

2024-2025



# PROJET RTK

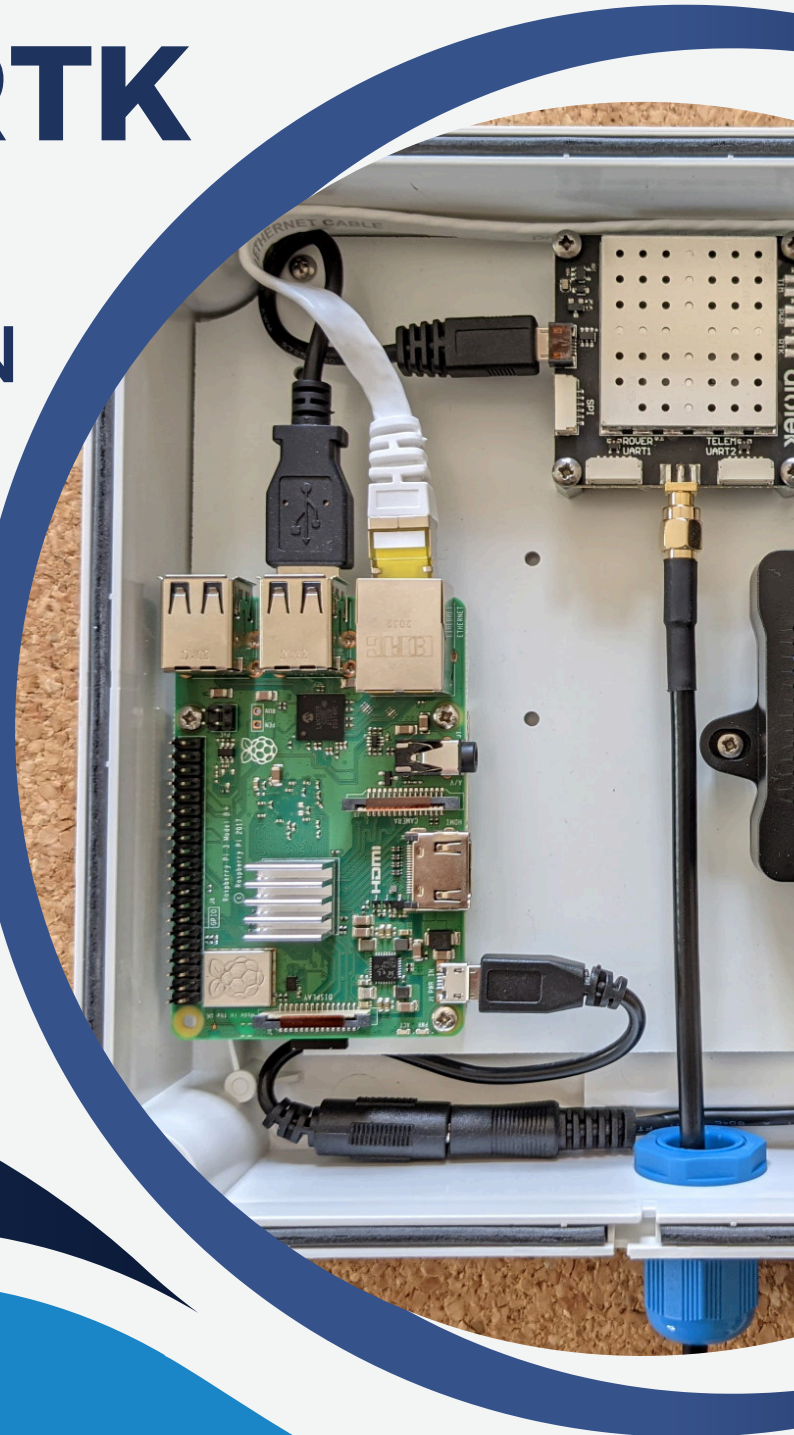
## DOCUMENT DE CONCEPTION

| Superviseur

**Dr. CHANA Anne M.**  
**Dr. NGOUNOU Guy**

| Encadreur

**M. ATSA Albert**



**Ecole Nationale Supérieure Polytechnique de Yaoundé**

*National Advanced School of Engineering of Yaounde*

**Département de Génie Informatique**

*Computer Engineering Department*

---

**UE: ELECTRONIQUE ET INTERFAÇAGE**

---

**Réalisé par les étudiants de 4GI :**

★ MEKIAGE Olivier ( <b>chef</b> )	21P369
★ KUATE KAMGA Brayan	21P130
★ NGUEPSSI Brayanne	23P780
★ NTYE EBO'O Nina	21P223
★ VUIDE OUENDEU Jordan	21P018
★ KOUASSI DE YOBO G. Bryan	21P082
★ LEMOBENG NGOUANE Belviane	21P187
★ FEZEU YOUNDJJE Fredy Clinton	23P751
★ BADA RODOLPHE André	21P233
★ DANGA PATCHOUM Blonde	21P169

# TABLE DES MATIERES

<b>Liste des figures</b>	<b>4</b>
<b>Liste des tables</b>	<b>5</b>
<b>Remerciements</b>	<b>6</b>
<b>Résumé</b>	<b>7</b>
1. Contexte et enjeux du projet	7
2. Objectifs principaux	7
3. Résultats attendus	8
<b>Introduction</b>	<b>9</b>
<b>I. Contexte et encadrement du projet</b>	<b>10</b>
1. Cadre institutionnel (école, encadreurs, partenaires)	10
2. État de l'art des technologies utilisées (RTK, navigation pour malvoyants)	11
a. Systèmes de navigation conventionnels	11
b. Technologie RTK (Real-Time Kinematic)	12
i. Principe de fonctionnement	12
Table 1 : Résumé de la communication entre composants du système RTK	
16	
ii. Avantages techniques	17
iii. Contraintes d'utilisation	17
c. Systèmes d'aide à la navigation pour malvoyants	17
i. Solutions existantes	17
ii. Innovations récentes	17
d. Approche système hybride RTK-ultrason	17
i. Composants principaux	17
ii. Avantages du système hybride	18
3. Objectifs et cahier des charges	18
1. Fonctionnalités :	19
2. Généralités :	19
3. Conditions :	19
<b>II. Planification des tâches</b>	<b>20</b>
1. Division des équipes et répartition des rôles	20
2. Planning général du projet	22
3. Outils de gestion de projet	23
<b>III. Conception technique</b>	<b>24</b>
1. Diagrammes UML	24
a. Structure du système	24

i. Diagramme de contexte	24
ii. Diagramme de package	25
iii. Diagramme de classe métier	26
b. Comportement du système	27
i. Diagramme de cas d'utilisation	27
ii. Diagramme d'activité	28
c. Vue technique du système	29
i. Diagramme de séquence système	29
d. Interaction dans le système	31
i. Diagramme de séquence technique	31
e. Déploiement	32
2. Détails techniques	33
a. Système RTK et base GNSS	33
i. Description du système	33
ii. Spécifications techniques	33
iii. Installation et mise en oeuvre	37
iv. Logiciel associé	38
b. Capteurs ultrasons	40
i. Description du système	40
ii. Spécifications techniques	40
iii. Installation et mise en oeuvre	41
Intégration des Capteurs	41
Tests et Calibration/Logiciel associé	41
c. Module de guidage	42
i. Description du système	42
ii. Spécifications techniques	42
<b>IV. Réalisation du projet</b>	<b>44</b>
1. Partie matérielle : installation et configuration	44
a. Installation de la base RTK	44
2. Partie logicielle : développement et tests	46
a. Algorithme de navigation et gestion des capteurs	46
b. Développement de l'application mobile	47
c. Intégration des différents modules	48
<b>V. Bilan et retours d'expérience</b>	<b>49</b>
1. Points positifs et difficultés rencontrées	49
2. Améliorations envisagées	51
<b>VI. Perspectives et pérennisation</b>	<b>54</b>

1. Maintenance et évolutions futures	54
a. Maintenance du système	54
b. Évolutions futures du système	54
2. Applications élargies de la technologie développée	55
a. Applications pour l'accessibilité	55
b. Applications dans d'autres domaines	55
c. Intégration dans des projets d'urbanisme intelligent	56
<b>Conclusion</b>	<b>57</b>

## Liste des figures

Figure 01 : Diagramme synoptique 1 (pg. 12)

Figure 02 : Diagramme de contexte (pg. 13)

Figure 03 : Diagramme de contexte (pg. 24)

Figure 04 : Diagramme de package (pg. 25)

Figure 05 : Diagramme de classe métier (pg. 26)

Figure 06 : Diagramme de cas d'utilisation (pg. 27)

Figure 07 : Diagramme d'activité (pg. 28)

Figure 08 : Diagramme de séquence système Description globale (pg. 29)

Figure 09 : Diagramme de séquence système (pg. 30)

Figure 10 : diagramme de séquence technique (pg. 31)

Figure 11 : Diagramme de déploiement (pg. 32)

## Liste des tables

Table 1 : Résumé communication entre composants du système RTK (pg. 16)

Table 2 : Planning général du projet (pg. 22)

Table 3 : Liste de matériels (pg. 44)

# Remerciements

Pour le compte de ce projet innovant de système de guidage pour personnes malvoyantes, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude envers toutes les personnes qui ont contribué à sa réalisation

Nos premiers remerciements s'adressent à la direction de l'École Nationale Supérieure Polytechnique de Yaoundé, qui nous a offert le cadre académique et les ressources nécessaires pour mener à bien ce projet ambitieux. Leur soutien constant dans notre démarche d'innovation sociale a été déterminant.

Nous exprimons notre sincère reconnaissance à nos encadrants académiques, dont l'expertise technique et les conseils avisés ont été essentiels dans le développement de notre solution. Leur accompagnement a permis d'allier rigueur scientifique et pertinence sociale dans notre approche.

Une mention spéciale va à la communauté des personnes malvoyantes qui a accepté de collaborer avec nous tout au long du processus. Leurs retours d'expérience, leurs suggestions et leur participation active ont été cruciaux pour concevoir une solution véritablement adaptée à leurs besoins.

Nous remercions également nos camarades de la filière 4GI pour leurs contributions constructives et leur esprit de collaboration qui ont enrichi notre réflexion tout au long du développement du projet.

Enfin, nous tenons à remercier nos familles respectives pour leur soutien indéfectible et leurs encouragements constants, qui nous ont permis de maintenir notre motivation et notre engagement tout au long de ce projet à forte dimension sociale.

# Résumé

## 1. Contexte et enjeux du projet

Le projet se concentre sur le développement d'un **système de guidage autonome** destiné aux personnes malvoyantes. Il utilise des technologies avancées, notamment le positionnement **RTK (Real-Time Kinematics)** pour une précision de localisation de l'ordre de quelques centimètres, ainsi que des **capteurs ultrasons** pour la détection d'obstacles. Ces outils sont combinés à une **application mobile Android** dotée d'une fonctionnalité vocale, afin de rendre le système accessible et intuitif pour les utilisateurs.

Le projet vise à concevoir une solution technologique innovante et fiable pour améliorer l'autonomie et la mobilité des personnes malvoyantes, en s'appuyant sur des technologies de guidage de précision comme le RTK et une application mobile intuitive. Il s'inscrit dans une démarche d'inclusion sociale, tout en répondant à des enjeux de sécurité, d'éthique, et d'accessibilité économique. En parallèle, le projet représente une opportunité pédagogique pour les étudiants, favorisant l'acquisition de compétences multidisciplinaires et l'innovation technologique, tout en explorant le potentiel d'un marché en forte demande.

## 2. Objectifs principaux

Les objectifs principaux assignés à ce projet sont les suivants :

- **Améliorer l'autonomie des personnes malvoyantes** : Développer un système de guidage précis et accessible pour faciliter leurs déplacements en toute sécurité.
- **Utiliser des technologies innovantes** : Exploiter le GPS RTK et des applications mobiles pour fournir une localisation et un guidage de haute précision.
- **Favoriser l'inclusion sociale** : Créer une solution accessible à un large public et adaptée aux besoins spécifiques des personnes malvoyantes.
- **Garantir la sécurité** : Concevoir un système fiable, intuitif et sûr pour éviter tout risque lors des déplacements.



### 3. Résultats attendus

Les résultats attendus pour ce projet incluent :

- **Application mobile fonctionnelle et accessible** : Une application intuitive capable de guider les utilisateurs malvoyants avec une précision exceptionnelle, grâce à l'intégration de la technologie GPS RTK, tout en étant doté d'une interface ergonomique et inclusive, répondant aux besoins spécifiques des malvoyants (contrastes adaptés, commandes vocales, retour haptique, etc.).
- **Système de navigation précis et en temps réel** : Une navigation fiable avec des indications claires et adaptées, permettant aux utilisateurs de se déplacer en toute autonomie dans des environnements urbains ou complexes.
- **Impact social mesurable** : Une amélioration tangible de l'autonomie et de la qualité de vie des personnes malvoyantes, contribuant à leur inclusion sociale et à leur indépendance.
- **Base technologique robuste** : Un système évolutif pouvant être enrichi avec d'autres technologies, comme l'intelligence artificielle ou la réalité augmentée, pour répondre à des besoins futurs.

