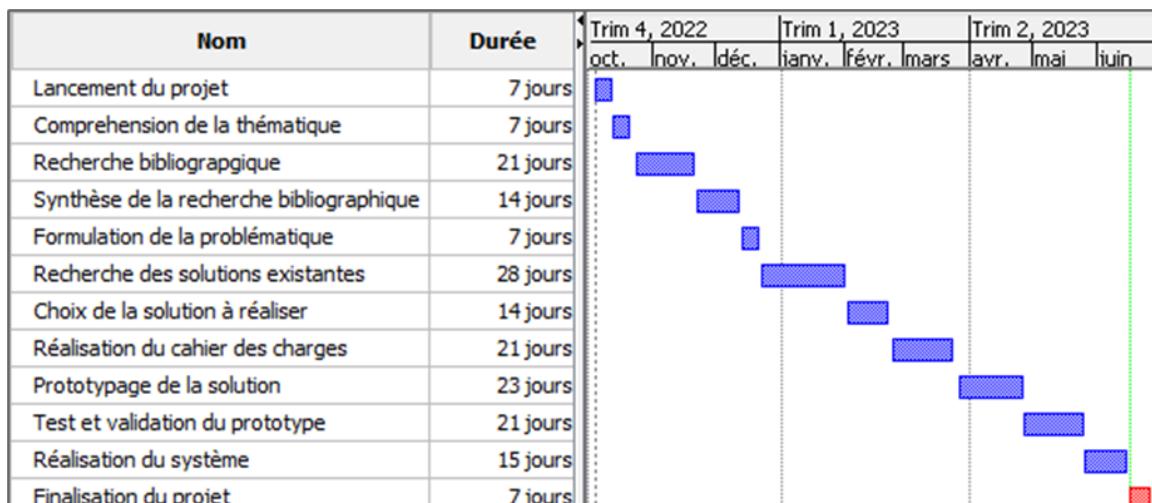


FIGURE 2 – Diagramme de Gant de notre projet

2.2 Contextualisation

2.2.1 La ville intelligente

Une ville intelligente, également connue sous le nom de smart city, est une ville qui priorise les technologies de l'information et de la communication pour garantir une meilleure interaction avec ses citoyens et une amélioration de leur qualité de vie malgré son développement

croissant et rapide, ainsi que de celui de son taux d'urbanisation. En effet, d'ici 2023, le nombre de mégapoles (c'est-à-dire les villes qui ont plus de 10 millions d'habitants), devrait atteindre 43[1].

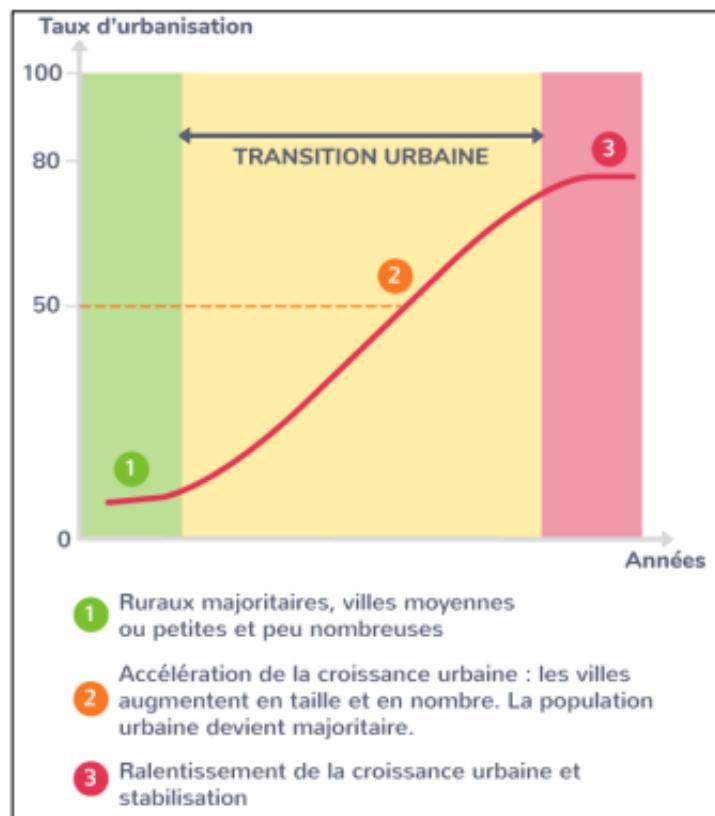


FIGURE 3 – Le processus général de la transition urbaine [2]

Les caractéristiques d'une ville intelligente sont variées et englobent plusieurs aspects importants. Elles incluent la durabilité énergétique avec une consommation optimisée de l'électricité, la réduction des déchets pour minimiser la pollution, l'optimisation des transports en commun, une approche éclairée de l'urbanisme et de l'aménagement territorial, ainsi qu'une gestion raisonnée de l'écosystème [3]. Ces spécificités mettent en évidence les différents défis associés au concept de "ville intelligente", tels que l'amélioration de la mobilité, la sécurité urbaine, l'adoption d'une économie durable en matière d'énergie, la promotion de la santé publique, la construction de bâtiments durables et la planification urbaine respectueuse de l'environnement, le renforcement du vivre-ensemble, la promotion des interactions entre les citoyens et l'utilisation des services numériques, ainsi que la transition vers la digitalisation.

La notion de "ville intelligente" repose sur trois aspects fondamentaux : l'aspect économique, social et environnemental. Ces trois aspects convergent vers un objectif commun : créer un environnement propice au développement et améliorer la qualité de vie des citoyens tout en préservant l'environnement dans lequel ils vivent. C'est cette perspective qui nous a incités à choisir la sous-thématique axée sur la qualité de vie et l'environnement. Cette thématique englobe une grande partie des problèmes auxquels sont confrontés les pays du monde, en particulier les pays d'Afrique, comme nous l'examinerons par la suite.

2.2.2 Les déchets

En Afrique, la population urbaine connaît une croissance constante. Elle représente actuellement plus de 490 millions d'habitants, soit 41% de la population totale des pays, et devrait continuer à augmenter d'ici 2050. Avec le processus d'urbanisation, le volume des déchets augmente proportionnellement, ce qui constitue un véritable défi pour les municipalités chargées de leur gestion. Par exemple, Casablanca génère quotidiennement 3000 tonnes de déchets solides, ce qui nuit à l'hygiène environnementale s'ils ne sont pas traités[4]. Malheureusement, 90% des déchets collectés ne sont pas recyclés et sont souvent enfouis, ce qui ne constitue pas une solution durable. Dans les régions d'Afrique subsaharienne, 70% des déchets sont laissés dans des décharges à ciel ouvert, principalement composés de déchets organiques qui se décomposent et dégagent des odeurs nauséabondes, entraînant souvent des problèmes sanitaires.

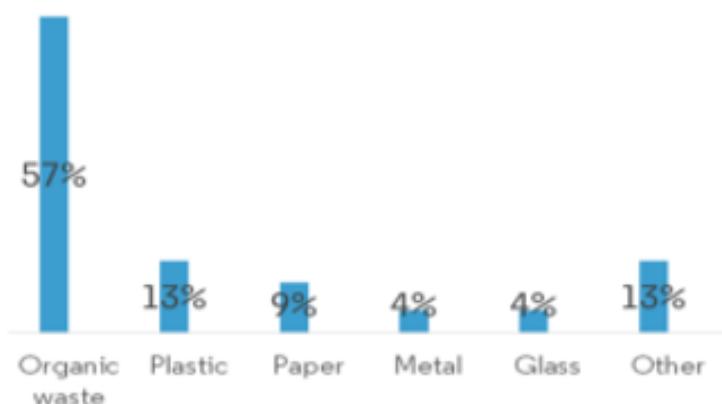


FIGURE 4 – Prévision de la composition des déchets municipaux en Afrique à l'horizon de 2050 [5]

Par ailleurs, cette mauvaise gestion est due aux difficultés de traitement de quelques déchets comme les déchets médicaux et électroniques qui nécessitent des techniques spéciales.

2.2.3 Périmètre du projet : Pourquoi la collecte des déchets et non pas leur traitement ?

Le projet se concentre sur la collecte des déchets plutôt que sur leur traitement en raison de plusieurs facteurs clés. Tout d'abord, la collecte des déchets est une étape essentielle pour prévenir l'accumulation de déchets, éviter la propagation de maladies et préserver l'environnement. De plus, la collecte des déchets présente des défis plus immédiats et concrets que le traitement, ce qui en fait une priorité accessible pour de nombreuses communautés. En mettant l'accent sur la collecte, le projet vise à apporter des améliorations pratiques et tangibles à la gestion des déchets, avant de se concentrer sur les étapes ultérieures du traitement.

2.3 Problématique

Notre problématique est la suivante :

« Comment peut-on optimiser la collecte des déchets ménagers à Casablanca ? »

Le choix de cette problématique a été fait après plusieurs recherches et études qu'on a fait concernant les déchets en Afrique.

2.3.1 Déchets Solides Municipaux (DSM) en Afrique

125 millions de tonnes de Déchets Solides Municipaux (DSM) ont été générés en Afrique en 2012, ce chiffre devrait doubler d'ici à 2025.

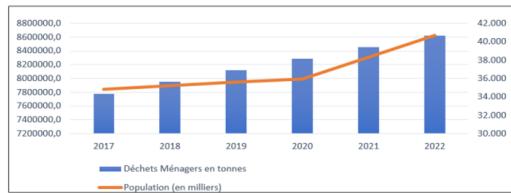


FIGURE 5 – Estimation des quantités de déchets ménagers produits annuellement (2017 à 2022)

Ces déchets solides municipaux sont essentiellement constitués de 13% des déchets plastiques et 57% sont des déchets organiques (Figure 6).

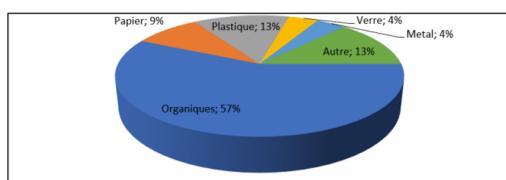


FIGURE 6 – Composition des DCM en Afrique [6]

Dans certaines villes africaines, seulement 39% de leurs déchets font l'objet d'une collecte organisée.

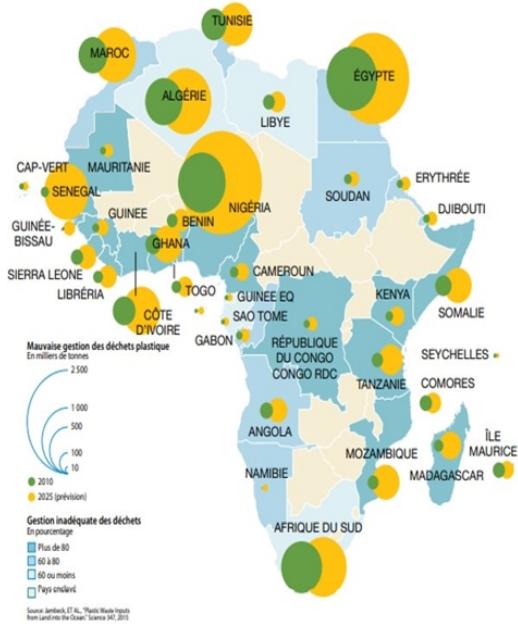


FIGURE 7 – Mauvaise gestion des déchets plastiques en Afrique (2010 à 2025)

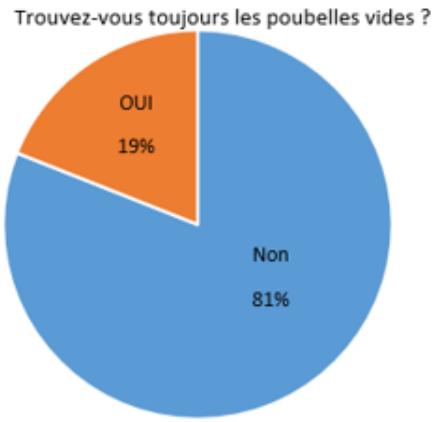
Le Maroc est l'un des pays africains confrontés à des défis croissants en matière de collecte des déchets, une situation qui devrait s'aggraver dans les années à venir. Il est donc essentiel d'agir et de mettre en œuvre des méthodes efficaces et optimales pour résoudre ce problème. En tant que capitale industrielle et abritant une part importante de la population marocaine, Casablanca génère une quantité significative de déchets, en particulier les déchets ménagers. D'où le choix de notre problématique.