Ces résultats visent à offrir une solution technologique innovante et durable pour répondre à un enjeu sociétal majeur.

# Introduction

Le projet développé par les étudiants de 4GI de l'École Nationale Supérieure Polytechnique de Yaoundé vise à créer un système de guidage innovant pour les personnes malvoyantes. Face aux défis quotidiens limitant leur autonomie et leur intégration sociale, ce projet exploite la technologie RTK (Real-Time Kinematic), les capteurs ultrasoniques et une interface utilisateur accessible pour offrir une solution de guidage précise et sécurisée. Le système s'appuie sur trois éléments clés: une technologie RTK assurant une localisation centimétrique, des capteurs ultrasoniques pour la détection d'obstacles, et une interface adaptée aux besoins des malvoyants. La problématique centrale interroge la conception d'un système alliant précision technologique et accessibilité pour améliorer l'autonomie des personnes malvoyantes. Cette initiative se justifie par l'importance des déplacements autonomes dans l'inclusion sociale, les limitations des solutions existantes, et le potentiel inexploité de la technologie RTK dans ce domaine. S'inscrivant dans les Objectifs de Développement Durable concernant la réduction des inégalités et la création de communautés inclusives, ce projet promet un impact durable tant sur le plan social que technologique, avec une capacité d'évolution pour répondre aux besoins futurs des utilisateurs.

# **I. Contexte et encadrement du projet**

## **1. Cadre institutionnel (école, encadreurs, partenaires)**

Ce projet est développé dans le cadre des projets de l'unité d'enseignement **Électronique et Interfaçage** au sein de l'École Nationale Supérieure Polytechnique Yaoundé (ENSPY). Il bénéficie de ce fait d'un encadrement structuré et multidisciplinaire pour garantir son succès. L'équipe d'encadrement est composée de deux enseignants internes et aux profils complémentaires, permettant d'allier expertise technique, académique et professionnelle.

### **Encadreurs internes :**

1. **Dr CHANA Anne Marie** : Enseignant.
2. **Dr NGOUNOU Guy** : Enseignant-Chercheur en électronique embarquée et traitement du signal, spécialiste des systèmes temps réel.

Ils aident l'équipe de travail principalement dans la formation pédagogique sur des éléments théoriques :

- Cours sur l'introduction à l'électronique et à la réalisation éléments de bases d'un circuit électronique
- Formation sur l'utilisation du logiciels Porteus
- Formation sur Arduino
- Suivi du projet, orientation et réorientation du projet pour maintenir l'équipe projet dans le respect du cahier de charge
- Mise à disposition de l'équipe projet de quelques matériels (le kit RTK et ses composantes principales) et d'un cadre de travail.

### **Encadreurs externe :**

- **Mr Albert Bernard ATSA NTI** : Ingénieur

Il est intervient dans le cadre de :

- Assistance dans la conception et la simulation des circuits électroniques.
- Validation des choix technologiques (matériels et logiciels).
- Identification des cas d'usage industriel pour intégrer des scénarios réels
- Suivi et séquentialisation du projet.

## **2. État de l'art des technologies utilisées (RTK, navigation pour malvoyants)**

### **a. Systèmes de navigation conventionnels**

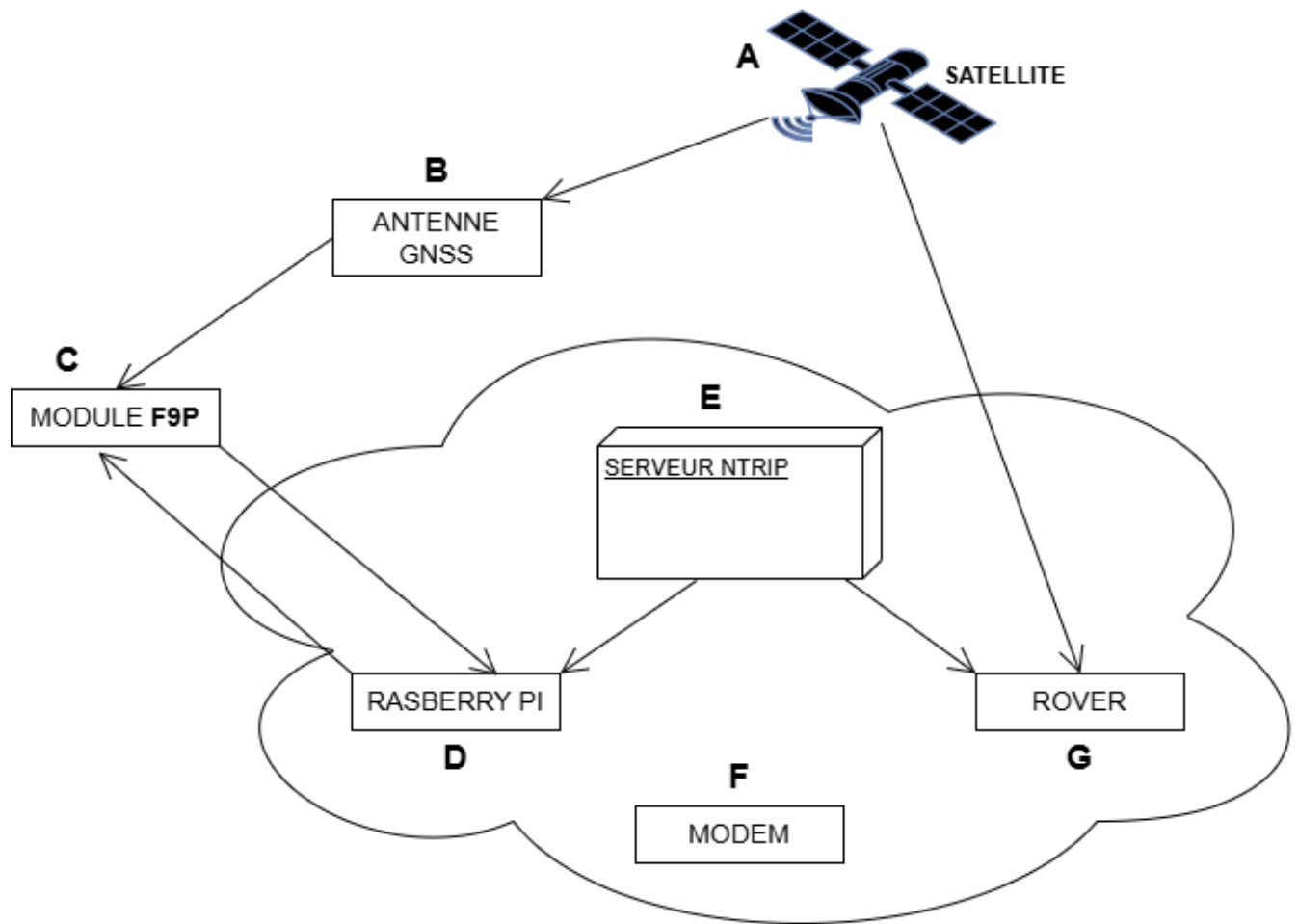
Les systèmes de navigation traditionnels comme Google Maps présentent des limitations significatives pour les personnes malvoyantes, avec une marge d'erreur variant de 1 à 20 mètres. Cette imprécision est particulièrement problématique dans des environnements urbains denses ou pour éviter des obstacles. Les solutions actuelles comprennent :

- **Les cannes blanches** : Outil traditionnel offrant une détection tactile des obstacles immédiats
- **Les chiens-guides** : Solution efficace mais coûteuse et nécessitant une formation intensive
- **Les applications GPS standard** : Précision insuffisante pour une navigation sécurisée

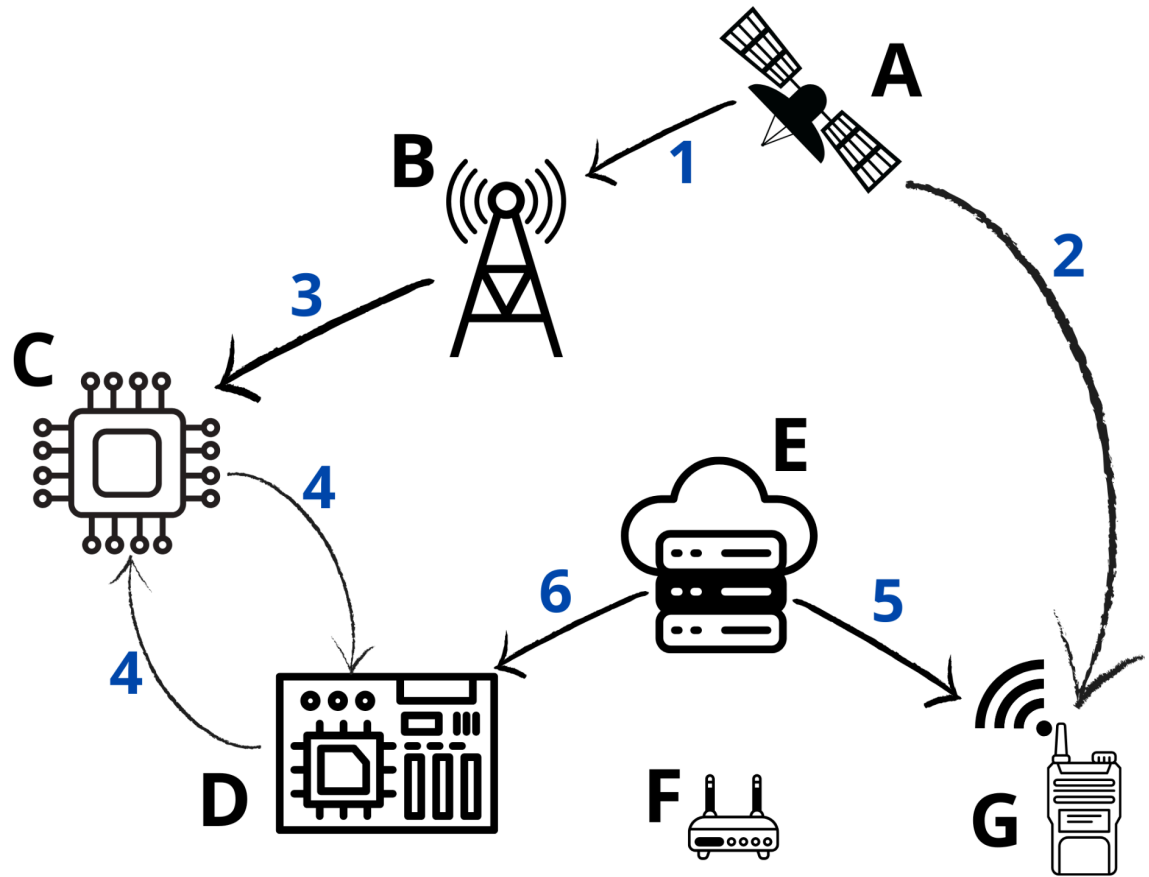
## **b. Technologie RTK (Real-Time Kinematic)**

La technologie RTK représente une avancée majeure dans le domaine de la géolocalisation de précision. Elle se distingue par :

### **i. Principe de fonctionnement**



**Figure 01 : Diagramme synoptique 1**



**Figure 02 : Diagramme synoptique 2**

### 1) Communication entre les satellites GNSS et l'antenne GNSS

Les satellites GNSS (GPS, Galileo, GLONASS, BeiDou) transmettent en continu des signaux permettant aux récepteurs de calculer leur position avec précision.

- **Pourquoi cette communication est essentielle ?**
  - La réception de plusieurs signaux permet d'effectuer une trilatération et de déterminer la position exacte.
- **Données transmises :**
  - Signaux GNSS bruts sur plusieurs fréquences (L1/L2).
  - Codes pseudo-aléatoires et messages de navigation.
- **Traitement :**
  - Correction des erreurs dues aux biais d'horloge et aux interférences atmosphériques.

- Intégration des corrections RTK pour affiner la position.

## **2) Communication entre les satellites GNSS et le Rover**

Le Rover, équipé d'un récepteur GNSS, capte ces signaux pour estimer sa position avec une précision accrue lorsqu'il reçoit des corrections RTK.

- **Pourquoi cette communication est essentielle ?**
  - Elle permet au Rover de mesurer le temps de propagation du signal et de calculer sa distance aux satellites
  - En combinant les signaux satellites avec les corrections RTK, le Rover améliore la précision de son positionnement centimétrique.
- **Données transmises :**
  - Signaux GNSS bruts sur plusieurs fréquences (L1/L2).
  - Codes pseudo-aléatoires et messages de navigation.
  - Informations sur l'horloge et la position des satellites.
- **Traitement :**
  - L'antenne du Rover capture ces signaux et les transmet au module GNSS embarqué.

## **3) Communication entre l'antenne GNSS et le module u-blox ZED-F9P**

- **Données transmises :**
  - Signaux GNSS reçus et filtrés.
- **Traitement :**
  - Démodulation des signaux.
  - Extraction des informations de positionnement (pseudo-distances, phases de signal).
  - Génération de données brutes GNSS en formats **UBX / NMEA / RTCM**.