2.3.2 Profil du client visé : Questionnaire

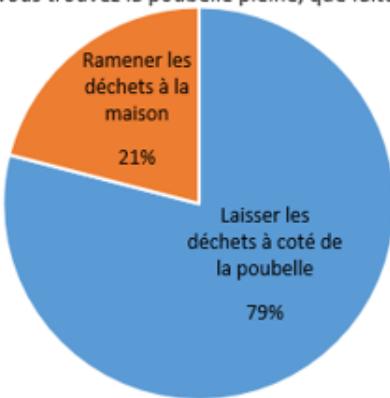
En partant de cette problématique, Nous avons décidé de concrétiser notre étude en organisant une sortie sur terrain. L'objectif était de recueillir des informations directement auprès des habitants de différentes régions de la ville de Casablanca. Nous avons posé plusieurs questions pour mieux comprendre les défis auxquels ils sont confrontés au quotidien. L'un des premières questions que nous avons posées était : « Les déchets sont-ils un gros problème dans votre région ? » Nous voulions évaluer la perception générale des habitants quant à l'ampleur du problème. Leurs réponses ont confirmé nos attentes, mettant en évidence l'importance de prendre des mesures concrètes pour résoudre cette situation préoccupante.

Une autre question importante que nous avons posée était : « Trouvez-vous toujours les poubelles vides ? » Nous cherchions à comprendre si les services de collecte des déchets étaient réguliers et suffisants. Malheureusement, de nombreuses personnes ont répondu qu'elles rencontraient souvent des poubelles pleines, ce qui pose un réel problème en termes de salubrité et d'environnement. Ensuite nous avons demandé « Si vous trouvez la poubelle pleine, que faites-vous ? » Cette question visait à comprendre les comportements des résidents face à une poubelle déjà remplie. Les réponses ont montré que certains cherchent d'autres poubelles vides à proximité, tandis que d'autres finissent par jeter leurs déchets à côté de la poubelle. Ces pratiques contribuent à l'accumulation de déchets et à la détérioration de l'environnement urbain.

Cette sortie sur le terrain nous a permis de constater l'importance cruciale de travailler sur un projet de collecte des déchets efficace à Casablanca. Les problèmes rencontrés sont réels et impactent la qualité de vie des habitants ainsi que la préservation de l'environnement. Il est donc primordial de mettre en place des solutions durables pour encourager une gestion plus responsable des déchets.



Si vous trouvez la poubelle pleine, que faites-vous ?



Les déchets sont-ils un gros problème dans votre région ?

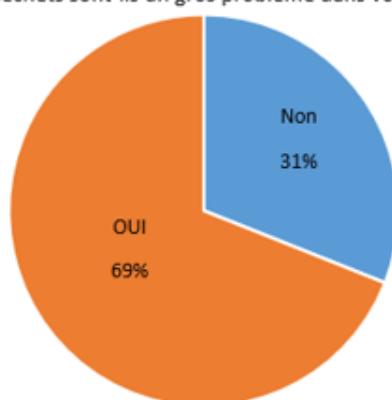


FIGURE 8 – Photos illustrant la sortie de l'équipe projet à Casablanca

2.4 État de l'art

La solution envisagée pour répondre à notre problématique se compose de trois éléments principaux : une poubelle intelligente, une plateforme Web et une application mobile. Pour cela, Nous proposons d'examiner les différentes solutions existantes et technologies pouvant être utilisées pour la mise en œuvre de notre système. Nous évaluerons par la suite leurs avantages et inconvénients, puis nous procéderons à une comparaison en termes de cout, de faisabilité, d'efficacité, de maintenance et d'entretien.

2.4.1 Solutions existantes

• Collecte en porte à porte

Le système de collecte en porte à porte implique de récupérer directement les déchets au sein des domiciles plutôt que de les laisser dans des points de collecte désignés dans la rue. Les collecteurs parcourrent les rues et les quartiers en visitant chaque maison afin de collecter les déchets domestiques. Les familles sont préalablement informées de la date et de l'heure de la collecte. [7]



FIGURE 9 – La collecte en porte à porte des déchets

• La collecte pneumatique

Le système de collecte pneumatique par réseau enterré utilise l'aspiration pour transporter les déchets à travers des conduites souterraines jusqu'à un terminal où se trouve une centrale d'aspiration. Ce système est principalement utilisé pour les ordures ménagères résiduelles et il est prévu d'inclure également les déchets bios à l'avenir

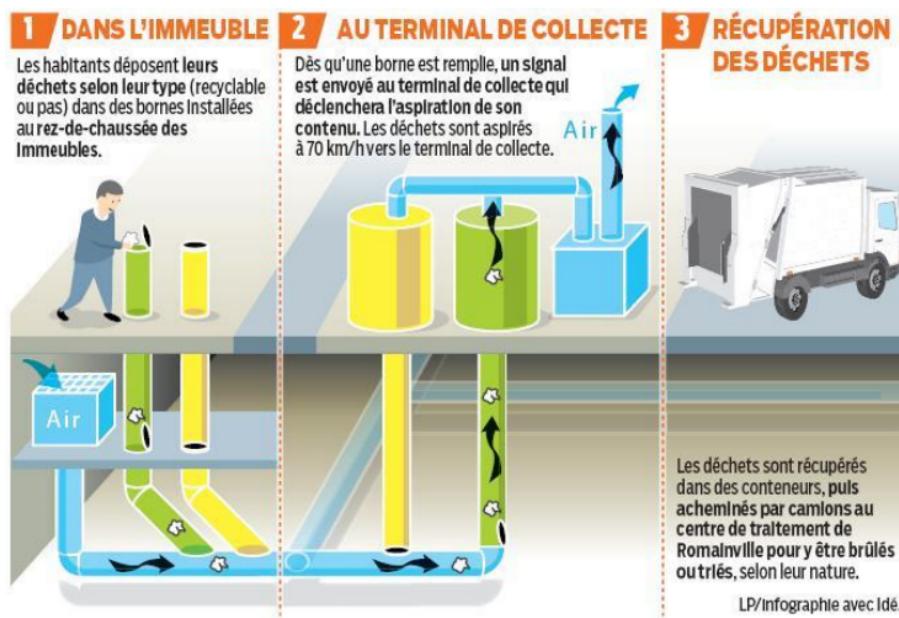


FIGURE 10 – La collecte pneumatique des déchets

• Les poubelles intelligentes

Les poubelles intelligentes sont des bacs spéciaux équipés de capteurs qui sont connectés à un serveur central. Ces capteurs enregistrent et stockent les données relatives au taux de remplissage des différents conteneurs. Lorsqu'un conteneur atteint un niveau de remplissage prédéfini, le serveur envoie automatiquement un message aux services d'enlèvement des déchets pour les informer qu'il est temps de vider cette poubelle spécifique. Cette fonctionnalité permet d'optimiser le processus de collecte en évitant les ramassages inutiles ou prématurés, ce qui permet d'économiser du temps et des ressources financières. En plus de simplifier la gestion des déchets pour les utilisateurs, les poubelles intelligentes offrent une optimisation du service pour les réseaux de collecte, permettant une meilleure planification des itinéraires de ramassage et une utilisation plus efficace des véhicules de collecte. En fin de compte, cela contribue à améliorer l'efficacité globale du système de gestion des déchets tout en réduisant les coûts opérationnels.

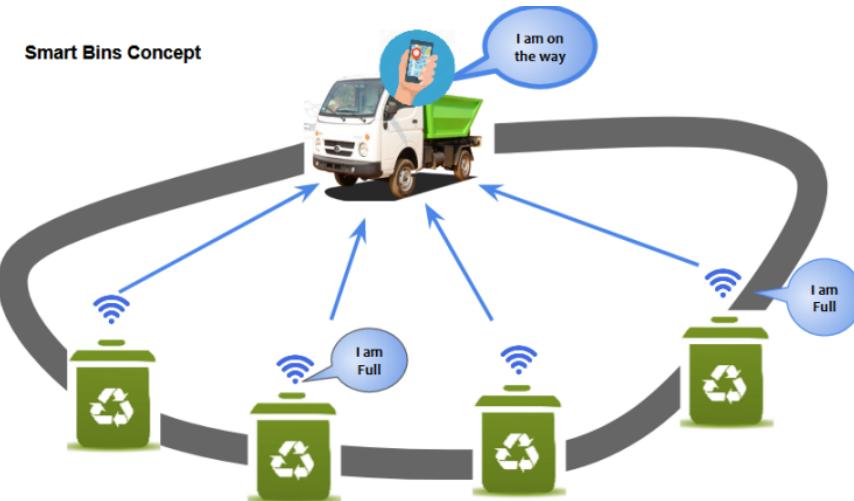


FIGURE 11 – Les bacs intelligents

• L'application mobile

Différentes applications axées sur la gestion des déchets, telles que celles visant le principe de Zéro déchet, offrent des fonctionnalités permettant aux utilisateurs de suivre leur production de déchets personnelle et de localiser les points de collecte appropriés

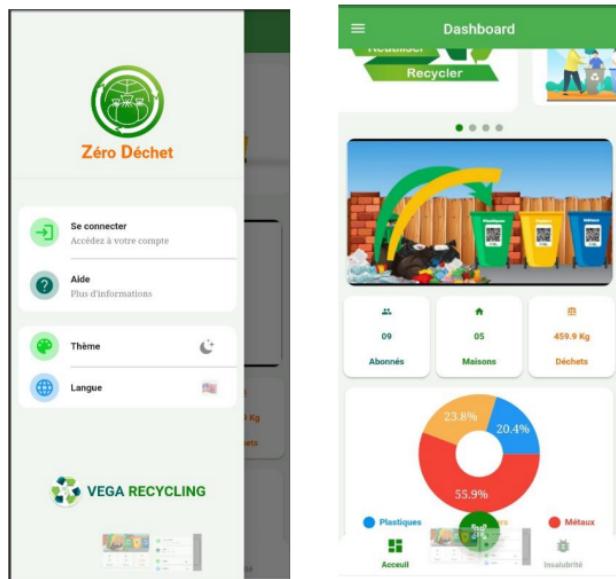


FIGURE 12 – L'interface de l'application mobile

• La collecte en points de regroupements

La collecte en points de regroupement consiste à placer les déchets à des emplacements spécifiques en utilisant un algorithme de regroupement des points, dans le but d'optimiser l'itinéraire des camions de collecte.

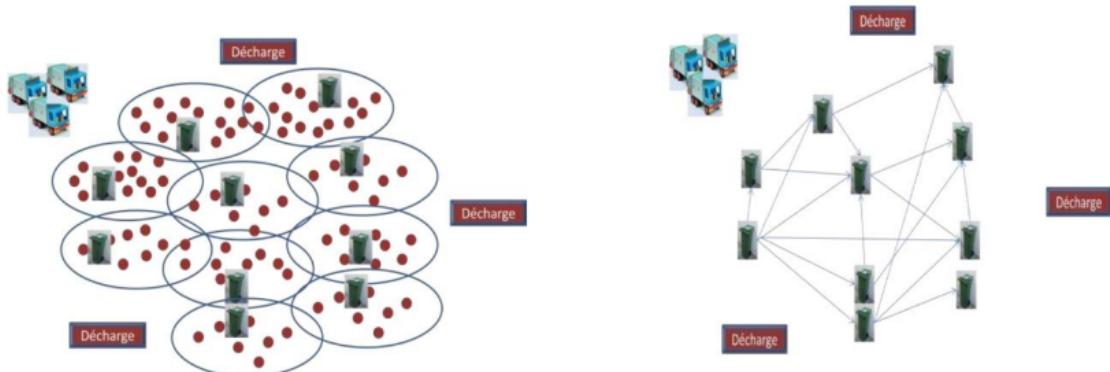


FIGURE 13 – Regroupement des domiciles

2.4.2 Comparaison des solutions

Les solutions existantes	Coût	Faisabilité	Efficacité	Maintenance et entretien
La collecte en porte à porte	Chère	Difficile	Non	-
La collecte pneumatique	Trop chère	N'est pas adapté	Non	Très difficile
Les Poubelles intelligentes	faible	facile	Oui	facile
L'application mobile	Moyenne	moyenne	Oui	Moyenne
La collecte en points de regroupement	Moyenne	moyenne	Oui	-

FIGURE 14 – Tableau de comparaison entre les solutions existantes

2.4.3 Discussion

Bien que chaque solution mentionnée précédemment présente ses avantages et ses inconvénients, en combinant les aspects positifs de certaines options, il est possible de surmonter les limites d'autres. Il existe donc une complémentarité entre ces différentes alternatives.

2.5 Mise en place de la solution

2.5.1 Solution retenue

L'analyse des solutions existantes dans la section de l'état de l'art nous a conduits à identifier la solution suivante :

Un système de collecte de déchets automatisé : **“Casa Zero Waste”**

En effet, notre système automatisé de collecte des déchets intègre des poubelles intelligentes, une application mobile et une plateforme qui favorisent la connexion entre l'entreprise de ramassage des déchets et les citoyens tout en surveillant l'état des conteneurs. Cela permet d'assurer une collecte des déchets optimale et efficace.

2.5.2 Principe de fonctionnement

Le fonctionnement de notre système repose sur l'utilisation d'un capteur ultrason et d'un capteur de poids pour détecter le niveau de remplissage de la poubelle. Les données collectées sont ensuite transmises à la plateforme de l'entreprise de collecte des déchets, où elles sont analysées et utilisées pour suivre l'état du bac. Lorsque le niveau de remplissage atteint 100%, un message est envoyé au service de collecte pour procéder à la vidange des poubelles en suivant le chemin le plus court. Cet itinéraire est établi à l'aide d'un algorithme de résolution du problème du voyageur de commerce (VRP), visant à optimiser les coûts de transport et à éviter les déplacements inutiles des camions.

Par ailleurs, une application mobile est mise à disposition des citoyens. Elle leur permet de suivre l'état des poubelles, d'identifier celles qui sont disponibles et situées à proximité de leur emplacement.

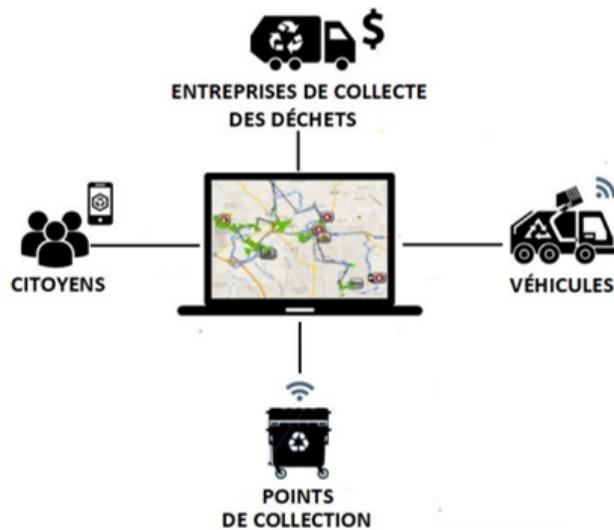


FIGURE 15 – Schéma explicatif du fonctionnement du système

2.5.3 La poubelle intelligente

- **Fonctionnement de la poubelle**

La poubelle est équipée d'un capteur ultrason qui permet la détection de la présence de l'utilisateur. Lorsqu'un citoyen se tient devant ce capteur, celui-ci détecte sa présence et envoie un signal à la poubelle pour qu'elle s'ouvre automatiquement.

La poubelle possède également un autre capteur ultrason à l'intérieur, émettant des ondes sonores vers le bas afin de mesurer la distance entre les déchets présents dans la poubelle et sa porte. Cette distance permet d'estimer précisément le niveau de remplissage de la poubelle. De plus, cette poubelle intelligente est équipée d'un capteur de poids qui mesure le poids des déchets. Les données des capteurs ultrasons et de capteur de poids sont ensuite combinées pour obtenir une mesure précise et fiable du taux de remplissage de la poubelle.

Tous les capteurs sont connectés à une carte ESP32, agissant comme le cerveau de la poubelle. Elle reçoit, traite et exécute les instructions nécessaires. Elle contrôle les servomoteurs responsables de l'ouverture automatique de la porte lorsque le capteur ultrasonique détecte la présence d'un citoyen. La carte ESP32 collecte également les mesures de taux de remplissage provenant du capteur ultrason et du capteur de poids.

La poubelle est alimentée par des panneaux solaires situés sur la partie fixe de la porte, déviés d'un angle de 30° pour maximiser l'exposition aux rayons solaires. Les données collectées par les capteurs sont utilisées pour fournir des informations sur l'état de la poubelle. Le code programmé dans la carte ESP32 collecte ces mesures de taux de remplissage, les stocke ou les transmet pour une analyse ultérieure. Les informations, telles que le niveau de remplissage, peuvent être consultées à l'aide de ce code. Ces données peuvent également être utilisées pour optimiser la collecte des déchets en planifiant des interventions lorsque la poubelle atteint un niveau de remplissage spécifique.

• Le matériel utilisé

Matériel	Description	Rôle
Capteur ultrason :	Fonctionne en émettant des ondes ultrasonores à une surface cible, puis en détectant l'écho de ses ondes qui est renvoyé par la surface.	Permettre de déterminer le taux de remplissage de la poubelle ainsi que de l'ouvrir automatiquement.
Capteur de poids :	Utilisé pour mesurer la masse d'un objet ou d'un matériau.	Permet de déterminer l'état de la poubelle en mesurant la masse des déchets.
Carte esp32 :	Une série de microcontrôleurs de type système sur une puce dédié à l'internet des objets et plus particulièrement les communications sans fil Wifi et Bluetooth pour un coût moins cher.	Connecter les données du système de détection de taux de remplissage à la plateforme conçue pour l'entreprise de collecte des déchets.
Les panneaux solaires :	Convertir l'énergie solaire en électricité utilisable grâce à des cellules photovoltaïques qui captent la lumière du soleil et la transforment en courant électrique continu.	Permettre l'alimentation de la poubelle automatique.

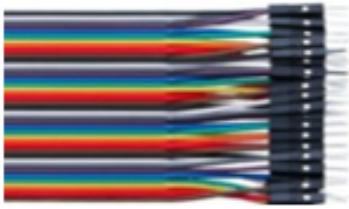
Fils conducteurs		Permettre le transfert de l'électricité entre les différents composants d'un circuit électrique.	Effectuer le câblage et relier les différents éléments du circuit électronique de notre système.
Plexiglass :		Permettre de servir de matériau transparent et résistant aux chocs dans de nombreuses applications.	Utilisé pour la fabrication de la poubelle ainsi que pour la boîte de protection du circuit.
Servomoteurs		Utilisé pour contrôler avec précision le mouvement d'un mécanisme, généralement en réponse à un signal électrique.	Permettre l'ouverture et la fermeture automatique de la poubelle.

FIGURE 16 – Tableau des matériaux utilisés pour la conception de la poubelle

• Estimation du coût financier

Matériel	Quantité	Prix (DH)
Capteur ultrason	2	60
Plexiglass	1,5m x 1,5m	450
Les panneaux solaires	2	150
Carte de contrôle ESP32	1	150
Capteur de poids	1	44
Servomoteurs	2	80

FIGURE 17 – Tableau des prix des matériaux utilisés

Prix total : 964 DH

b. Plateforme Casa Zero Waste



FIGURE 18 – Plateforme Casa Zero Waste

Nous avons conçu une plateforme appelée Casa Zero Waste qui vise à fournir à l'entreprise de collecte des déchets toutes les informations nécessaires sur les poubelles, notamment le poids des déchets et leur taux de remplissage. Cette plateforme est interconnectée avec notre poubelle intelligente.

Casa Zero Waste se compose de cinq principaux éléments : une carte interactive, une fonction de réclamation, une base de données centralisée et une fonction de suivi des camions de collecte.

Pour développer la plateforme Casa Zero Waste, nous avons utilisé plusieurs langages de programmation essentiels tels que HTML, CSS, JavaScript et Python. **HTML** (HyperText Markup Language) a été utilisé pour structurer les différentes parties de la plateforme, permettant ainsi de définir la présentation et la mise en page des éléments. **CSS** (Cascading Style Sheets) a été employé pour styliser et personnaliser l'apparence de la plateforme, offrant ainsi une expérience utilisateur agréable et cohérente.

JavaScript, en tant que langage de programmation côté client, a joué un rôle crucial dans la création de fonctionnalités interactives et dynamiques. Grâce à JavaScript, les utilisateurs peuvent interagir avec les différentes fonctionnalités de Casa Zero Waste, telles que la carte interactive et les icônes de réclamation. Les scripts JavaScript ont permis de gérer les événements, de valider les entrées utilisateur et de mettre à jour les informations en temps réel.

Python, quant à lui, a été utilisé pour développer la logique backend de la plateforme. Ce langage de programmation polyvalent a permis de gérer la collecte, le traitement et la manipulation des données provenant des poubelles intelligentes. Python a également facilité l'interaction avec la base de données centralisée pour stocker et récupérer les informations nécessaires. En plus des langages HTML, CSS, JavaScript et Python, nous avons également utilisé une base de données pour stocker et gérer les informations nécessaires à la plateforme Casa Zero Waste.

Pour cela, nous avons utilisé un système de gestion de base de données (**MySQL**). Cette base de données a été utilisée pour stocker les données relatives aux poubelles, telles que le poids et le taux de remplissage, ainsi que d'autres informations pertinentes. Python a été utilisé pour interagir avec la base de données, permettant ainsi de récupérer, mettre à jour et stocker les données de manière efficace. L'utilisation d'une base de données a permis de garantir la persistance des données collectées par la plateforme Casa Zero Waste, ainsi que leur disponibilité pour les entreprises de collecte de

déchets. Cela a permis d'optimiser la gestion des déchets en fournissant des informations précises et en temps réel, permettant ainsi aux entreprises de prendre des décisions éclairées et d'optimiser leurs processus de collecte.