## **4) Communication entre le F9P et le Raspberry Pi**

- **Données transmises :**
  - Messages **NMEA** (latitude, longitude, altitude, vitesse, heure UTC).

- Données **UBX** (propriétaires u-blox, informations de correction et diagnostic).
- Messages **RTCM** (si le module F9P fonctionne en mode base).
- **Traitement :**
  - Enregistrement des données GNSS brutes.
  - Envoi des données à un serveur NTRIP si le Raspberry Pi est une station de base.
  - Réception de corrections RTK si le Raspberry Pi est un rover.

## 5) Communication entre le Raspberry Pi et Internet (Serveur NTRIP/Centipede)

- **Données transmises :**
  - Si le Raspberry Pi est **une station de base** : Envoi de données RTCM à un serveur NTRIP.
  - Si le Raspberry Pi est **un rover** : Requête de corrections RTK en fonction de sa position.
- **Traitement par le serveur NTRIP :**
  - Génération des corrections différentielles RTK.
  - Calcul des erreurs d'horloge des satellites.
  - Modélisation et correction des erreurs atmosphériques (ionosphère, troposphère).

### 6.1) Communication entre Internet (NTRIP) et le Raspberry Pi/F9P (Rover)

- **Données reçues :**
  - Messages RTCM (types 1004, 1005, 1019, 1020...)
  - Corrections d'erreurs de satellite et de propagation du signal.
  - Corrections d'horloge et de trajectoire.
- **Traitement par le F9P :**
  - Application des corrections pour améliorer la précision GNSS.
  - Ajustement des mesures de phase et calcul d'une position à **précision centimétrique**.

### 6.2) Communication entre le Raspberry Pi et le Rover

- **Données transmises :**
  - Positionnement RTK corrigé.
  - Données de navigation et trajectoire.



- **Traitement par le Rover :**
  - Exploitation de la position corrigée pour le guidage.
  - Ajustement dynamique de la trajectoire en fonction des données reçues.

<b>ETAPE</b>	<b>TYPE DE DONNEES</b>	<b>FORMAT</b>	<b>OBJECTIF</b>
Satellite GNSS→ Antenne	Signaux GNSS	RF	Captation des signaux satellites pour positionnement
Satellite GNSS→ Rover	Signaux GNSS	RF	Captation des signaux satellites pour positionnement
Antenne → F9P	Signaux GNSS filtres	RF	Analyse et conversion en données exploitable
F9P → Raspberry Pi	Données GNSS brutes	RTCM	Enregistrement, affichage, transmission
Raspberry Pi → Internet	Données RTCM	RTCM	Envoi ou réception de corrections RTK
Internet → Raspberry Pi → F9P	Corrections RTK	RTCM	Amélioration de la précision GNSS
Raspberry Pi → Rover	Positionnement RTK corrigé	Json	Guidage et navigation précis du Rover

**Table 1 : Résumé de la communication entre composants du système RTK**

## **ii. Avantages techniques**

- Précision centimétrique (inférieure à 3 cm)
- Correction des erreurs atmosphériques et des biais d'orbite
- Temps de réponse rapide (quelques secondes)

## **iii. Contraintes d'utilisation**

- Nécessité d'une vue dégagée vers le ciel (cône de 160°)
- Dépendance aux conditions de réception GNSS
- Performance limitée dans les environnements intérieurs

## **c. Systèmes d'aide à la navigation pour malvoyants**

### **i. Solutions existantes**

- Systèmes basés sur les balises sonores
- Applications de reconnaissance d'obstacles par smartphone
- Dispositifs haptiques de guidage

### **ii. Innovations récentes**

- Intégration de capteurs ultrasoniques pour la détection d'obstacles
- Systèmes de guidage par retour vocal
- Solutions hybrides combinant plusieurs technologies

## **d. Approche système hybride RTK-ultrason**

L'innovation majeure réside dans la combinaison de :

### **i. Composants principaux**

- Base RTK fixe pour la géolocalisation précise
- Capteurs ultrasoniques pour la détection d'obstacles

- Interface utilisateur adaptée aux malvoyants
- Algorithmes de conversion et de correction de trajectoire

## ii. Avantages du système hybride

- Navigation précise à l'échelle centimétrique
- Détection fiable des obstacles (taux de 95%)
- Autonomie accrue des utilisateurs
- Adaptabilité à différents environnements

Cette approche représente une évolution significative par rapport aux solutions existantes, offrant une réponse plus complète aux besoins de mobilité des personnes malvoyantes.

## 3. Objectifs et cahier des charges

Dans notre travail, nous devons faire en sorte que le malvoyant effectue un trajet simple communiqué qui lui est sûr, donc un trajet qui se fait à partir d'un message audio pour aboutir à la fin par différentes phases. Ces différentes phases expliquées par le schéma du diagramme d'activité de conception:

- **Conversion** : Au départ, le malvoyant donne la destination sous forme qui sera ensuite transcrite en texte. Ce texte sera traité pour déterminer les coordonnées GPS du lieu final.
- **Détermination du trajet** : On essaie de déterminer la position actuelle. On a déjà obtenu la position de destination. A partir de ces 02 données, on déduit le trajet. Le trajet est interprété en une suite d'instructions.
- **Guidage contrôlé** : La suite d'instructions est communiquée sous forme vocale. Il s'agit d'une boucle d'instructions à suivre afin d'arriver à la position finale. Et lorsqu'un obstacle est détecté, un avertissement indique à l'utilisateur la distance entre cet obstacle et lui est donné en boucle.

Afin de lancer le projet RTK, le dispositif doit satisfaire un ensemble de conditions vis-à-vis de l'Ecole Nationale Supérieure Polytechnique de Yaounde.

### **1. Fonctionnalités :**

- a. Le dispositif doit permettre à un aveugle de ne pas se heurter à des obstacles.
- b. Le dispositif doit permettre de calculer un trajet en connaissant une destination et une position en temps réel.
- c. Il faut pouvoir communiquer des instructions à des personnes.

### **2. Généralités :**

- a. Ce projet ne doit être un danger pour les personnes qui en seront équipées.
- b. Les instructions vocales doivent être claires pour le malvoyant
- c. Il faut un visuel pour toujours voir la trace du point mobile et du point de destination

### **3. Conditions :**

- a. Un lieu assez espacé pour la base RTK
- b. Un environnement sans objets réfléchissants qui peuvent influencer les signaux GNSS.

## **II. Planification des tâches**

### **1. Division des équipes et répartition des rôles**

L'équipe est constituée de 10 étudiants de l'Ecole Nationale Supérieure Polytechnique de Yaoundé. Dans ce cadre, la division des équipes est essentielle pour organiser efficacement les tâches du projet et garantir son succès. Ce qui suit est la description de la répartition des rôles pour le projet de système de navigation autonome :

#### **Équipe de gestion de projet :**

##### **a. Responsable de la supervision du projet (MEKIAGE Olivier) :**

- Supervise l'ensemble du projet, coordonne les équipes et assure la communication avec les parties prenantes.
- Contrôle la satisfaction des besoins métier.
- S'assure que le système respecte les normes et les spécifications.

##### **b. Responsable de la documentation (FEZEU Fredy) :**

- Coordonnent la rédaction des manuels d'utilisation et les guides pour les utilisateurs.
- S'assurent de la prise de notes et de la rédaction des rapports du projets

##### **c. Responsable des tests et validation (KUATE Brayan) :**

- Vérifient les performances du système en simulation et sur le terrain.
- Supervise les tests d'intégration matériel/logiciel et assure leur conformité.
- Gère les demandes des utilisateurs finaux et les retours après déploiement.

#### **Équipe technique (développement matériel et logiciel) :**

##### **a. Responsable matériel (Nguepssi Brayanne) :**

- Supervise les choix des capteurs (RTK, ultrasons) et leur intégration.
- Programme les microcontrôleurs.
- Formalise les contrats de communication avec le logiciel

**b. Responsables logiciels (KOUASSI Bryan & VUIDE Jordan) :**

- Conçoit et intègre les algorithmes de traitement des données (calculs des trajectoires, détection d'obstacles).
- Crée de l'application mobile Android et des interfaces utilisateur.
- Formalise les contrats de communication avec le matériel

## 2. Planning général du projet

Ce projet suivra dans ce cadre, un ordre d'exécution des tâches afin d'assurer sa réalisation complète.

<b>Etape</b>	<b>Description</b>	<b>Durée estimée</b>	<b>Jalon</b>
Phase de conception	Étude de faisabilité, rédaction des spécifications	4 semaines	Spécifications validées
Architecture système	Définition des diagrammes UML	1 semaine	Architecture validée
Développement matériel	Installation de la base RTK et prise en main de son logiciel de gestion. Prise en main, vérification des capteurs ultrasons.	1 semaine	Système RTK fonctionnel
Développement logiciel	Algorithmes, application Android, interfaces	3 semaines	Logiciel fonctionnel
Intégration logiciel et matériel	Intégration et communication entre les modules matériels et logiciels	2 semaines	Système de guidage fonctionnel
Tests et validation	Simulations et tests sur le terrain	2 semaines	Tests réussis
Documentation	Rédaction des manuels et guides d'utilisation	1 semaine	Documentation livrée
Livraison et déploiement	Livraison du système complet	2 semaine	Projet livré

**Table 2 : *Planning général du projet***

La durée totale du projet est donc évaluée à environ 16 semaines ~ 4 mois.

### 3. Outils de gestion de projet

Pour mener à bien ce projet, certains outils nous permettent de planifier, suivre, et collaborer efficacement. Voici ceux qui nous accompagnent pendant ce projet :

- **Outils de communication** : *Whatsapp*, est une application mobile multiplateforme qui fournit un système de messagerie instantanée chiffrée de bout en bout aussi bien via les réseaux de téléphonie mobiles que par Internet.
- **Outils de représentation des diagrammes** : *DrawIO*, est un logiciel de dessin graphique multiplateforme développé en HTML5 et JavaScript.
- **Outils de gestion de versions** : *GitHub*, est un gestionnaire des versions du code source et collaboration sur le développement.
- **Outils de rédaction et de documentation** : *Google Doc*, est un logiciel de traitement de texte basé sur le Web qui permet de créer et de modifier des documents en ligne et de travailler en équipe, en temps réel.