The screenshot shows the development environment with the code editor open. The code is for the 'index.html' file, which includes imports for 'style.css', 'camion.html', and 'index.html'. It features a header with a trash icon and links to 'index.html', 'camion.html', and 'index.html'. Below the header is a navigation bar with icons for a trash bin, a database, and a truck. The main content area displays a satellite map of Casablanca with numerous blue location markers. A sidebar on the left shows the project structure under 'PLATEFORME_CZW' and 'casa_zero_waste-main', including files like 'style.css', 'index.html', 'locations.csv', and 'script.js'. At the bottom right of the map, there is a watermark for 'Activer Windows' and 'Mapbox © OpenStreetMap Improve this map © Maxar'.

```

EXPLORER
...
# style.css
camion.html
index.html ...
casa_zero_waste-main > index.html > html > body
6   <link rel="icon" href="icons/icon_trash.png" type="image/png">
7   <meta name="viewport" content="initial-scale=1, maximum-scale=1, user-scalable=no" />
8   <meta charset="UTF-8">
9   <link rel="stylesheet" href="https://www.w3schools.com/w3css/4/w3.css">
10  <script src="https://api.mapbox.com/mapbox-gl-js/v1.14.1/mapbox-gl.js">
11  <script src="https://api.mapbox.com/mapbox-gl-js/plugins/mapbox-gl-geojson/v0.3.1/mapbox-gl-geojson.js">
12  <script src="https://d3js.org/d3.v7.min.js">
13  </script>
14  </head>
15
16  <body>
17    <div class="w3-bar w3-padding w3-round w3-margin">
18      <div class="w3-bar-item w3-right w3-center">
19        
20      </div>
21      <div class="w3-bar-item w3-right w3-center">
22        
23      </div>
24      <div class="w3-bar-item w3-right w3-center">
25        
26      </div>
27    </div>
28
29    <div class="div-initiale" style="display: flex; align-items: center; justify-content: space-between; padding: 10px; border-bottom: 1px solid #ccc; margin-bottom: 20px; position: relative; height: 77vh; width: 88%;>
30      <div id="map" style="flex: 1; height: 100%; width: 100%; position: relative; border: 1px solid #ccc; border-radius: 10px; overflow: hidden; z-index: 1; >
31        <div id="otherDiv" class="div-visible w3-padding w3-margin w3-round w3-white" style="position: absolute; top: 0; left: 0; width: 100%; height: 100%; background-color: white; opacity: 0.9; z-index: 2; >
32          <div style="background-color: #007bff; color: white; padding: 5px; font-weight: bold; font-size: 1.2em; text-align: center; border-bottom: 1px solid #ccc; border-radius: 5px 5px 0 0; >
33            Information poubelle
34          </div>
35          <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center; font-size: 0.9em; >
36            <thead>
37              <tr>
38                <th>Id</th>
39                <th>Latitude, Longitude</th>
40                <th>Poids Kg</th>
41                <th>Remplissage %</th>
42                <th>Info</th>
43              </tr>
44            </thead>
45            <tbody>
46              <tr>
47                <td>124578</td>
48                <td>(33, -7)</td>
49                <td>13</td>
50                <td>70</td>
51                <td>En feu</td>
52              </tr>
53            </tbody>
54          </table>
55        </div>
56      </div>
57    </div>
58  </div>
59
60  <div style="text-align: center; margin-top: 20px; >
61    <img alt="Mapbox logo" style="width: 15px; height: 15px; margin-right: 10px; >
62    Activer Windows
63    Accédez aux paramètres pour activer Windows
64  </div>
65
66  <div style="text-align: center; margin-top: 10px; >
67    <img alt="Mapbox logo" style="width: 15px; height: 15px; margin-right: 10px; >
68    Mapbox © OpenStreetMap Improve this map © Maxar
69  </div>
70
71  <div style="text-align: center; margin-top: 10px; >
72    <img alt="Mapbox logo" style="width: 15px; height: 15px; margin-right: 10px; >
73    <img alt="Mapbox logo" style="width: 15px; height: 15px; margin-right: 10px; >
74    <img alt="Mapbox logo" style="width: 15px; height: 15px; margin-right: 10px; >
75  </div>
76
77  <div style="text-align: center; margin-top: 10px; >
78    <img alt="Mapbox logo" style="width: 15px; height: 15px; margin-right: 10px; >
79    <img alt="Mapbox logo" style="width: 15px; height: 15px; margin-right: 10px; >
80    <img alt="Mapbox logo" style="width: 15px; height: 15px; margin-right: 10px; >
81  </div>
82
83  <div style="text-align: center; margin-top: 10px; >
84    <img alt="Mapbox logo" style="width: 15px; height: 15px; margin-right: 10px; >
85    <img alt="Mapbox logo" style="width: 15px; height: 15px; margin-right: 10px; >
86    <img alt="Mapbox logo" style="width: 15px; height: 15px; margin-right: 10px; >
87  </div>
88
89  <div style="text-align: center; margin-top: 10px; >
90    <img alt="Mapbox logo" style="width: 15px; height: 15px; margin-right: 10px; >
91    <img alt="Mapbox logo" style="width: 15px; height: 15px; margin-right: 10px; >
92    <img alt="Mapbox logo" style="width: 15px; height: 15px; margin-right: 10px; >
93  </div>
94
95  <div style="text-align: center; margin-top: 10px; >
96    <img alt="Mapbox logo" style="width: 15px; height: 15px; margin-right: 10px; >
97    <img alt="Mapbox logo" style="width: 15px; height: 15px; margin-right: 10px; >
98    <img alt="Mapbox logo" style="width: 15px; height: 15px; margin-right: 10px; >
99  </div>
100 </div>
101 </body>
102 </html>

```

En combinant ces langages de programmation, nous avons pu créer une plateforme robuste et fonctionnelle pour Casa Zero Waste. HTML, CSS et JavaScript ont permis de concevoir une interface utilisateur conviviale, tandis que Python a été utilisé pour développer les fonctionnalités backend essentielles. Grâce à cette combinaison de compétences techniques, on a pu offrir une plateforme efficace et intuitive aux entreprises de collecte de déchets pour les aider à optimiser leurs opérations de gestion des déchets.

b.1. La carte interactive



La carte affiche l'emplacement de toutes les poubelles de la ville de Casablanca. Lorsqu'un utilisateur clique sur une poubelle spécifique, une barre d'informations s'affiche, fournissant tous les détails pertinents concernant cette poubelle en particulier.

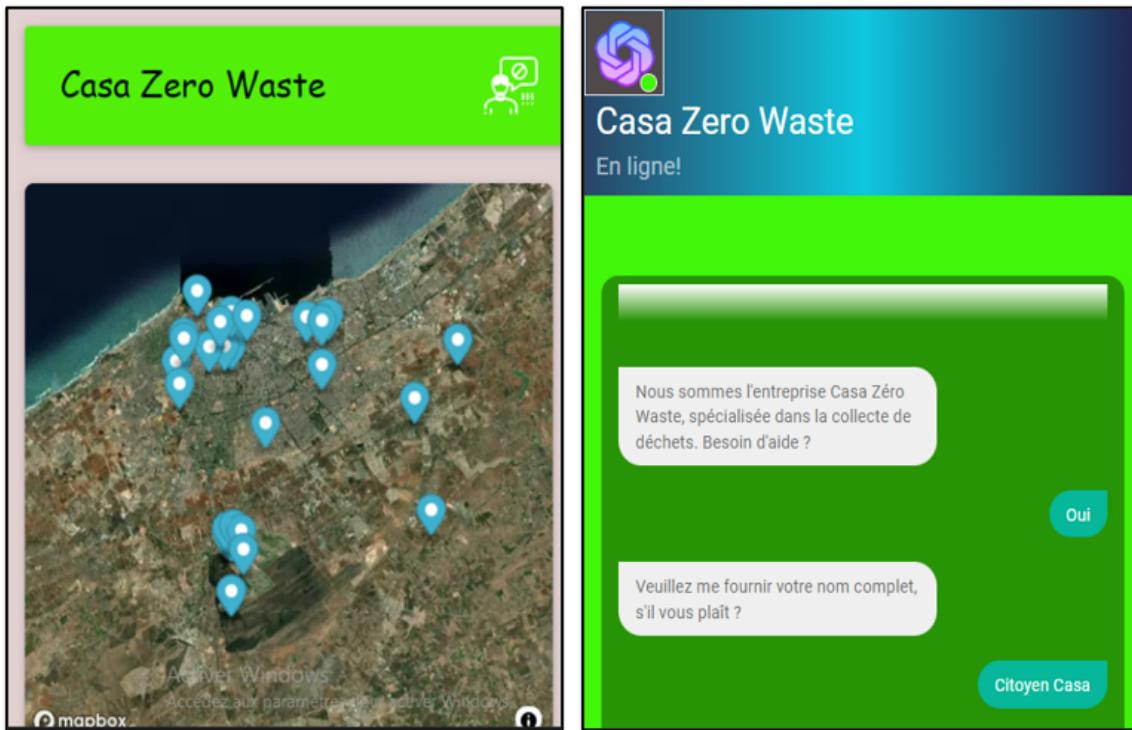
b.2. La barre interactive



La barre interactive est composée de trois icônes principales. La première icône représente la fonction de réclamation, qui permet aux utilisateurs de signaler tout problème ou dysfonctionnement lié à la poubelle en question. La deuxième icône représente l'accès à une base de données centralisée, qui contient des informations détaillées sur la poubelle, telles que son historique de collecte, son statut de remplissage, etc. Enfin, la troisième icône représente la fonction de suivi des camions de

collecte, permettant aux employeurs des entreprises de savoir toutes les informations concernant ses camions.

c. Application Casa Zero Waste



Nous avons développé une application web destinée aux citoyens de la ville de Casablanca, qui leur permet d'interagir avec les entreprises de collecte de déchets pour faire des réclamations ou des demandes spécifiques. Cette application est conçue pour être facile à utiliser et gratuite pour tous les utilisateurs. Elle est composée de deux parties principales : une carte interactive et une icône dédiée aux réclamations.

Pour le développement de cette application, on a utilisé les langages HTML, CSS, JavaScript et Python, déjà mentionnés précédemment. HTML a été utilisé pour structurer les différentes parties de l'application, CSS pour styliser son apparence et JavaScript pour ajouter des fonctionnalités interactives.

Python, quant à lui, a été utilisé pour gérer les fonctionnalités backend de l'application. Cela inclut la gestion des réclamations et des demandes des utilisateurs, l'interaction avec la base de données et le traitement des données nécessaires.

En combinant ces langages de programmation, on a pu créer une application web complète et fonctionnelle qui offre aux citoyens de Casablanca un moyen convivial et intuitif d'interagir avec les entreprises de collecte des déchets. Ils peuvent utiliser la carte interactive pour visualiser les emplacements des poubelles et utiliser l'icône dédiée aux réclamations pour communiquer facilement leurs préoccupations.

Ainsi, on a utilisé un système de gestion de base de données, notamment MySQL. Cette base de données a été utilisée pour stocker les données relatives aux poubelles, telles que le poids et le taux de remplissage, ainsi que d'autres informations pertinentes. Python a été utilisé pour interagir avec la base de données, permettant ainsi de récupérer, mettre à jour et stocker les données de manière efficace.

L'utilisation d'une base de données a permis de garantir la persistance des données collectées par la plateforme Casa Zero Waste, ainsi que leur disponibilité pour les entreprises de collecte de

déchets. Cela a permis d'optimiser la gestion des déchets en fournissant des informations précises et en temps réel, permettant ainsi aux entreprises de prendre des décisions éclairées et d'optimiser leurs processus de collecte.

d. Optimisation du trajet de collecte des déchets

En exploitant les données générées par la poubelle (taux de remplissage, position), il est possible de planifier efficacement les itinéraires de collecte, d'optimiser les ressources tout en réduisant les coûts et les émissions. Pour cela nous utilisons CVRP (Capacitated Vehicle Routing Problem). [8]

o Définition :

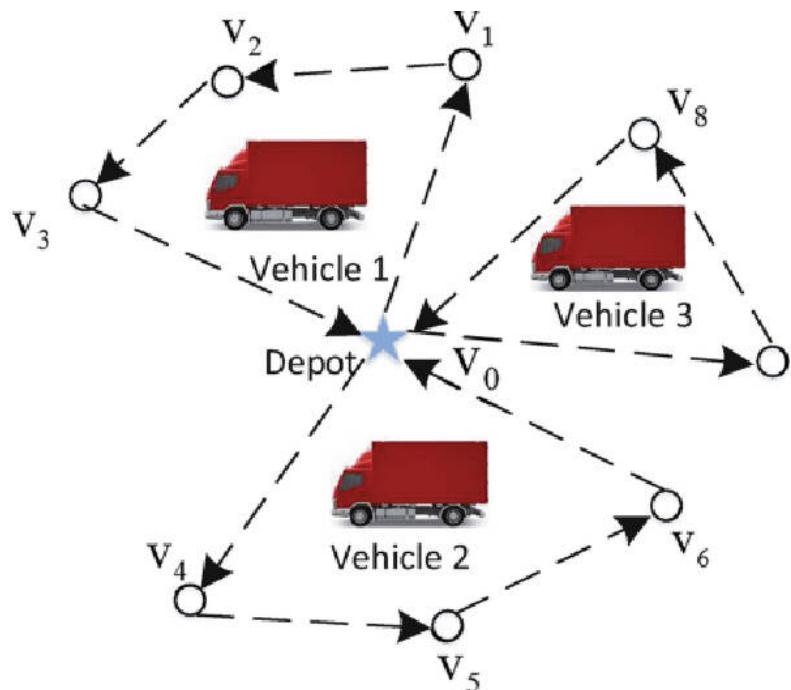


FIGURE 19 – Vehicle Routing Problem

CVRP est un problème d'optimisation classique qui concerne la planification des itinéraires de véhicules ayant une capacité limitée pour desservir un ensemble de clients. Dans le CVRP, l'objectif est de minimiser les coûts totaux, tels que la distance parcourue, tout en satisfaisant les contraintes de capacité des véhicules et en visitant tous les clients.

o Formulation mathématique :

Données : Un ensemble de nœuds client (ayant une demande) et d'arêtes (munies de coûts) et une flotte illimitée de véhicules de capacité uniforme Q partant d'un unique dépôt.

Trouver : Des tournées de véhicules, satisfaisant chaque demande une et une seule fois et respectant les contraintes de capacité.

Minimisant : Le coût total de transport lié aux arcs empruntés par les véhicules et/ou les coûts fixes associés à l'utilisation des véhicules.

$$\text{Minimiser } z = \sum_{k \in K} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} x_{ij}^k c_{ij}$$

sous les contraintes :

$$\begin{aligned}
 \sum_{i>1} y_i^k &\leq |J| \times y_0^k & \forall k \in K \\
 \sum_{k \in K} y_i^k &= 1 & \forall i \neq 1 \in N \\
 \sum_{k \in K} x_{ij}^k &= y_i^k & \forall j \in N, \forall k \in K \\
 \sum_{k \in K} x_{ij}^k &= y_j^k & (k = 1, \dots, M; S \subset N \text{ t. q } 2 \leq |S| \leq n - 2) \\
 \sum_{i,j \in S} x_i^k &\leq |S| - 1 & \forall k \in K
 \end{aligned}$$

Ce problème est largement étudié dans le domaine de la logistique et de la planification des transports, et il est couramment utilisé pour résoudre des problèmes de collecte et de livraison, y compris la collecte des déchets. Dans le cadre de notre prototypage nous ne disposons pas d'assez de données pour faire tourner cet algorithme. Néanmoins pour montrer l'efficacité de cette solution nous allons générer aléatoirement 10 points de collecte (poubelles) de même capacité et les distances qui les séparent deux à deux seront aussi aléatoires.

2.6 Diagrammes représentant le système

2.6.1 Diagramme FAST (Functional Analysis System Technique)

Ce diagramme illustre une décomposition hiérarchisée des fonctions de notre système automatisé. Il commence par les fonctions de service, telles que la gestion de la collecte des déchets, puis passe aux fonctions techniques, telles que la captation des données. Enfin, il met en évidence les solutions technologiques utilisées, notamment les capteurs, les moteurs, La plateforme et l'application Casa Zero Waste.

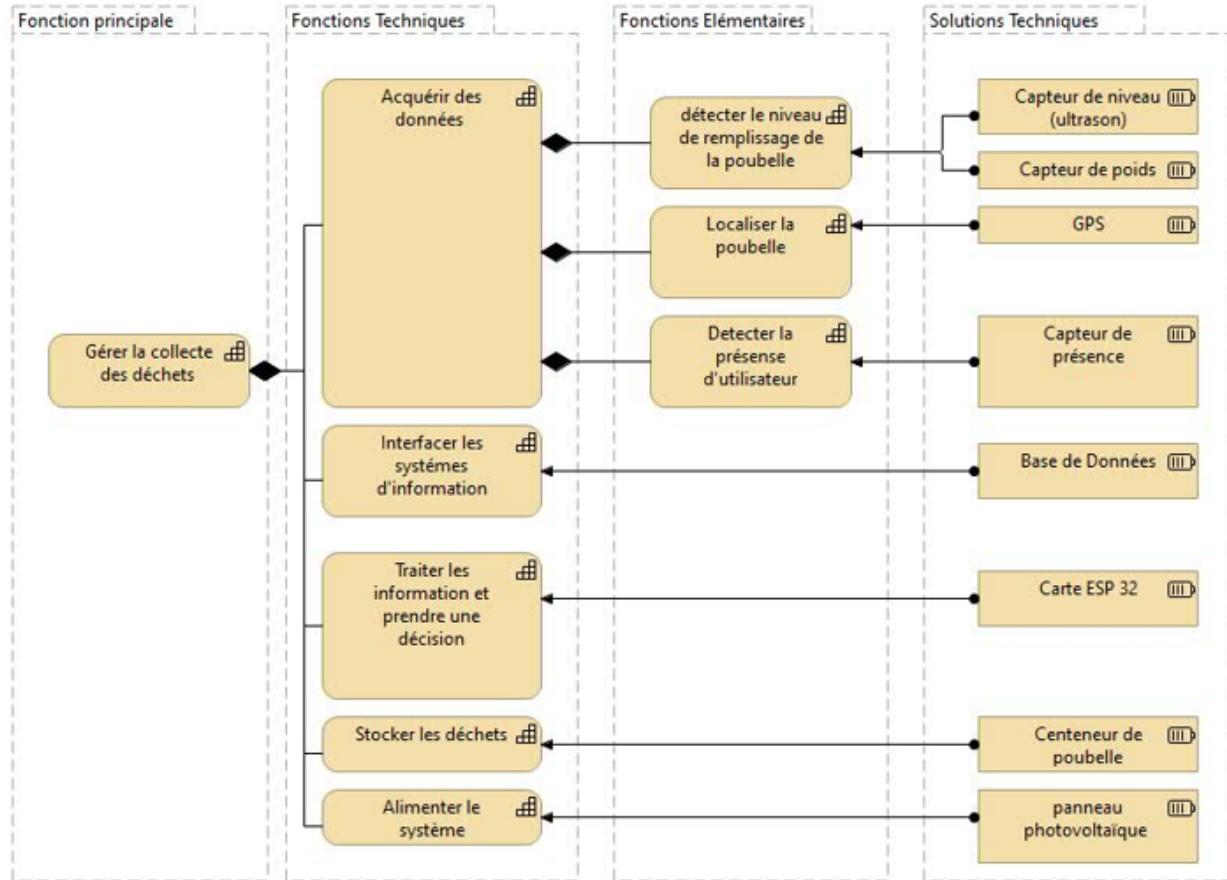
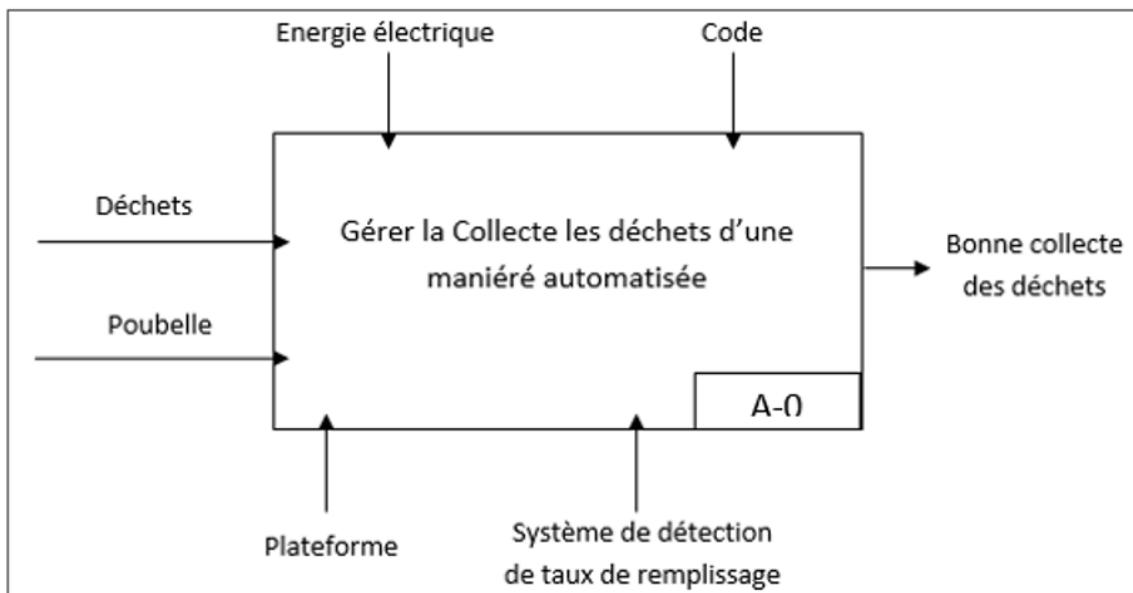


FIGURE 20 – Diagramme FAST

2.6.2 Diagramme SADT (Structured Analysis and Design Technique)

Le diagramme SADT (Structured Analysis and Design Technique) ci-dessous illustre le niveau de précision de notre système final ainsi que les liens entre ses différentes composantes.



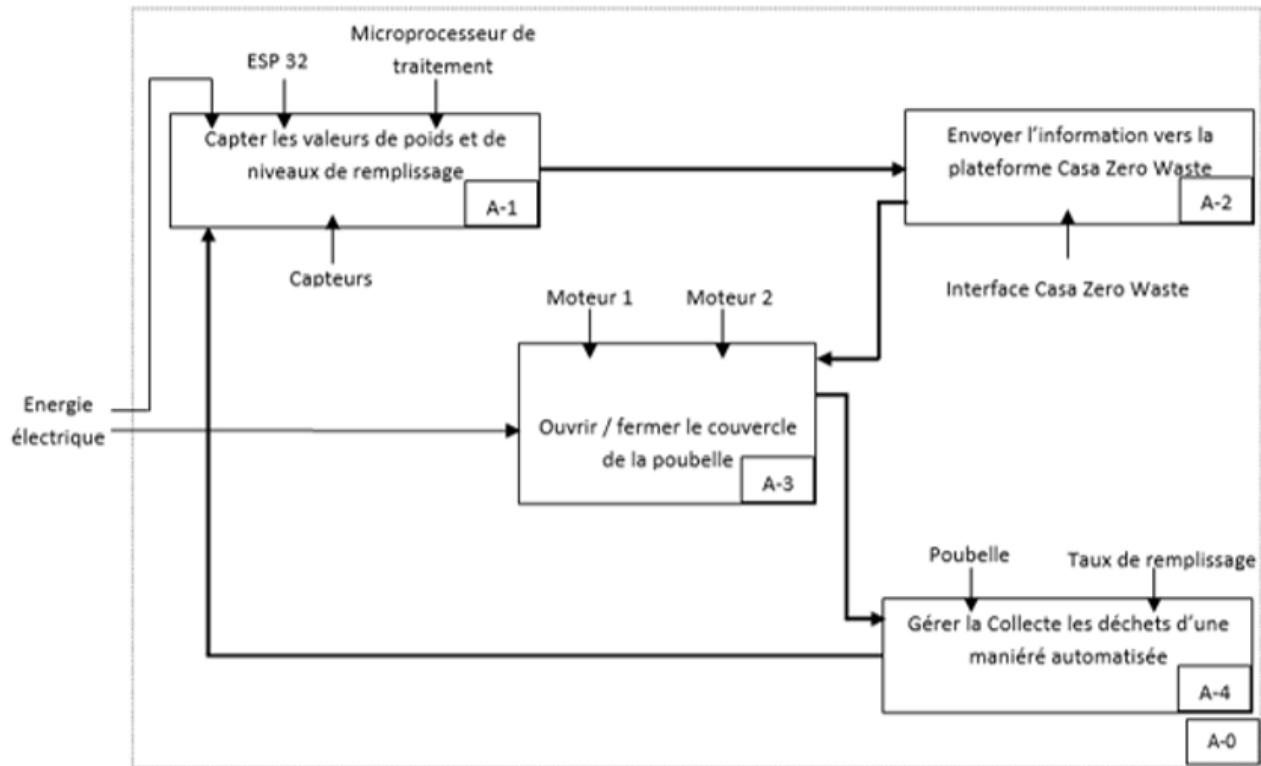


FIGURE 21 – Diagramme SADT

2.7 Réalisation et tests

2.7.1 Processus de la collecte des déchets

Le schéma ci-dessous illustre le processus de notre système de collecte des déchets :