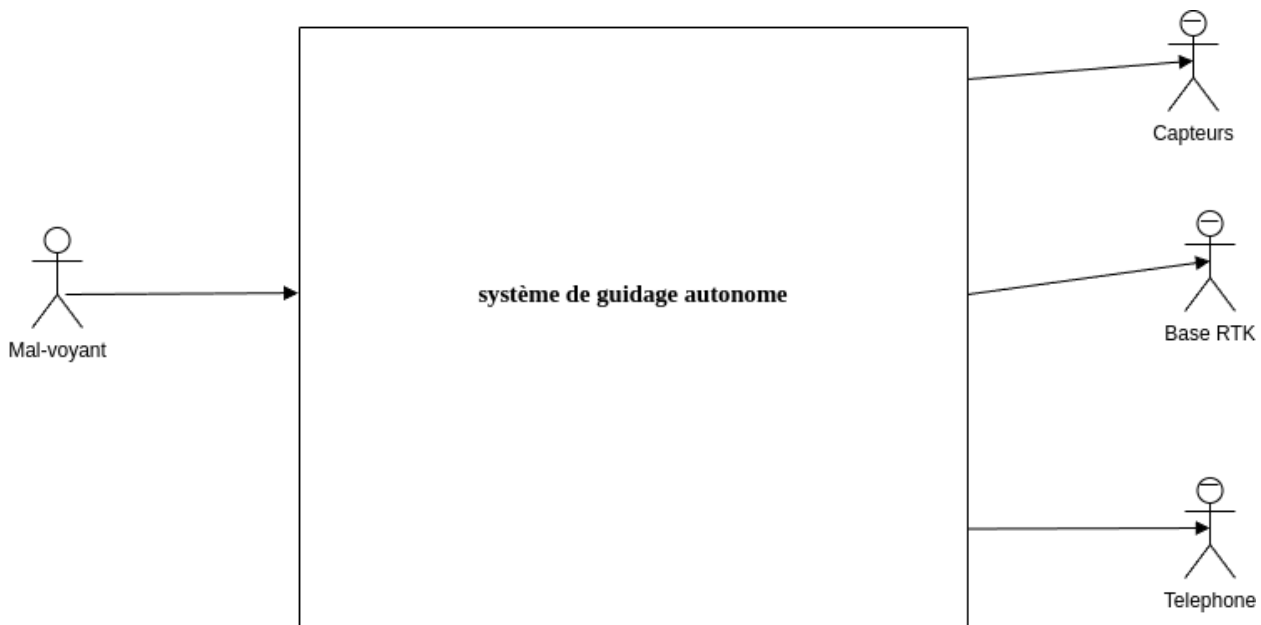
# III. Conception technique

## 1. Diagrammes UML

### a. Structure du système

#### i. Diagramme de contexte

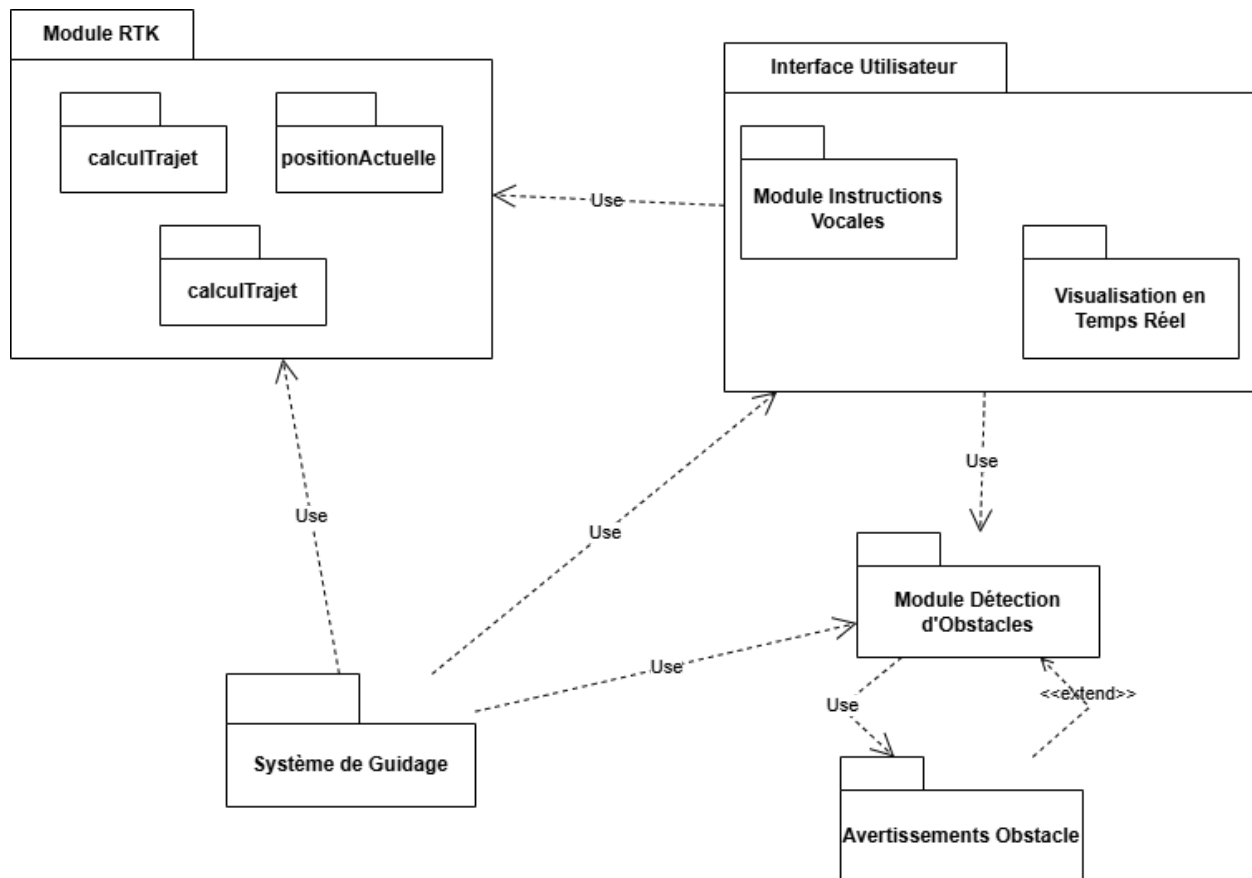
L'utilisateur qui porte le téléphone équipé des capteurs et interagit avec le système via des retours vocaux ou haptiques. Le dispositif utilisé par le malvoyant pour envoyer sa position à la base RTK et recevoir des instructions ou des alertes concernant sa position. Le système qui reçoit les données envoyées par le téléphone, effectue la correction de la position, et renvoie la position exacte au téléphone.



**Figure 03 : *Diagramme de contexte***

## ii. Diagramme de package

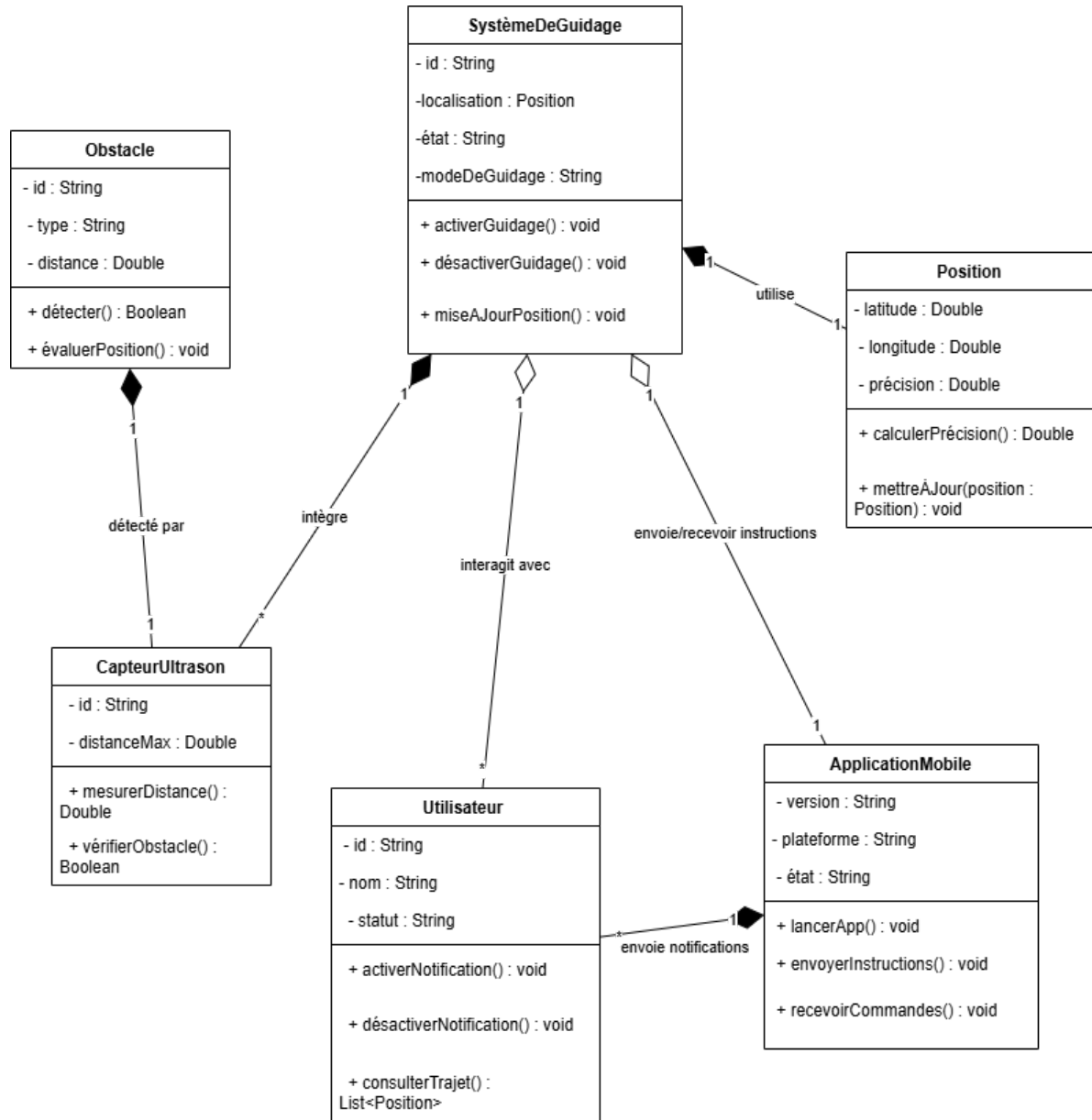
Ce diagramme de package représente l'architecture logicielle du système, en mettant en évidence la communication entre les différents composants nécessaires pour localiser le malvoyant, lui fournir des instructions et détecter les obstacles.



**Figure 04 : Diagramme de package**

### iii. Diagramme de classe métier

Un Malvoyant possède un téléphone qui envoie sa position à la Base RTK. que calcule et renvoie la position précise au Système Navigation.