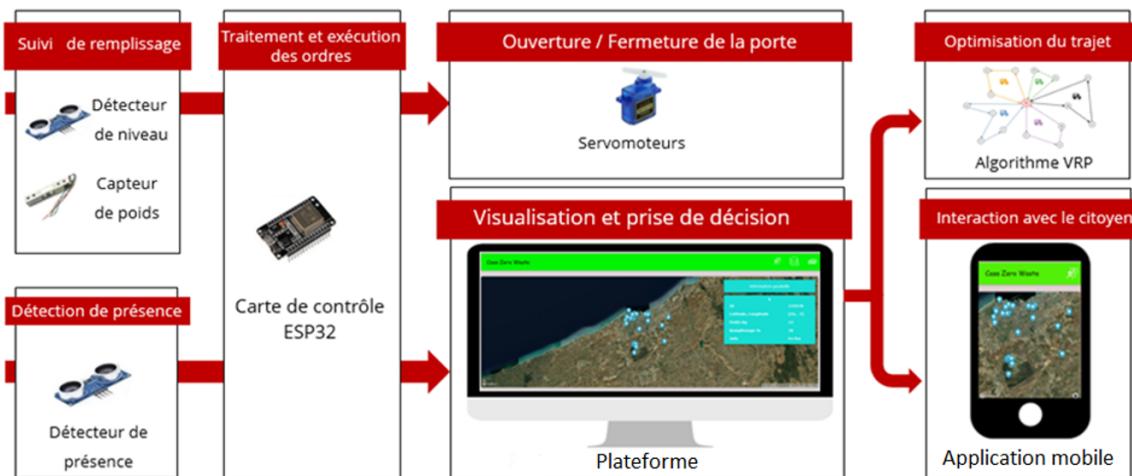


FIGURE 22 – Processus de notre système de collecte des déchets

2.7.2 Organigramme de fonctionnement

Le diagramme ci-dessous donne l'algorithme de fonctionnement de notre prototype :

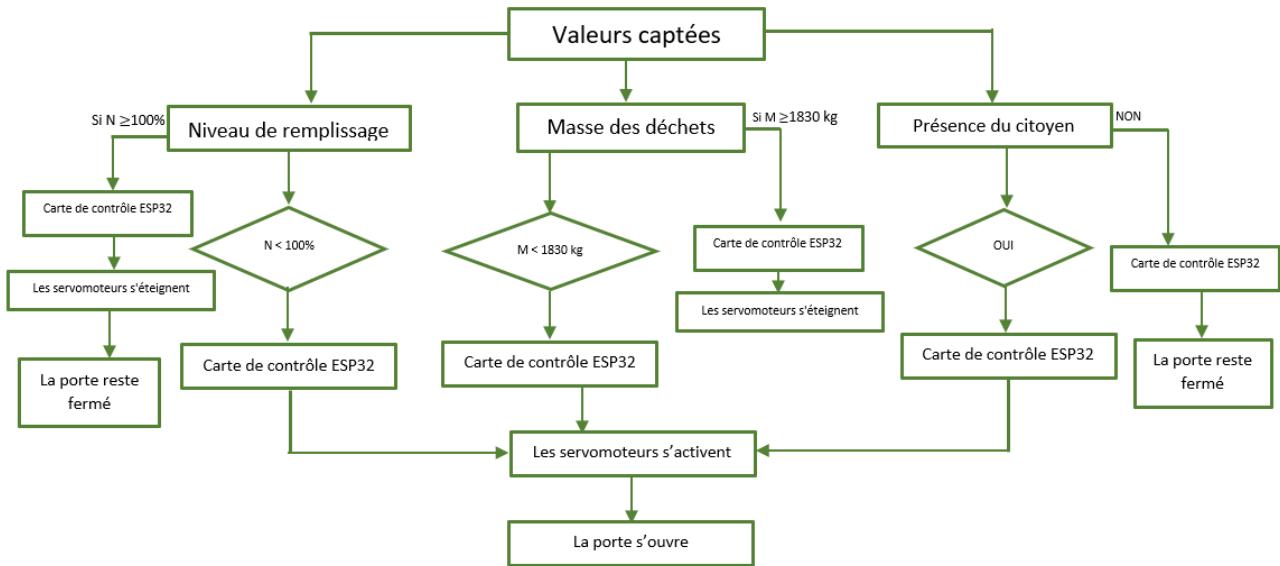


FIGURE 23 – Organigramme de fonctionnement de notre système de collecte des déchets

2.7.3 Circuit électrique du système

Notre circuit électrique utilise le microcontrôleur ESP32 responsable de recevoir les données de distance provenant des deux capteurs à ultrasons (taux de remplissage et présence des utilisateurs), il est aussi lié au capteur de poids qui mesure précisément le poids des déchets présents dans la poubelle, et à deux servomoteurs qui sont responsables de l'ouverture et la fermeture de la porte.

Les données recueillies par ces différents capteurs sont ensuite traitées dans la carte esp32 grâce un code spécifique qui suit l'algorithme de l'organigramme élaboré en haut.

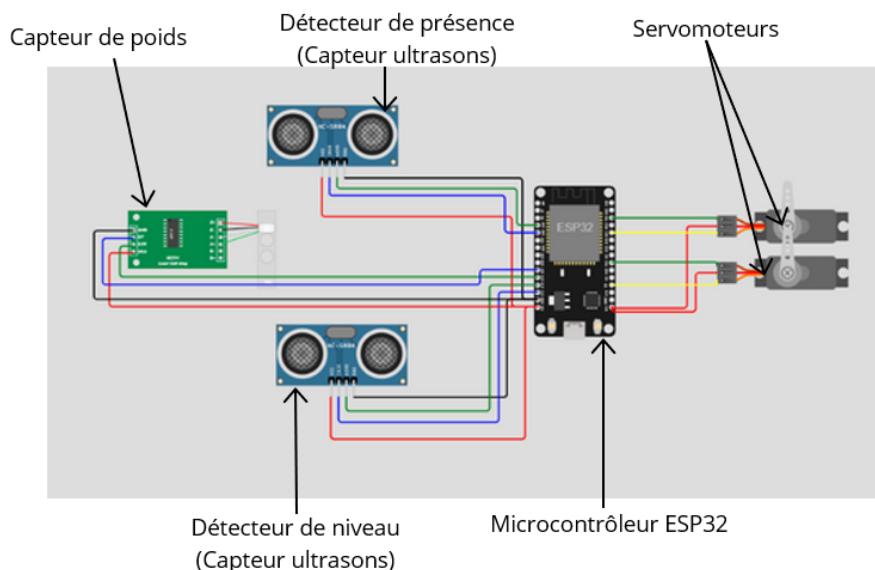


FIGURE 24 – Circuit électrique du système

2.7.4 Conception 3D du prototype

En utilisant la plateforme en ligne Tinkercad, nous avons pu concevoir notre prototype. Cette étape est essentielle et très importante car elle permet de donner une vision globale et réelle de notre système. Voici les caractéristiques de notre prototype :

- o Volume de la poubelle : 6100 cm³
- o Capacité maximale d'ordures : 5500 cm³

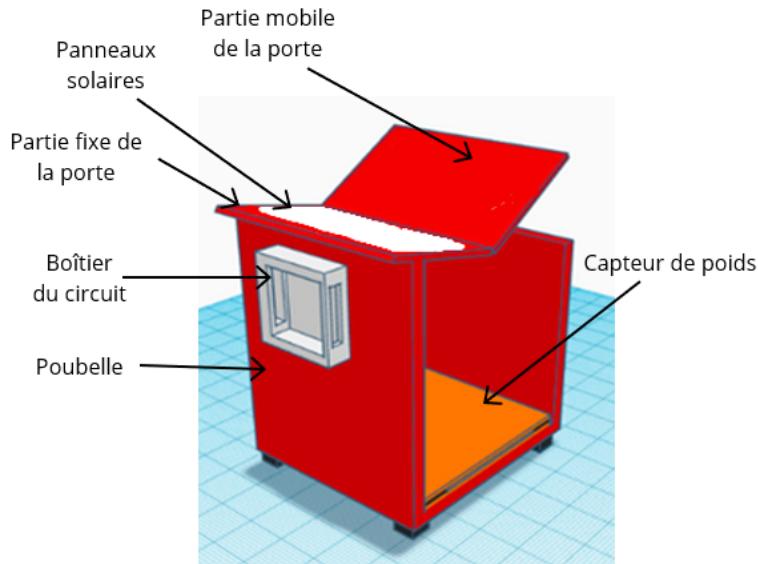


FIGURE 25 – Modélisation 3D du prototype

2.7.5 Test du code et du circuit

Détection de la présence de l'utilisateur (distance 1) et suivi du niveau de remplissage (distance 2) : Ici il fallait s'assurer que les mesures du niveau de remplissage ne soient pas erronées quand la porte est ouverte. Le résultat souhaité a été atteint et validé.