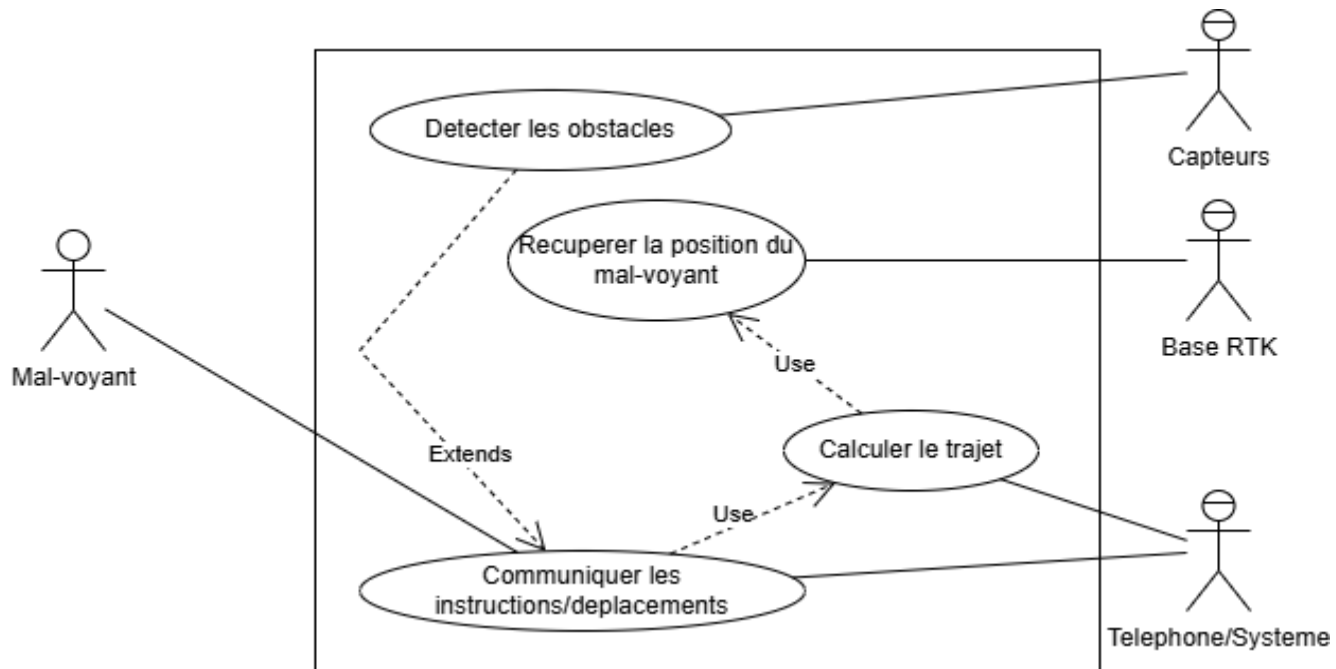


**Figure 05 :** *Diagramme de classe métier*

## b. Comportement du système

### i. Diagramme de cas d'utilisation

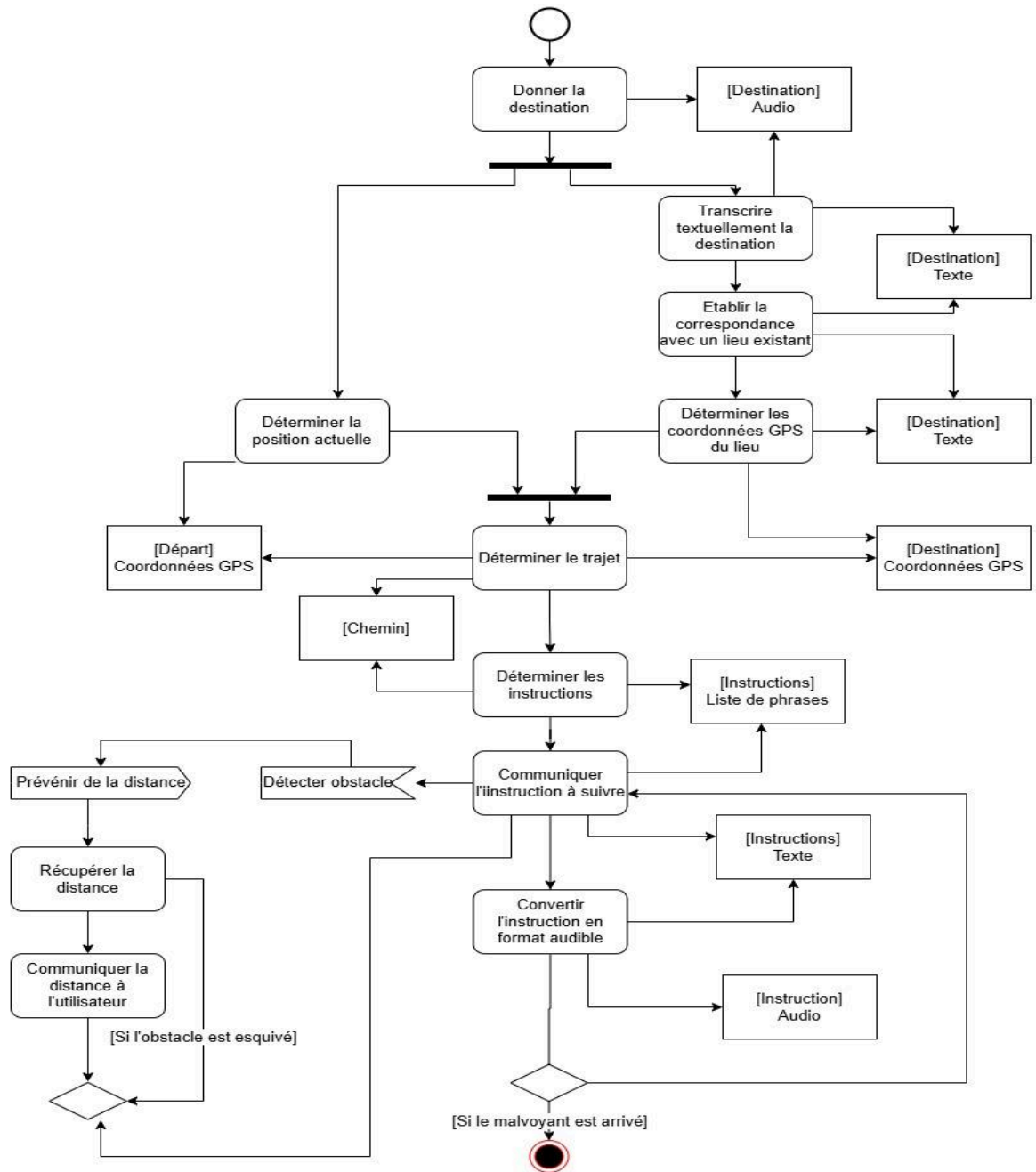
Nous déterminons le chemin optimal entre un point de départ et une destination pour guider le malvoyant par audio sur le trajet optimal.



**Figure 06 :** *Diagramme de cas d'utilisation*

## ii. Diagramme d'activité

Le diagramme d'activité décrit les différentes étapes, actions, décisions et objets du processus. Chaque action représente une tâche que le système ou l'utilisateur doit effectuer. Les décisions sont des points où un choix est fait, déterminant l'orientation du flux.

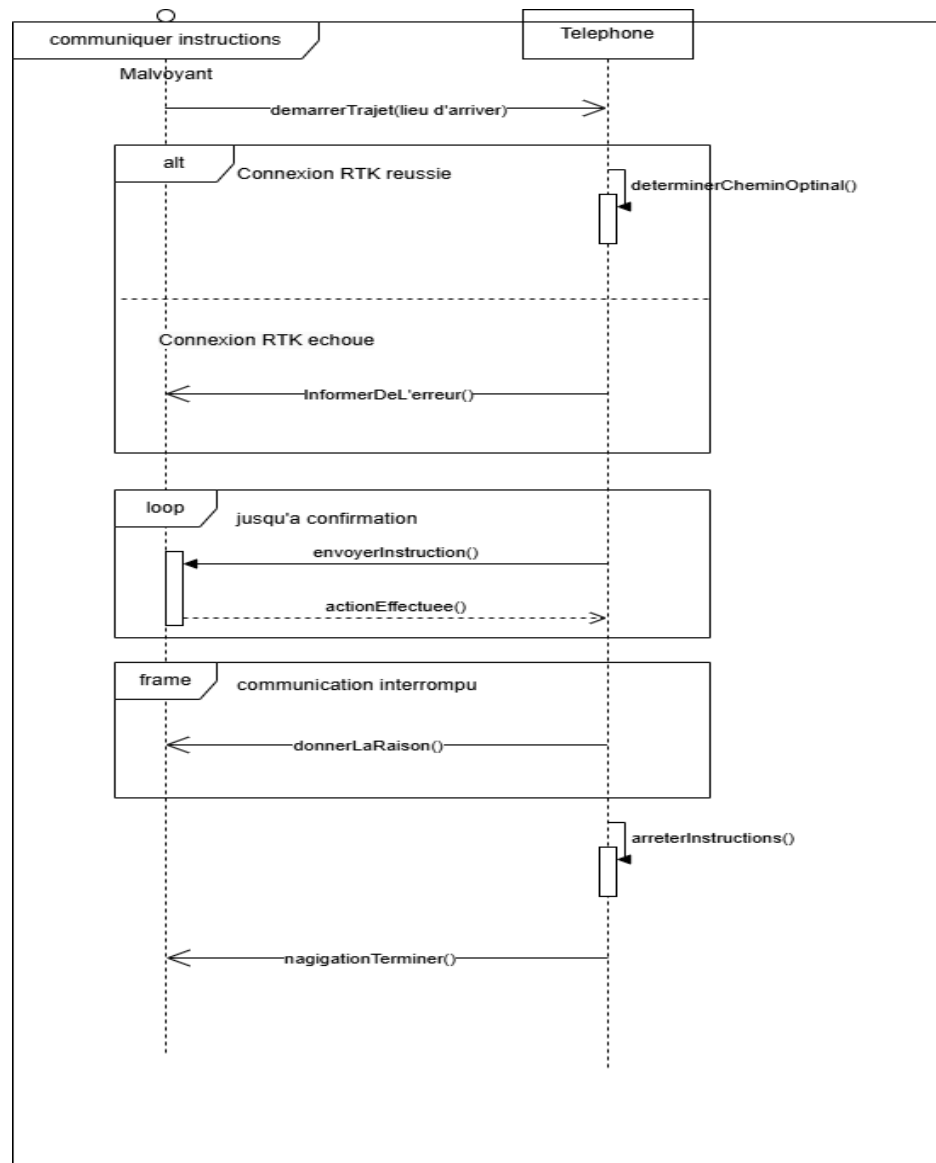


**Figure 07 : Diagramme d'activité**

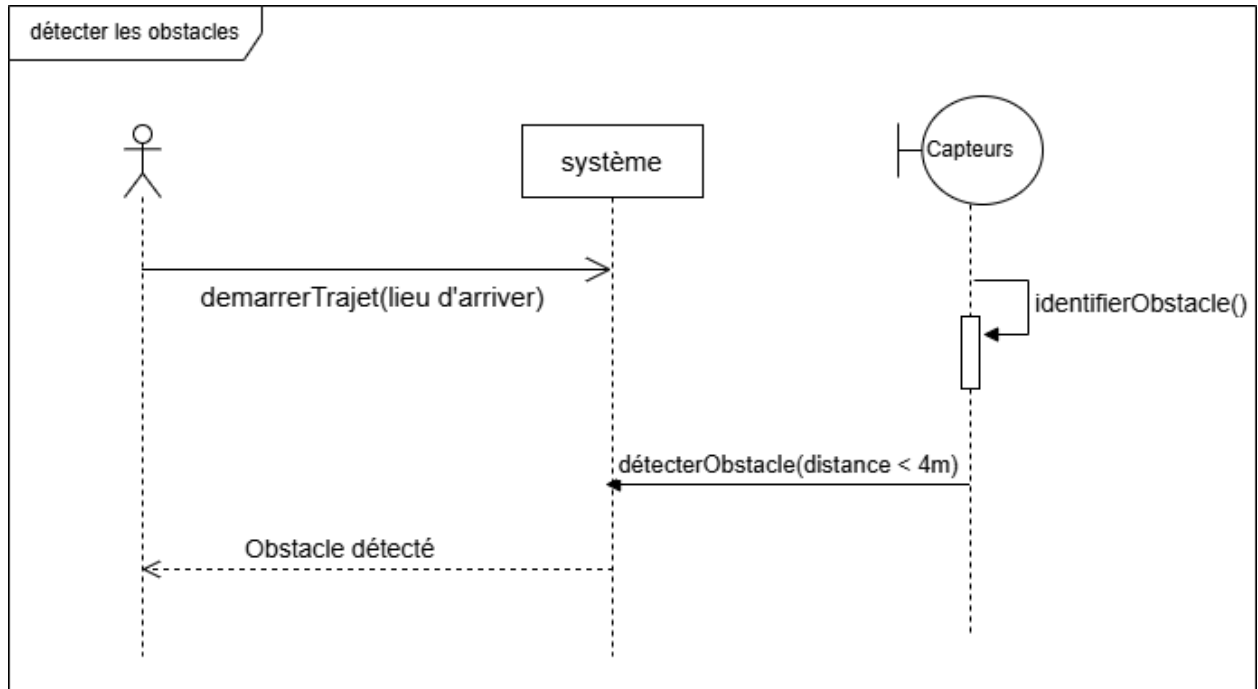
## c. Vue technique du système

### i. Diagramme de séquence système

Ici, nous avons le diagramme de description système globale entre le malvoyant et le téléphone qui présente la communication.



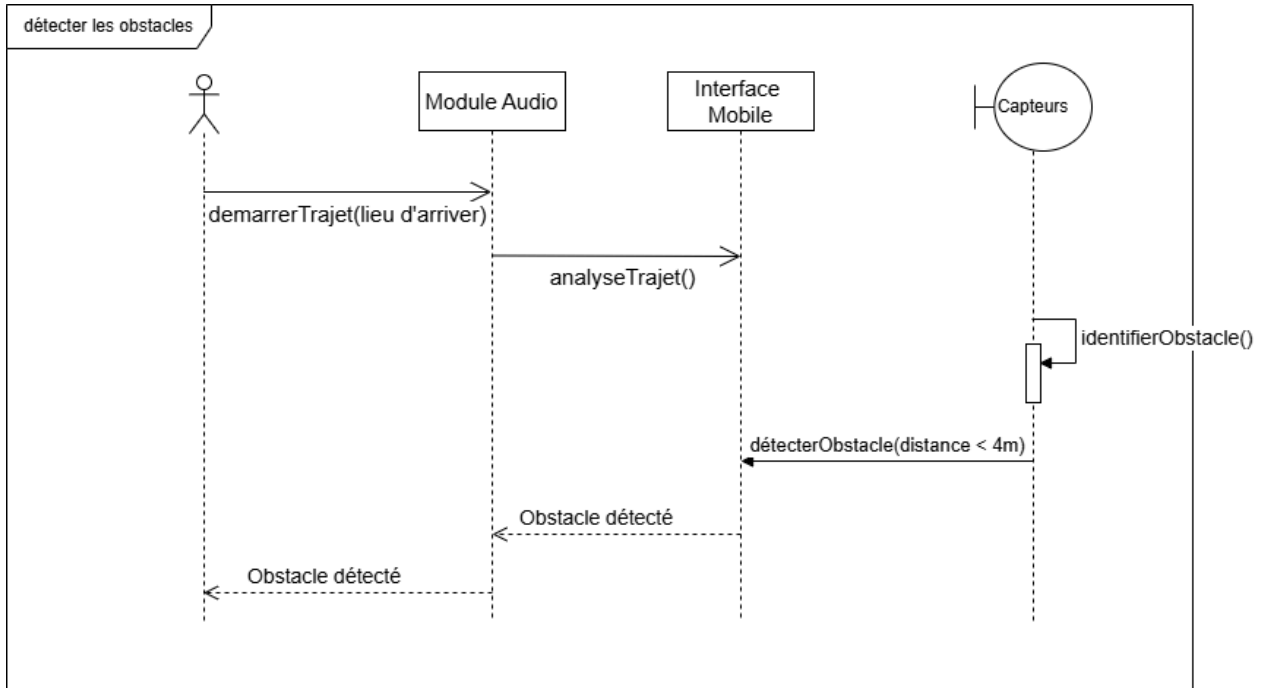
**Figure 08 :** *Diagramme de séquence système Description globale*



**Figure 09 :** *Diagramme de séquence système Détecter les obstacles*

## d. Interaction dans le système

### i. Diagramme de séquence technique

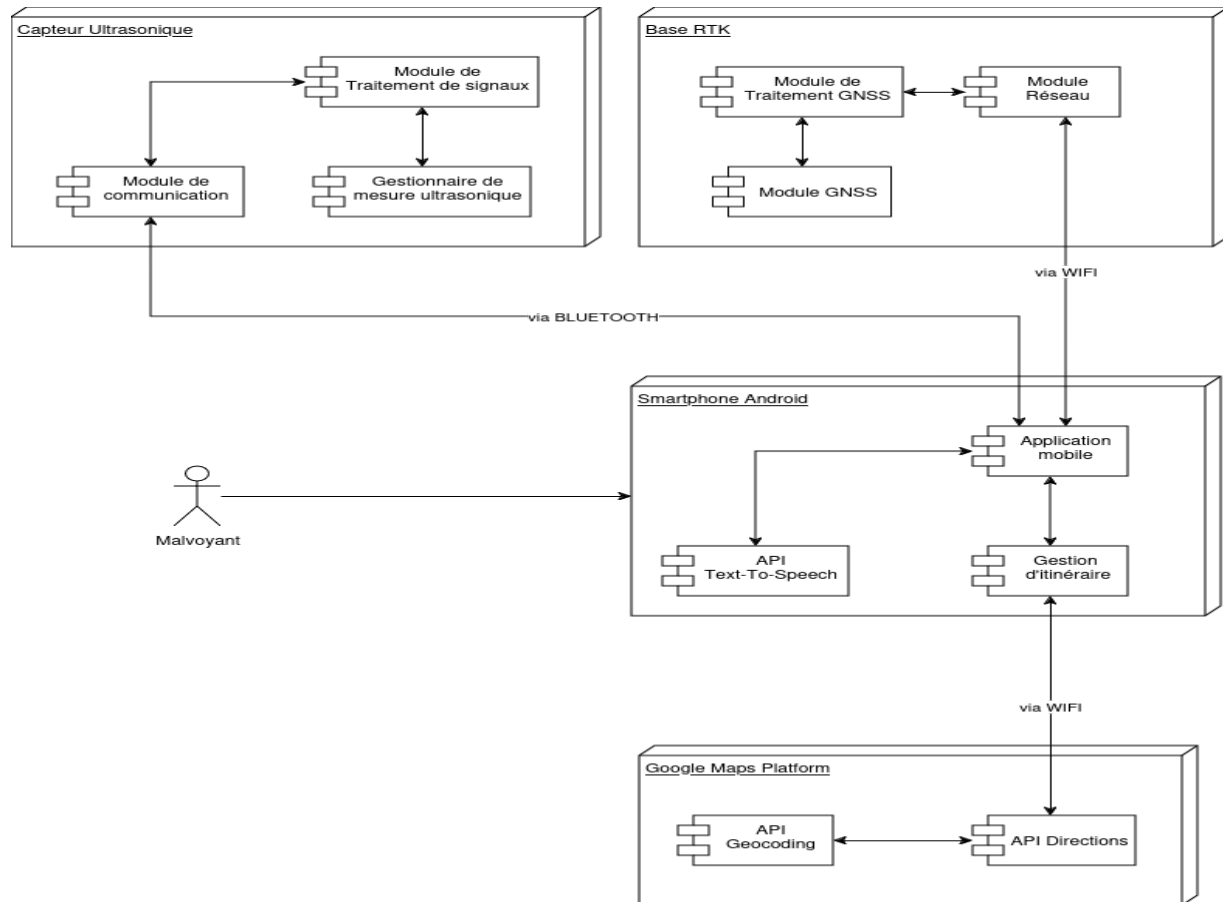


**Figure 10** : *diagramme de séquence technique*



## e. Déploiement

Un diagramme de déploiement décrit la disposition physique des ressources matérielles qui composent le système et montre la répartition des composants sur ces matériels. Chaque ressource étant matérialisée par un nœud, le diagramme de déploiement précise comment les composants sont répartis sur les nœuds et quelles sont les connexions entre les composants ou les nœuds.



**Figure 11 : Diagramme de déploiement**

## 2. Détails techniques

### a. Système RTK et base GNSS

#### i. Description du système

Le système RTK (Real-Time Kinematic) est une technologie de correction de positionnement GNSS (Global Navigation Satellite System) qui permet d'obtenir une précision centimétrique en temps réel. Il repose sur l'utilisation d'une station de référence (base GNSS) qui envoie des corrections différentielles à un récepteur mobile (rover) via un canal de communication (radio UHF, GSM, ou internet).

Dans notre projet, ce système est intégré à une solution d'aide à la mobilité destinée aux personnes malvoyantes. Grâce aux corrections RTK, le dispositif pourra fournir des indications précises de navigation en temps réel, facilitant ainsi les déplacements en milieu urbain ou complexe.

#### ii. Spécifications techniques

#### Composants du Système

- **Base GNSS** : La base GNSS est équipée d'un récepteur multi-constellations prenant en charge les systèmes GPS, GLONASS, Galileo et BeiDou. Elle intègre une antenne GNSS de haute précision, accompagnée d'un plan de sol optimisé pour améliorer la réception du signal.
  - **Précision absolue** :  $< 2.5 \text{ mm} + 0.5 \text{ ppm}$  en horizontal
  - **Fréquence de mise à jour** : 1 à 20 Hz
  - **Alimentation** : stable, avec protection contre les intempéries
  
- **Rover (Unité Mobile)** : Le rover est conçu pour une mobilité optimale et une précision accrue en mode RTK. Il comprend :
  - Un récepteur GNSS multi-constellations compatible RTK
  - Une antenne GNSS compacte et robuste
  - Une **IMU (Inertial Measurement Unit)** intégrée pour assurer une navigation fiable en cas de perte temporaire du signal GNSS

- Une autonomie minimale de **8 heures** en utilisation continue
- Un poids inférieur à **300 g**, garantissant un confort d'utilisation

## Performance du Système

Le système RTK offre des performances élevées en termes de précision et de réactivité :

- **Précision horizontale (RTK) : 1 à 2 cm + 1 ppm**
- **Précision verticale (RTK) : 2 à 3 cm + 1 ppm**
- **Temps d'initialisation RTK : < 10 secondes**
- **Fiabilité de la solution : > 99,9 %**
- **Portée maximale : jusqu'à 10 km de la base dans des conditions optimales**

## Communication (Transmission des corrections)

Les corrections RTK peuvent être transmises via deux principaux canaux :

- **Radio UHF**
  - **Fréquence : 410-470 MHz**
  - **Puissance : 0.5-2W**
  - **Portée : jusqu'à 5 km en ligne de vue**
- **Internet Mobile**
  - **Technologies supportées : 4G/5G avec basculement sur 3G en cas de besoin**
  - **Protocole utilisé : NTRIP**
  - **Latence : < 50 ms**
  - **Format des corrections : RTCM 3.x**

## Interface Utilisateur

L'interface utilisateur a été conçue pour une interaction intuitive et accessible :

- **Retours d'information :**
  - **Audio** : instructions vocales et alertes sonores
  - **Vibrations haptiques** pour les retours tactiles
  - **Interface tactile simplifiée**
- **Indicateurs d'état :**
  - Qualité du positionnement RTK
  - État de la connexion aux corrections
  - Niveau de batterie
  - Statut général du système

## Environnement d'Utilisation

Le système est conçu pour fonctionner dans des conditions variées et contraignantes :

- **Température de fonctionnement** : -20°C à +60°C
- **Indice de protection** : IP67 (étanche à la poussière et à l'eau)
- **Résistance aux chocs** : supporte une chute de 1.5 m sur béton
- **Adaptation aux environnements urbains denses :**
  - Gestion avancée des multi-trajets
  - Algorithmes de filtrage des interférences
  - Intégration d'une navigation inertielle de secours en cas de perte du signal

## **Logiciel et Traitement des Données**

Les algorithmes de navigation sont spécifiquement adaptés aux besoins des personnes malvoyantes :

- **Traitement avancé des données GNSS**
  - Filtrage des données brutes
  - Détection proactive des obstacles
  - Calcul dynamique des trajectoires optimisées
- **Mise à jour en temps réel**
  - Fréquence de mise à jour de la position : **10 Hz**
  - Latence totale du système : **< 100 ms**
- **Stockage des données**
  - Enregistrement des trajectoires
  - Historique des positions
  - Suivi des diagnostics système

## **Sécurité**

Le système intègre plusieurs mécanismes de sécurité pour garantir une utilisation fiable et sans risque :

- **Sécurisation des communications**
  - Cryptage des échanges de données
  - Authentification renforcée
- **Alertes et notifications**
  - Perte de signal RTK
  - Déviation de trajectoire
  - Obstacles détectés et Niveau de batterie faible

## Maintenance et Support

Le système RTK propose un ensemble d'outils facilitant la maintenance et le support technique :

- **Mise à jour du firmware OTA (Over-The-Air)**
- **Diagnostics à distance :**
  - Connexion via **SSH** à l'adresse IP **192.168.1.120**
  - Accès via l'interface web **basegnss.local** (nécessite d'être connecté au même réseau que la base)
- **Support technique disponible 24/7**
- **Documentation complète**
  - Manuel utilisateur détaillé
  - Guide de déploiement
  - Procédures de maintenance

### iii. Installation et mise en oeuvre

L'installation et la mise en oeuvre de la base RTK sont des étapes essentielles pour garantir la précision et la fiabilité du système. Voici un détail de ces processus:

- **Choix de l'Emplacement :** Pour garantir une réception optimale et une stabilité du signal, l'emplacement de la base RTK doit respecter les critères suivants :
  - **Position surélevée** offrant une vue dégagée sur le ciel pour maximiser la réception des satellites.
  - **Zone stable**, sans vibrations, afin d'éviter toute perturbation du signal.
  - **Alimentation électrique sécurisée** pour assurer un fonctionnement continu.

- **Couverture réseau optimale**, en cas d'utilisation de corrections via Internet (NTRIP).
- **Procédure d'Installation**
  - **Montage** : fixer la base RTK sur un support stable, tel qu'un trépied géodésique ou une fixation permanente.
  - **Nivellement** : s'assurer que l'antenne est parfaitement horizontale afin d'optimiser la précision des mesures.
  - **Mesure de la hauteur d'antenne** : relever précisément la hauteur de l'antenne par rapport au sol ou au point de référence.
  - **Orientation** : aligner correctement l'antenne en direction du nord pour une cohérence des relevés.
- **Configuration Initiale**
  - **Détermination des coordonnées précises** de la base RTK pour garantir un positionnement de référence fiable.
  - **Paramétrage du récepteur** selon les spécifications du système.
  - **Configuration du système de transmission** en fonction du mode choisi :
    - **Radio UHF** : réglage des fréquences et de la puissance d'émission.
    - **NTRIP** : paramétrage de la connexion Internet et des identifiants du service de correction.
  - **Vérification de la couverture de transmission** pour s'assurer d'une diffusion optimale des corrections RTK.

#### iv. Logiciel associé

Le logiciel associé au système RTK est conçu pour offrir une navigation intuitive aux utilisateurs malvoyants tout en permettant une gestion efficace de la base GNSS. Il se compose de plusieurs modules adaptés aux besoins spécifiques des utilisateurs et des administrateurs.

- **Application Mobile Principale**

L'application mobile est l'interface utilisateur principale, optimisée pour l'accessibilité et la navigation assistée.

- **Interface Utilisateur**

- **Mode malvoyant** avec affichage à contraste élevé pour une meilleure lisibilité.
    - **Commandes vocales** permettant une interaction mains libres.
    - **Navigation tactile** simplifiée et intuitive.
    - **Raccourcis personnalisables** pour un accès rapide aux fonctions essentielles.

- **Fonctionnalités de Navigation**

- **Guidage en temps réel** avec indications précises.
    - **Détection d'obstacles** pour éviter les dangers potentiels.
    - **Calcul d'itinéraires adaptés** en fonction de l'environnement et des besoins de l'utilisateur.
    - **Accès aux points d'intérêt** pertinents pour les personnes malvoyantes.

- **Logiciel de Gestion de la Base**

Ce module permet de superviser le bon fonctionnement de la base RTK et d'ajuster ses paramètres en temps réel.

- **Surveillance du statut du système** en temps réel.
  - **Gestion des corrections RTK** pour assurer une précision optimale.
  - **Configuration des paramètres de transmission** (Radio UHF ou NTRIP).
  - **Journal des événements** pour le suivi des performances et la détection d'éventuels incidents.



- **API et Intégrations**

Pour faciliter l'interopérabilité avec d'autres systèmes et permettre le développement de nouvelles applications, une API complète est mise à disposition.

- **Documentation détaillée** pour une intégration rapide.
- **Exemples de code** facilitant la mise en œuvre des fonctionnalités.
- **SDK pour développeurs** offrant des outils adaptés aux différentes plateformes.
- **Outils de test et validation** pour assurer la robustesse des intégrations.

## **b. Capteurs ultrasons**

### **i. Description du système**

Les capteurs ultrasons sont des dispositifs capables de détecter des obstacles en mesurant la distance qui les sépare d'un objet grâce à des ondes sonores à haute fréquence. Dans le cadre de ce projet, ces capteurs sont intégrés à un dispositif de guidage intelligent destiné aux personnes malvoyantes.

Le système fonctionne en complément du RTK GNSS, en offrant une assistance en temps réel pour éviter les obstacles proches qui ne seraient pas pris en compte par la navigation satellite. Lorsqu'un obstacle est détecté à une distance critique, le dispositif alerte l'utilisateur par des vibrations ou un retour audio, facilitant ainsi un déplacement sûr et fluide.