<pre> void loop() { int distance1 = capteurUltrason1.read(); int distance2 = capteurUltrason2.read(); while (distance1 <= distanceDetection) { ouvrirPorte(); distance1 = capteurUltrason1.read(); delay(1000); } fermerPorte(); if (distance2 > 2) { int tauxRemplissage = 100-map(distance2, 0, if (tauxRemplissage >= 94) { tauxRemplissage = 100; Serial.println("poubelle est pleine"); } if (tauxRemplissage < 0) { tauxRemplissage = 0; } } } </pre>	<p>Taux de remplissage de la poubelle : 0% Distance 1 : 139 cm Distance 2 : 22 cm Taux de remplissage de la poubelle : 56% Distance 1 : 139 cm Distance 2 : 60 cm Taux de remplissage de la poubelle : 0% Distance 1 : 138 cm Distance 2 : 187 cm Taux de remplissage de la poubelle : 0% Distance 1 : 138 cm Distance 2 : 61 cm Taux de remplissage de la poubelle : 0% Distance 1 : 138 cm Distance 2 : 58 cm Taux de remplissage de la poubelle : 0% Distance 1 : 138 cm Distance 2 : 187 cm Taux de remplissage de la poubelle : 0% Distance 1 : 138 cm Distance 2 : 120 cm Taux de remplissage de la poubelle : 0% </p>
--	---

FIGURE 26 – Code et résultats obtenus de détection de la présence de l'utilisateur

On utilise également le capteur de poids pour plus de précision :

<pre>#include <HX711.h> const int LOADCELL_DOUT_PIN = 2; // Broche DOUT du const int LOADCELL_SCK_PIN = 19; // Broche SCK du HX711 scale; void setup() { Serial.begin(9600); scale.begin(LOADCELL_DOUT_PIN, LOADCELL_SCK_PIN); scale.set_scale(); scale.tare(); } void loop() { float weight = scale.get_units(); Serial.print("Poids : "); Serial.print(weight); Serial.println(" kg"); delay(1000); }</pre>	<pre>Accuracy: 0.05 lbs Reading: 71.4 lbs Reading: 72.0 lbs Reading: 71.9 lbs Reading: 70.0 lbs Reading: 66.1 lbs Reading: 61.8 lbs Reading: 57.2 lbs Reading: 54.1 lbs Reading: 53.3 lbs Reading: 54.2 lbs Reading: 54.4 lbs Reading: 53.2 lbs Reading: 52.5 lbs Reading: 53.0 lbs Reading: 54.8 lbs</pre>
--	---

FIGURE 27 – Code et résultats obtenues du capteur de poids

2.7.6 Test de la plateforme Casa Zero Waste

Pour tester la plateforme Casa Zero Waste, nous avons utilisé notre prototype de poubelle, qui représente la partie matérielle de notre projet. Nous avons placé différents objets à l'intérieur de la poubelle et avons mesuré à la fois son poids et son niveau de remplissage. Les valeurs obtenues ont été immédiatement transmises en temps réel à la plateforme, ce qui nous a permis de vérifier la précision et la fiabilité de notre système.

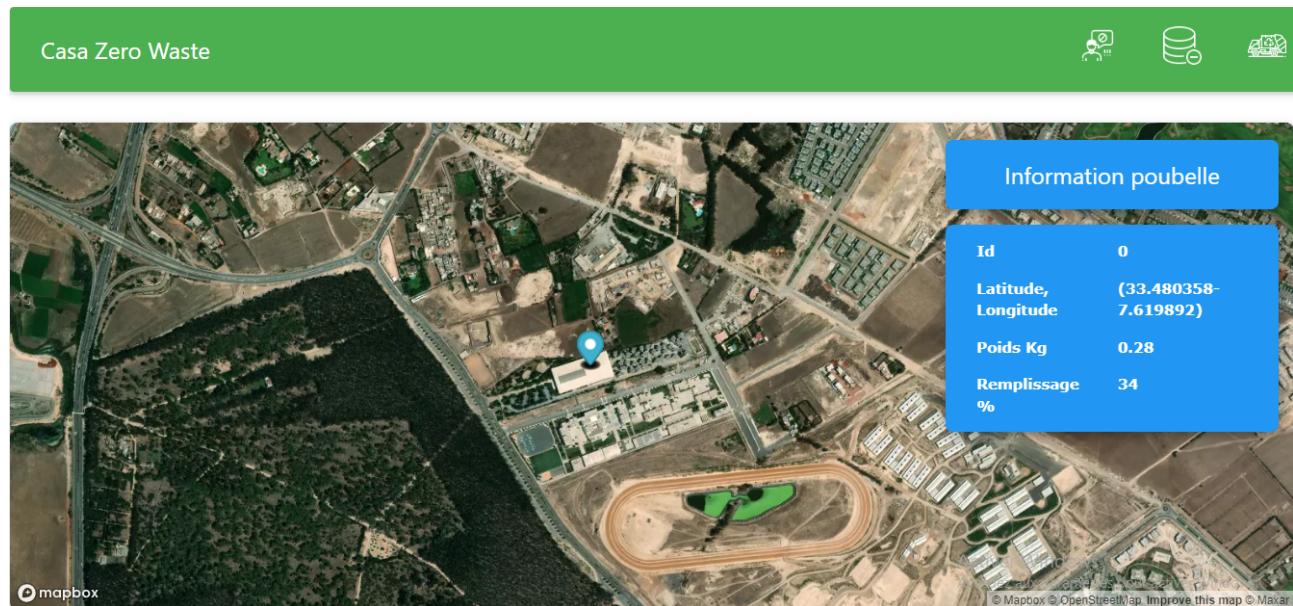


FIGURE 28 – Test de la plateforme Casa Zero Waste à Casablanca

Nous avons constaté que les informations envoyées par notre poubelle étaient correctement affichées sur la plateforme. Cela incluait non seulement le taux de remplissage, mais également l'emplacement exact de la poubelle, exprimé par des coordonnées géographiques. Cette fonctionnalité nous a confirmé que notre système était en mesure de collecter et de transmettre les données

pertinentes à la plateforme de manière efficace. Ce test nous a permis de valider le bon fonctionnement de notre prototype de poubelle connectée à la plateforme Casa Zero Waste.

Nous avons ainsi pu confirmer que notre approche était cohérente et que notre système était capable de fournir les informations nécessaires pour une gestion optimisée de la collecte des déchets.

2.7.7 Résolution et test de problème CVRP

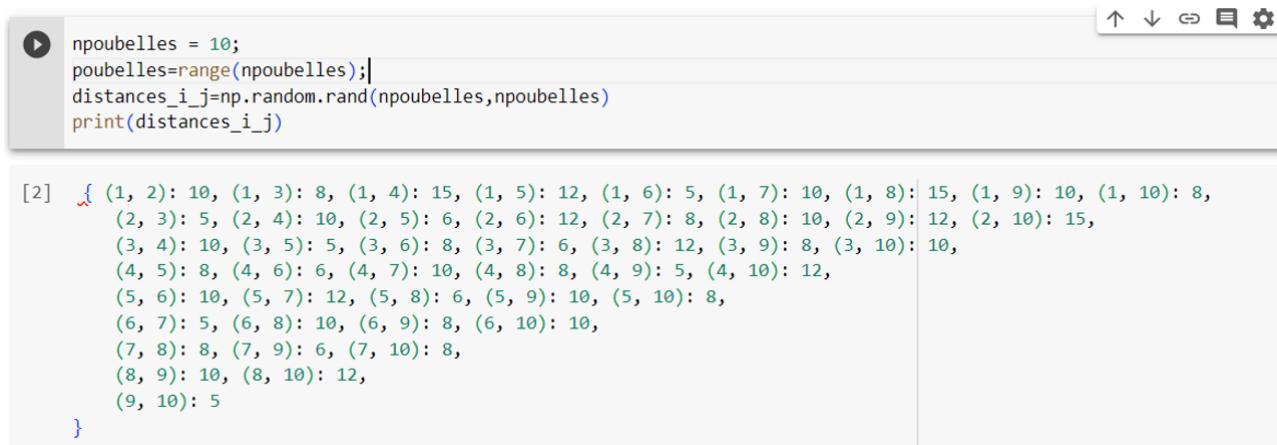
Pour la résolution de ce système trois méthodes s'offre à nous :

o **Méthodes exactes** : Ces méthodes garantissent de trouver la solution optimale, mais elles peuvent être limitées en termes de scalabilité et de temps de calcul.

o **Méthodes heuristiques** : Ces méthodes sont plus rapides que les méthodes exactes, elles fournissent des solutions de bonne qualité mais sans garantir l'optimalité. Elles sont adaptées aux instances plus grandes du CVRP.

o **Méthodes métahéuristiques** : Ces approches combinent la recherche et l'exploration pour trouver des solutions de qualité acceptable dans un temps raisonnable. Elles sont souvent utilisées pour résoudre des instances de taille modérée à grande taille.

Comme nous souhaitons travailler avec un petit échantillon, nous avons opté pour les méthodes exactes. Notre problème est linéaire, on peut alors utiliser le module complexe. Nous avons fait la programmation à l'aide de la plateforme Google Colab, on a généré aléatoirement 10 points de collecte avec les couts entre deux points i et j.



```
npoubelles = 10;
poubelles=range(npoubelles);
distances_i_j=np.random.rand(npoubelles,npoubelles)
print(distances_i_j)

[2] { (1, 2): 10, (1, 3): 8, (1, 4): 15, (1, 5): 12, (1, 6): 5, (1, 7): 10, (1, 8): 15, (1, 9): 10, (1, 10): 8,
(2, 3): 5, (2, 4): 10, (2, 5): 6, (2, 6): 12, (2, 7): 8, (2, 8): 10, (2, 9): 12, (2, 10): 15,
(3, 4): 10, (3, 5): 5, (3, 6): 8, (3, 7): 6, (3, 8): 12, (3, 9): 8, (3, 10): 10,
(4, 5): 8, (4, 6): 6, (4, 7): 10, (4, 8): 8, (4, 9): 5, (4, 10): 12,
(5, 6): 10, (5, 7): 12, (5, 8): 6, (5, 9): 10, (5, 10): 8,
(6, 7): 5, (6, 8): 10, (6, 9): 8, (6, 10): 10,
(7, 8): 8, (7, 9): 6, (7, 10): 8,
(8, 9): 10, (8, 10): 12,
(9, 10): 5 }
```

FIGURE 29 – Distance générée aléatoirement

Voici la solution obtenue :

```
✓ 0 s   Total (root+branch&cut) = 0.10 sec. (14.58 ticks)
    solution for: CVRP
    ↗ objective: 2.276
    ↗ status: OPTIMAL SOLUTION(2)
    ↗ x_0_3_1 = 1
    ↗ x_0_4_2 = 1
    ↗ x_0_7_0 = 1
    ↗ x_1_8_2 = 1
    ↗ x_2_0_2 = 1
    ↗ x_3_0_1 = 1
    ↗ x_4_6_2 = 1
    ↗ x_5_2_2 = 1
    ↗ x_6_9_2 = 1
    ↗ x_7_0_0 = 1
    ↗ x_8_5_2 = 1
    ↗ x_9_1_2 = 1
```

FIGURE 30 – Solution obtenue

Interprétation :

- **Temps de résolution :** Le temps total de résolution du problème VRP-CL était de 0,10 seconde.
- **Objectif :** L'objectif atteint dans cette solution est de 2,276. Cela représente la distance totale parcourue par les camions pour collecter les déchets des poubelles.
- **Statut :** Le statut de la solution est "OPTIMAL SOLUTION(2)", ce qui indique qu'une solution optimale a été trouvée.
- **Variables :** Les variables affichées représentent les paires poubelle-camion assignées dans la solution optimale. Par exemple, "x_0_3_1 = 1" signifie que la poubelle 0 est assignée au camion 1 et qu'il se rend ensuite à la poubelle 3. De même, "x_4_6_2 = 1" indique que la poubelle 4 est assignée au camion 2 et qu'il se rend ensuite à la poubelle 6.

En utilisant ces résultats, on peut déduire les chemins optimaux que chaque camion doit suivre pour collecter les déchets des poubelles.