### **ii. Spécifications techniques**

Les objectifs techniques à obtenir sont les suivants :

- Plage de détection : 2 cm à 4 m (selon le capteur utilisé, ex. HC-SR04, SRF05)
- Fréquence d'émission : 40 kHz
- Précision :  $\pm 1$  cm

- Angle de détection : 15 à 30 degrés
- Tension d'alimentation : 3,3V à 5V
- Mode de communication : UART, I2C ou signal PWM
- Type d'alerte : retour haptique (vibrations) ou audio (écouteurs, haut-parleur)

### iii. Installation et mise en oeuvre

#### Intégration des Capteurs

- Positionner les capteurs sur une canne électronique ou un dispositif portable (ex. bracelet connecté, harnais).
- Connecter les capteurs à un microcontrôleur (Arduino, ESP32, Raspberry Pi) chargé de traiter les signaux et d'envoyer des alertes.
- Configurer l'algorithme de détection des obstacles, en tenant compte de la distance et de la vitesse de déplacement de l'utilisateur.

#### Tests et Calibration/Logiciel associé

- Effectuer des tests en conditions réelles pour ajuster les seuils de détection et minimiser les fausses alertes.
- Vérifier la compatibilité avec le système RTK GNSS pour une navigation fluide et précise.
- Adapter les signaux d'alerte (intensité des vibrations, volume sonore) en fonction du niveau d'urgence.
- Utiliser des outils comme **Serial Monitor** (Arduino IDE) ou des graphiques sur des plateformes comme **Processing** ou **MATLAB** pour afficher en temps réel les distances mesurées et la réponse du système.

## **c. Module de guidage**

### **i. Description du système**

Le système de guidage est une solution embarquée destinée à assister les personnes malvoyantes dans leur navigation en milieu urbain et semi-urbain. L'application mobile utilise des données en temps réel provenant de capteurs (RTK, ultrasons) et de services de cartographie (OpenStreet Maps API) pour fournir des instructions vocales précises à l'utilisateur.

### **Fonctionnalités principales :**

- Interaction vocale pour définir une destination ou recevoir des mises à jour en temps réel.
- Calcul et suivi de l'itinéraire optimal jusqu'à la destination.
- Identification et évitement des obstacles.

### **ii. Spécifications techniques**

Pour garantir une performance optimale, plusieurs choix techniques ont été effectués. L'application est développée en Kotlin, un langage adapté aux environnements Android. Elle s'appuie sur des bibliothèques et des SDK performants, tels que :

- **Google Maps SDK**, pour générer et afficher les itinéraires.
- **Android Text-to-Speech API**, pour convertir les instructions en commandes vocales claires.

Les exigences minimales incluent un smartphone sous Android 8.0 ou une version ultérieure, une connexion Bluetooth pour l'intégration avec les capteurs, ainsi qu'un accès Internet pour la cartographie. Le système est optimisé pour offrir des délais de réponse inférieurs à une seconde et garantir une précision de guidage de l'ordre de  $\pm 10$  cm, grâce au capteur RTK.

### iii. Installation et mise en oeuvre

L'installation et la mise en œuvre de l'application se déroulent en trois étapes principales :

1. **Déploiement de l'application** : L'utilisateur peut installer l'application via un fichier APK ou le Play Store. Une fois installée, elle se connecte aux capteurs via Bluetooth.
2. **Configuration initiale** : Cette étape comprend la synchronisation des capteurs et un test de reconnaissance vocale pour s'assurer que l'application comprend correctement les commandes de l'utilisateur, même avec un accent spécifique.
3. **Utilisation au quotidien** : L'utilisateur peut entrer une destination par commande vocale. L'application calcule le trajet, surveille les obstacles et fournit des mises à jour vocales en temps réel pour assurer un déplacement en toute sécurité.

## IV. Réalisation du projet

### 1. Partie matérielle : installation et configuration

#### a. Installation de la base RTK

##### i. Matériel requis pour la base RTK :

- Une analyse approfondie des spécifications matérielles a été réalisée pour garantir l'efficacité et la compatibilité des composants.
- Les éléments suivants ont été identifiés et listés, avec une estimation de leur coût :

Matériels	Prix HT (en XAF)
Raspberry Pi 4 LTS	Déjà disponible
Micro SD 32Go (Carte déjà disponible) et port-carte	1,000
Alimentation (câble)	122,500
Cordon USB	2,000
Câble antenne SMA mâle à TNC mâle (3 m)	Déjà disponible
Câble Ethernet RJ45 (longueur adaptée)	Déjà disponible
Boîte étanche JE-200	65,000
Injecteur PoE	20,000
<b>Toal des dépenses</b>	<b>210,500</b>

**Table 3 : Liste des matériels**

- En cas d'absence de prise 230V à proximité, l'utilisation de **POE (Power Over Ethernet)** a été envisagée pour simplifier l'installation et l'alimentation de la base via le câble Ethernet.

#### ii. Logiciel Open Source RTKBase :

- Installation et préparation du logiciel **RTK Base** sur un **Raspberry Pi 4 LTS**, qui servira de base GNSS.
- Étude des fonctionnalités de RTK Base pour configurer la transmission des corrections via un réseau Internet.

#### iii. Assemblage de la base RTK :

- Montage des composants matériels :
  - ★ Installation du dissipateur de chaleur pour optimiser la performance du processeur.
  - ★ Raccordement des câbles d'antenne et Ethernet en tenant compte des contraintes de longueur et de qualité.
- Intégration dans une boîte étanche JE-200 pour protéger l'ensemble des composants des conditions extérieures.

#### iv. Choix du récepteur GNSS :

- Évaluation des options bi-fréquences et tri-fréquences disponibles.
- Sélection du récepteur en fonction des besoins spécifiques de la zone d'installation et des possibilités de raccordement réseau.

## 2. Partie logicielle : développement et tests

### a. Algorithme de navigation et gestion des capteurs

L'algorithme de fusion de données constitue le cœur du système, assurant l'intégration des données RTK GNSS avec les informations de l'IMU via un filtre de Kalman adaptatif. Cette approche garantit un positionnement précis même lors de pertes temporaires du signal RTK.

La communication avec le module de détection d'obstacles repose sur une liaison Bluetooth Low Energy optimisée. Le protocole développé assure une transmission fiable des données tout en minimisant la consommation énergétique. Un système de buffer intelligent permet de gérer les éventuelles interruptions de connexion sans perte d'information critique.

Le traitement des données issues des capteurs s'effectue en temps réel, avec une priorisation dynamique des alertes selon le contexte d'utilisation. Les algorithmes de filtrage réduisent significativement les fausses détections tout en maintenant un niveau de réactivité optimal.

L'algorithme inclut :

- **Acquisition des données GNSS** : Utilisation de **RTKLib** pour les corrections RTK.
- **Gestion des capteurs** : Traitement des données de distance et ajustement des alertes selon les obstacles.
- **Optimisation en temps réel** : Suivi de la trajectoire et ajustement dynamique des alertes, avec l'IMU et Kalman.

Une IMU est un dispositif électronique qui combine plusieurs capteurs pour mesurer :

- L'accélération (avec des accéléromètres)
- La rotation (avec des gyroscopes)
- Parfois l'orientation magnétique (avec des magnétomètres)

C'est comme avoir un système d'équilibre sophistiqué qui peut détecter tous les mouvements. Dans notre contexte, l'IMU est cruciale car elle permet de :

- Maintenir le suivi de position quand le signal GNSS est momentanément perdu (sous un pont par exemple)
- Détecter les mouvements précis de l'utilisateur
- Améliorer la précision globale du système

Le filtre de Kalman est un algorithme mathématique qui agit comme un "cerveau" qui combine intelligemment différentes sources d'information. Dans notre cas, il fusionne :

- Les données de position du GNSS
- Les mesures de mouvement de l'IMU

Son principe de base est de :

- Prédire où devrait être l'utilisateur basé sur son mouvement (données IMU)
- Comparer cette prédiction avec la position GNSS réelle
- Calculer la position la plus probable en tenant compte des incertitudes de chaque capteur

## **b. Développement de l'application mobile**

L'application mobile s'appuie sur une interface entièrement repensée pour les utilisateurs malvoyants. L'accent est mis sur l'accessibilité avec des commandes vocales intuitives et des retours haptiques personnalisables, permettant une utilisation fluide du système.

Le cœur fonctionnel de l'application gère l'ensemble des paramètres du système RTK et des connexions Bluetooth. Une attention particulière est portée à la robustesse des connexions et à la configuration intuitive des différents modes de guidage.



La gestion des données utilisateur s'effectue de manière sécurisée, avec un stockage local optimisé des paramètres et configurations. L'historique des parcours est conservé de manière structurée, facilitant l'analyse ultérieure des déplacements.

Les fonctionnalités incluent :

- **Carte interactive** : Affichage de la position en temps réel (OpenStreetMap).
- **Alertes** : Sonores fonction de la proximité des obstacles.
- **Communication avec la base RTK et capteurs** : Connexion via Bluetooth/Wi-Fi pour récupérer les données GNSS et capteurs.

### c. Intégration des différents modules

L'architecture système adopte une approche modulaire, facilitant les évolutions futures et la maintenance. Les interfaces entre composants sont standardisées et documentées de manière exhaustive, assurant une intégration harmonieuse des différentes briques logicielles.

La phase de tests d'intégration valide rigoureusement l'ensemble des interactions entre modules, avec une attention particulière portée à la communication Bluetooth et aux performances du système RTK. Des scénarios de tests complets permettent de valider la robustesse du système dans différentes conditions d'utilisation.

Le déploiement du système s'appuie sur des procédures standardisées et documentées. Les outils de diagnostic intégrés facilitent la maintenance préventive, tandis que le système de mise à jour à distance assure l'évolution continue des fonctionnalités.

## V. Bilan et retours d'expérience

### 1. Points positifs et difficultés rencontrées

Lors de la mise en place du système RTK, nous avons rencontré de nombreuses difficultés techniques et logistiques qui ont ralenti notre progression et compliqué le bon déroulement des opérations. L'un des premiers obstacles fut la préparation et la connexion des câbles Ethernet, une étape qui s'est avérée bien plus laborieuse que prévu. Le sertissage des câbles nécessitait une précision extrême pour garantir une transmission stable des données, et chaque erreur dans l'agencement des fils à l'intérieur des connecteurs RJ45 entraînait des dysfonctionnements, nous obligeant à recommencer plusieurs fois. De plus, nous avons rapidement constaté que la longueur initiale des câbles était insuffisante pour couvrir la distance entre les équipements, ce qui nous a forcés à rallonger les câbles existants. Cette extension a nécessité l'utilisation de manchons et de dominos pour assurer une connexion fiable, mais leur disponibilité sur le marché s'est révélée être un problème en soi, nous obligeant à chercher différents fournisseurs pour obtenir le bon matériel.

Outre ces problèmes liés au câblage réseau, nous avons également dû faire face à des difficultés pour nous procurer certains composants essentiels à l'amplification du signal, notamment l'injecteur PoE qui permettait d'alimenter l'antenne et d'optimiser la qualité des transmissions. La rareté de ces composants nous a contraints à multiplier les recherches et à contacter plusieurs distributeurs, ce qui a considérablement retardé l'avancement du projet. Par ailleurs, le coût élevé des câbles électriques s'est avéré être un frein supplémentaire, nous obligeant à faire des choix stratégiques pour optimiser leur utilisation tout en respectant les contraintes budgétaires. Le rallongement des câbles électriques était lui aussi une tâche complexe, car il impliquait des connexions soignées et bien protégées pour éviter les pertes de courant ou d'éventuels risques de court-circuit.

L'installation physique de la base RTK a également posé son lot de défis. Fixer solidement la base sur une barre de fer a nécessité des travaux de soudure qui se sont révélés plus difficiles que prévu. Le métal utilisé étant particulièrement résistant, la fusion avec les éléments de fixation demandait un matériel adapté et un savoir-faire technique précis. Nous avons dû faire plusieurs essais avant d'obtenir une fixation stable et sécurisée, capable de résister aux vibrations et aux conditions climatiques extérieures. Ce travail délicat a nécessité patience et

minutie, car toute erreur pouvait compromettre la stabilité et la durabilité de l'installation.

Malgré tous ces obstacles, nous avons finalement réussi à surmonter ces défis et à mener à bien l'installation du système RTK. Grâce à une persévérance constante et une approche méthodique, nous avons pu connecter tous les éléments nécessaires, stabiliser les transmissions de données et assurer une alimentation fiable pour l'ensemble du dispositif. L'aboutissement de ce projet a été le fruit d'un effort collectif, où chaque problème rencontré a été une occasion d'apprentissage et d'amélioration. Au final, bien que les conditions aient été particulièrement éprouvantes, nous avons réussi à installer correctement le système et à le rendre fonctionnel, prouvant ainsi que la rigueur et la détermination sont essentielles dans la mise en œuvre de projets techniques de cette envergure.