2.8 Réalisation du prototype

L'assemblage de l'ensemble du matériel et la réalisation du code de fonctionnement de la carte esp32 (Code en Annexe) nous a donné le prototype suivant :



FIGURE 31 – Photos de notre prototype de la poubelle intelligente

Pour l'emplacement de la partie électronique dans le prototype, nous avons fixé la boîte contenant le circuit électronique à la surface arrière de la poubelle :

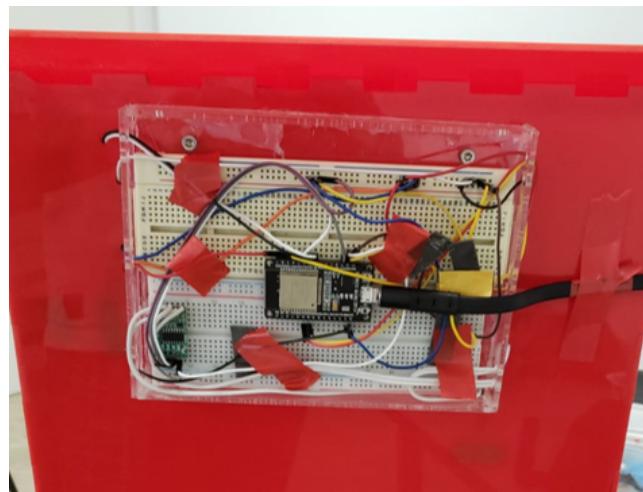


FIGURE 32 – Emplacement de la partie électronique dans le prototype

Pour l'emplacement du détecteur de niveau des déchets, nous l'avons fixé à l'intérieur de la poubelle, plus précisément en dessous de la partie fixe de la porte :



FIGURE 33 – Emplacement du détecteur de niveau des déchets

Pour l'emplacement du détecteur de présence du citoyen, nous l'avons fixé à l'avant de la poubelle :



FIGURE 34 – Emplacement du détecteur de présence du citoyen

2.9 Les résultats obtenus suivis des commentaires et d'analyses

Nous avons entrepris la réalisation et la conception d'un système intelligent de collecte des déchets. Grâce à notre programme informatique exploitant les données des capteurs, nous avons constaté que le système fonctionne conformément aux critères établis dès le début du projet. En effet, notre système est capable de déterminer avec précision le taux de remplissage de la poubelle en utilisant à la fois la distance mesurée par le capteur ultrasonore et le poids des déchets mesuré par le capteur de poids. De plus, il peut effectuer l'ouverture et la fermeture automatique de la porte de la poubelle, démontrant ainsi sa cohérence avec les objectifs finaux du projet de ville intelligente et durable en Afrique.

Ces caractéristiques confèrent à notre système plusieurs avantages, notamment sa capacité à être utilisé par un large éventail de citoyens et d'entreprises de collecte des déchets, ce qui correspond clairement à notre public cible. De plus, nous avons pris soin de développer l'application mobile "Casa Zero Waste" avec une interface conviviale, accessible à tous les citoyens, indépendamment de leur niveau d'éducation ou de leur statut social. Cela confère à notre projet une dimension humaine et sociale.

L'installation du système est également simple, car nous n'avons pas utilisé de montage électronique complexe. Par conséquent, le système que nous avons développé s'avère être une solution efficace pour remédier au problème de collecte des déchets.

3 Conclusion générale

Notre projet, **Gestion de la collecte des déchets ménagers à Casablanca**, a été réalisé grâce à la collaboration entre les membres du groupe, le tuteur et l'école Centrale Casablanca, sur une période d'un an. Notre objectif principal était de répondre à la problématique identifiée dès les premières étapes de recherche du projet : **Comment optimiser la collecte des déchets ménagers à Casablanca ?**

Pour atteindre cet objectif, nous nous sommes engagés à explorer différentes solutions et à concevoir un système combinant des éléments matériels et logiciels. Ce système vise à améliorer la gestion des déchets pour les entreprises de collecte et les citoyens en automatisant les poubelles et en facilitant la communication entre ces deux parties grâce à l'affichage de l'emplacement des poubelles et de leur taux de remplissage.

Notre visite à Casablanca a été essentielle pour la réalisation de notre projet, car elle nous a permis de mieux comprendre les besoins des clients et d'avoir une vision plus claire des paramètres du projet en observant l'importance cruciale de traiter la problématique de la collecte des déchets.

Comme tout projet, nous avons rencontré plusieurs difficultés, notamment la collecte des informations nécessaires sur la problématique de la collecte et de la gestion des déchets à Casablanca, ainsi que le développement du code permettant de connecter la carte de commande aux autres composants du système. Nous avons également eu des difficultés à lier les données provenant des poubelles à la plateforme Casa Zero Waste. De plus, les contraintes de temps et de ressources matérielles nous ont empêchés d'explorer d'autres idées, telles que le compactage des déchets, l'extension de la zone géographique étudiée et l'augmentation du nombre de poubelles utilisées, qui auraient pu enrichir notre projet.

Malgré ces difficultés, nous avons réussi à développer un système fonctionnel et efficace pour résoudre le problème de la collecte des déchets ménagers.

4 Bibliographies

- [1] . Le nombre de mégapoles dans le monde entre 1990 et 2030. (Page consultée le 05/10/2022). Graphique. Le nombre de mégapoles dans le monde entre 1990 et 2030. – Prem's (grweb.fr)
- [2] . Le poids croissant des métropoles dans le monde (page consultée le 06/10/2022). Le poids croissant des métropoles dans le monde - 1ère - Cours Géographie - Kartable
- [3] . Quelles sont les caractéristiques d'une ville intelligente ? (page consultée le 06/10/2022). Quelles sont les caractéristiques d'une ville intelligente ? - Synox
- [4] . Laetitia Dechanet, 8 décembre 2020, «Prendre le problème à la source», (Page consultée le 07/10/2022) Prendre le problème à la source | Heinrich-Böll-Stiftung | Rabat - Maroc (boell.org)
- [5] . Le problème des déchets en Afrique, (Page consultée le 08/10/2022) Problèmes de gestion des déchets en AfriqueLa Plate-forme Africaine des Villes Propres (africancleancities.org)
- [6] . smart city la gestion intelligente des dechets <https://www.digitalcorner-wavestone.com/2019/10/smart-city-la-gestionintelligente-des-dechets/> (Date de consultation : 23/12/2022)
- [7] . (16) les modalités techniques de collecte - https://www.youtube.com/watch?v=id3nNPMRy_Y - YouTube
- [8] . Optimisation de tournees de véhicules pour l'exploitation de Réseau Telecom, Arnaud Malapert Date de publication : Paris, 6 septembre 2006. <https://www.i3s.unice.fr/malapert/publications/malapert-06-FT.pdf> (Date de consultation : 02/02/2023)

5 Annexes

code utiliser pour le circuit et pour l'optimisation des trajets est le suivant :

```
1 #include <ESP32Servo.h>
2 #include <Ultrasonic.h>
3
4 const int pinTrigger1 = 5;
5 const int pinEcho1 = 18;
6 const int pinTrigger2 = 32;
7 const int pinEcho2 = 33;
8 const int pinServo1 = 23;
9 const int pinServo2 = 22;
10
11 Servo servo1;
12 Servo servo2;
13 Ultrasonic capteurUltrason1(pinTrigger1, pinEcho1);
14 Ultrasonic capteurUltrason2(pinTrigger2, pinEcho2);
15
16 const int distanceDetection = 10;
17 const int delaiFermeture = 5000;
18 const int HAUTEUR_POUBELLE = 50;
19 const int CAPACITE_POUBELLE = 100;
20
21 void setup() {
22     Serial.begin(115200);
23     servo1.attach(pinServo1);
24     servo2.attach(pinServo2);
25 }
26
27 void loop() {
28     int distance1 = capteurUltrason1.read();
29     int distance2 = capteurUltrason2.read();
30
31     while (distance1 <= distanceDetection) {
32         ouvrirPorte();
33         distance1 = capteurUltrason1.read();
34         delay(1000);
35     }
36
37     fermerPorte();
38
39     if (distance2 > 2) {
40         int tauxRemplissage = 100-map(distance2, 0, HAUTEUR_POUBELLE, 0, 100);
41
42         if (tauxRemplissage >= 94) {
43             tauxRemplissage = 100;
44             Serial.println("poubelle est pleine");
45         }
46         if (tauxRemplissage < 0) {
47             tauxRemplissage = 0;
48         }
49     }
```

```

    Serial.print("Distance 1 : ");
    Serial.print(distance1);
    Serial.print(" cm\t");
    Serial.print("Distance 2 : ");
    Serial.print(distance2);
    Serial.println(" cm");
    Serial.print("Taux de remplissage de la poubelle : ");
    Serial.print(tauxRemplissage);
    Serial.println("%");
}

delay(1000);
}

void ouvrirPorte() {
    servo1.write(0);
    servo2.write(0);
}

void fermerPorte() {
    servo1.write(70);
    servo2.write(70);
}

```

```

1 #Importing the package numpy as np.
2 import numpy as np
3 # "rnd" is an object that generate random numbers.
4 rnd = np.random
5 # "seed(0)" is a method that reset (every time), the same random set of numbers.
6 rnd.seed(0)
7 # Number of customers.
8 npoubelles = 10
9 # Maximum capacity of the vehicle.
10 capacité_vehicule = 15
11 #The set of nodes without the depot.
12 poubelles = [i for i in range(1,n+1)]
13 # The set of nodes + the depot.
14 noeuds = [0]+ poubelles
15 # A collection that contains the demand of each node.
16 quantité_dechet ={i:rnd.randint(1,10)for i in poubelles}
17 # Generating random numbers between (0 and 15) * 200.
18 loc_x = rnd.rand(len(noeuds))*200
19 # Generating random numbers between (0 and 15) * 100.
20 loc_y = rnd.rand(len(noeuds))*100
21 #Importing the package matplotlib.pyplot as plt.
22 import matplotlib.pyplot as plt
23 #Plotting the n nodes without the node 0 (depot) and chose the color blue for each node.
24 plt.scatter(loc_x[1:],loc_y[1:],c='b')
25 # Associating and plotting each demand in the right of each blue node (customer).

```

```

26 for i in poubelles:
27     plt.annotate('$d%d$' % (i, quantité_dechet[i]), (loc_x[i]+2, loc_y[i]))
28 #Ploting the node 0, chosing the red like its color and the square form like a marker.
29 plt.plot(loc_x[0], loc_y[0], c='r', marker='s')
30 #Showing the Initial plot.
31 plt.show()
32 #Intializing the set of arcs A.
33 A = [(i,j) for i in noeuds for j in noeuds if i!=j]
34 #Calculating the distance between each node.
35 c= {(i,j):np.hypot(loc_x[i]-loc_x[j],loc_y[i]-loc_y[j]) for i,j in A}
36 #Importing the docplex.mp.model from the CPLEX as Model
37 from docplex.mp.model import Model
38 mdl = Model('CVRP')
39 #Intializing our binary variable x_i,j
40 x=mdl.binary_var_dict (A,name='x')
41 #Intializing our cumulative demand u
42 u=mdl.continuous_var_dict (poubelles,ub=capacité_vehicule ,name = 'u')
43 #Intializing the objectif function
44 mdl.minimize(mdl.sum(c[i,j]*x[i,j]for i,j in A))
45 #Intializing the first constraint
46 mdl.add_constraints(mdl.sum(x[i,j]for j in noeuds if j!=i)==1 for i in poubelles)
47 #Intializing the second constraint
48 mdl.add_constraints(mdl.sum(x[i,j]for i in noeuds if i!=j)==1 for j in poubelles)
49 #Intializing the third constraint
50 #Intializing the fourth constraint
51 #Getting the solution
52 solution =mdl.solve(log_output=True)
53 #Printing the solution
54 print(solution)
55 #Identifying the active arcs.
56 active_arcs =[ a for a in A if x[a].solution_value> 0.9]
57 plt.scatter(loc_x[1:],loc_y[1:],c='b')
58 for i in poubelles:
59     plt.annotate('$d%d$' % (i, quantité_dechet[i]), (loc_x[i]+2, loc_y[i]))
60 for i,j in active_arcs :
61     #Coloring the active arcs
62     plt.plot([loc_x[i],loc_x[j]], [loc_y[i],loc_y[j]],c='g',alpha=0.3)
63 plt.plot(loc_x[0],loc_y[0],c='r',marker='s')
64 #Plotting the solution
65 plt.show()

```

Voici le lien github contenent notre code de plateforme et de l'application Casa Zero Waste :

https://github.com/benrguig/casa_zero_waste