Lors de la mise en place du système RTK, nous avons été confrontés à un problème majeur : l'absence de réception du signal malgré le fait que tout le matériel nécessaire, notamment le module u-blox F9P et le Raspberry Pi, était correctement alimenté et fonctionnel. Bien que nous ayons minutieusement vérifié les connexions, l'intégrité des composants électroniques et la configuration logicielle du système, nous n'avons pas pu obtenir les corrections RTK en raison des conditions environnementales défavorables. Cette absence de signal nous a contraints à repenser notre approche et à envisager diverses solutions pour surmonter cette difficulté, notamment en recherchant des emplacements plus appropriés pour installer la base RTK et maximiser la qualité du positionnement.

Face à cette contrainte technique, nous avons entrepris une série de tests sur plusieurs sites au sein de l'École Nationale Supérieure Polytechnique afin d'identifier une position optimale pour l'installation de la station de base RTK. Nous avons exploré différentes zones stratégiques du campus, en tenant compte de plusieurs critères tels que la visibilité du ciel, l'absence d'obstructions pouvant perturber la réception des signaux GNSS, ainsi que la proximité de sources potentielles d'interférences électromagnétiques. Ces tests nous ont permis d'évaluer empiriquement la qualité du signal en fonction de chaque emplacement, mais malgré ces efforts, nous avons rencontré des difficultés persistantes, notamment en raison de la densité des bâtiments et des obstacles naturels présents sur le site.

Notre objectif principal étant d'obtenir un positionnement centimétrique fiable, nous avons dû ajuster nos choix d'emplacement à plusieurs reprises. Nous avons privilégié les zones en hauteur, comme les toits de certains bâtiments, afin de limiter l'impact des obstacles environnants, mais ces choix ont soulevé d'autres défis, notamment en termes d'accès à l'alimentation électrique et de stabilité de l'installation. Par ailleurs, nous avons également testé des emplacements dégagés dans la cour et aux abords des infrastructures principales, mais la qualité du signal restait insuffisante pour garantir un fonctionnement optimal du RTK. Cette série d'expérimentations nous a permis de mieux comprendre les contraintes liées à l'installation d'un tel système en milieu urbain dense et a souligné l'importance cruciale du choix du site pour une base RTK fonctionnelle et efficace.

## **2. Améliorations envisagées**

Bien que l'installation du système RTK ait été menée à bien malgré les nombreux défis rencontrés, plusieurs améliorations peuvent être envisagées afin d'optimiser la fiabilité, la précision et la durabilité du dispositif. L'une des premières pistes d'amélioration concerne la gestion des câbles. Les difficultés liées au sertissage et au rallongement des câbles Ethernet et électriques pourraient être évitées en utilisant des câbles de longueur adaptée dès le départ. Une meilleure planification des distances et des points de connexion permettrait de limiter les extensions, réduisant ainsi les risques de perte de signal ou de mauvaise connexion. De plus, l'utilisation de connecteurs de meilleure qualité et d'outils de sertissage plus performants garantiraient une installation plus rapide et plus efficace.

En ce qui concerne l'alimentation du système, l'ajout d'un système de secours, comme une alimentation par batterie ou un onduleur, pourrait permettre d'éviter les interruptions en cas de coupure de courant. Actuellement, la stabilité du réseau dépend entièrement de l'alimentation électrique principale, ce qui représente un point de vulnérabilité. Un système de secours permettrait de maintenir le fonctionnement de la base RTK même en cas de panne temporaire, garantissant ainsi une meilleure continuité de service.

L'optimisation de l'emplacement de la base RTK est également une amélioration majeure à considérer. L'installation actuelle a été contrainte par les conditions locales et les contraintes d'espace, ce qui a limité les choix stratégiques. Une étude plus approfondie des emplacements disponibles, accompagnée de tests de réception du signal GNSS, permettrait d'identifier un site offrant une meilleure

visibilité du ciel et minimisant les interférences. L'idéal serait d'installer la base RTK sur un mât plus élevé, éloigné des bâtiments susceptibles de perturber le signal. Si l'installation sur le site actuel reste nécessaire, l'utilisation d'une antenne GNSS de meilleure qualité, avec un gain plus élevé et une meilleure capacité de filtrage des interférences, pourrait améliorer la précision des mesures.

Par ailleurs, la suite logicielle de post-traitement sera enrichie pour offrir des capacités d'analyse avancées. Les utilisateurs pourront visualiser les trajectoires empruntées sur une interface cartographique interactive, permettant une analyse détaillée des déplacements. Le système intégrera des outils statistiques sophistiqués pour évaluer la qualité du guidage et identifier les zones nécessitant une attention particulière. Les fonctionnalités d'export seront étendues pour supporter différents formats standards, facilitant l'interopérabilité avec d'autres systèmes d'analyse.

Les outils d'optimisation seront développés pour améliorer continuellement les performances du système. Une interface de calibration intuitive permettra d'affiner les paramètres du système en fonction des retours d'expérience. Les filtres de traitement des données GNSS seront personnalisables pour s'adapter aux conditions spécifiques d'utilisation, tandis que les algorithmes de navigation pourront être ajustés selon les besoins particuliers des utilisateurs.

Une plateforme web complète sera déployée pour centraliser la gestion du système. Le module d'administration offrira une gestion granulaire des droits utilisateurs et un suivi en temps réel des dispositifs déployés. L'historique d'utilisation sera conservé dans une base de données sécurisée, permettant une analyse approfondie des usages et l'identification précoce des besoins de maintenance.

Le tableau de bord évoluera vers une interface dynamique présentant l'état du système en temps réel. Les administrateurs pourront suivre les statistiques d'utilisation via des graphiques interactifs et recevoir des alertes personnalisées. Un système de reporting automatisé générera des rapports périodiques sur l'utilisation du système, les performances et les incidents éventuels.

Ces développements futurs s'inscrivent dans une démarche d'amélioration continue de la solution, visant à offrir une expérience toujours plus fiable et adaptée aux besoins des utilisateurs malvoyants.

Enfin, du côté logiciel, l'optimisation des paramètres du F9P et du Raspberry Pi pourrait permettre d'améliorer la stabilité et la précision du positionnement. L'intégration d'un système de monitoring à distance, via une interface web ou une application mobile, permettrait de surveiller en temps réel l'état du signal, la qualité des données reçues et les éventuels problèmes techniques. Cela faciliterait la maintenance et éviterait de devoir intervenir physiquement sur le site pour effectuer des vérifications de base.

En somme, bien que l'installation actuelle soit fonctionnelle, plusieurs améliorations peuvent être apportées pour optimiser la fiabilité, la précision et la maintenance du système RTK. Une meilleure gestion des câbles, une alimentation plus sécurisée, un positionnement plus stratégique de la base, une protection renforcée des équipements et une surveillance à distance sont autant de solutions qui permettraient d'améliorer significativement les performances du dispositif et de garantir une utilisation plus stable et efficace sur le long terme.

# VI. Perspectives et pérennisation

## 1. Maintenance et évolutions futures

### a. Maintenance du système

Le système de guidage développé nécessitera une surveillance régulière et une maintenance pour garantir son bon fonctionnement à long terme. La maintenance comprendra les éléments suivants :

- **Mises à jour logicielles** : Des mises à jour régulières de l'application mobile seront nécessaires pour corriger les bugs, améliorer l'expérience utilisateur et assurer la compatibilité avec les nouvelles versions d'Android.
- **Maintenance matérielle** : La base RTK et les capteurs ultrasoniques doivent être vérifiés périodiquement pour détecter d'éventuelles défaillances.
- **Support technique** : Un support utilisateur sera mis en place pour répondre aux demandes d'assistance concernant les problèmes matériels ou logiciels rencontrés. Cela inclut la gestion des erreurs d'installation ou de configuration des appareils. Il pourra s'agir d'une interface spécifique dans l'application mobile.

### b. Évolutions futures du système

Le système pourra évoluer de plusieurs manières :

- **Intégration de nouveaux types de capteurs** : L'intégration de nouvelles technologies de capteurs, telles que les capteurs LiDAR, pourrait être envisagée pour améliorer la détection d'obstacles dans des environnements complexes.
- **Conception d'un dispositif personnalisé** : Le module de guidage pourrait être téléversé dans un appareil personnalisé ayant par exemple la forme d'un casque et des extensions comme des bracelets ou d'autres accessoires pouvant être achetés le tout en un.
- **Évolution de l'interface utilisateur** : L'interface pourrait être enrichie en intégrant des éléments de réalité augmentée pour une simulation plus intuitive et interactive tels que des bottes haptiques, une communication plus fluide avec le système, etc., permettant à l'utilisateur d'avoir une meilleure perception des informations contextuelles.

- **Optimisation des algorithmes de guidage** : Des algorithmes plus sophistiqués, incluant l'apprentissage automatique (machine learning), pourront être utilisés pour rendre le système plus intelligent, capable de s'adapter aux nouveaux environnements ou de prédire des obstacles en fonction de l'historique des parcours.

## 2. Applications élargies de la technologie développée

### a. Applications pour l'accessibilité

Le système de guidage conçu pour les malvoyants pourrait être étendu à d'autres situations d'accessibilité :

- **Aide aux personnes âgées** : Le système pourrait être adapté pour les personnes âgées, souvent confrontées à des problèmes de mobilité ou de navigation, en leur fournissant une aide pour se déplacer dans les environnements urbains, parcs ou complexes publics.
- **Support pour les personnes handicapées moteurs** : En ajoutant des fonctionnalités spécifiques, comme la gestion d'itinéraires accessibles pour les fauteuils roulants ou autres aides à la mobilité, ce système pourrait devenir un outil indispensable pour cette catégorie de personnes.

### b. Applications dans d'autres domaines

La technologie développée pour ce projet pourrait être utilisée dans plusieurs autres secteurs :

- **Transport et logistique** : Le même principe de guidage pourrait être appliqué aux véhicules autonomes ou semi-autonomes pour la navigation en milieu urbain. Les technologies de RTK et de capteurs pour la détection d'obstacles sont déjà utilisées dans l'automobile pour les systèmes de conduite assistée.
- **Robots de service** : Les technologies de guidage et de détection d'obstacles peuvent également être adaptées aux robots de service, qu'il s'agisse de robots pour les centres commerciaux, d'hôtels ou même pour la livraison de colis.



### c. Intégration dans des projets d'urbanisme intelligent

Avec l'essor des villes intelligentes, ce système pourrait être intégré dans les projets de **smart city** pour assurer une meilleure mobilité des citoyens, tout en améliorant l'accès à l'infrastructure publique pour les personnes en situation de handicap.

- **Cartographie dynamique des environnements** : En associant la technologie de guidage à une plateforme de gestion des infrastructures urbaines, le système pourrait non seulement aider à la navigation, mais aussi collecter des données pour optimiser la gestion de la ville ceci dans le but de faire une carte géographique plus intelligente. (ex. : zones de circulation piétonne, points d'intérêt).
- **Interconnexion avec les transports publics** : Le système de guidage pourrait également être intégré aux systèmes de transport public pour permettre une coordination fluide entre les déplacements de l'utilisateur à pied et ses trajets en bus, métro, etc.

# Conclusion

Le guide de conception de ce projet constitue une base méthodologique essentielle, offrant une structure claire pour l'élaboration et la mise en œuvre d'une solution technologique innovante. Ce document a permis d'orienter chaque étape du développement, garantissant que le système de guidage pour les personnes malvoyantes, utilisant la technologie RTK, répond aux exigences techniques tout en relevant les défis humains majeurs. En intégrant la précision du positionnement RTK, la détection d'obstacles par capteur ultrasonique et une interface utilisateur accessible pour le malvoyant, nous avons conçu une solution capable de répondre à des besoins techniques complexes tout en relevant ces défis. Ce projet ne se limite pas à la résolution d'un problème, mais propose une transformation profonde de la manière dont la technologie peut améliorer la vie des plus vulnérables. Les impacts de ce projet sont multiples et profonds. Tout d'abord, il a un impact social direct en offrant aux personnes malvoyantes une autonomie de déplacement, notamment leur indépendance et en renforçant leur intégration dans la société. Dans un contexte académique et technologique, ce projet représente également une démonstration éclatante de la capacité de l'École Nationale Supérieure Polytechnique de Yaoundé à allier recherche, théorie et application pratique. Il revient que ce projet dépasse largement le cadre d'une simple innovation technologique : il incarne une vision ambitieuse où la science et l'ingénierie deviennent des outils pour transformer des vies, promouvoir l'équité et repousser les frontières du possible. C'est un rappel inspirant que l'innovation, lorsqu'elle est guidée par des valeurs humanistes, peut réellement contribuer à bâtir un monde où chacun peut vivre avec dignité, liberté et confiance en l'avenir.

# Bibliographie

- Documentation RTK : <https://docs.centipede.fr/>
- Documentation de React Native <https://reactnative.dev/docs/getting-started>
- OpenStreetMap <https://www.openstreetmap.org/#map=6/7.40/12.34>
- Géolocalisation :  
[https://www.here.com/developer?cid=Developer\\_Geocoding-Google-YT-0-Dev-AMER-US-matchtype=p&utm\\_source=Google&utm\\_medium=ppc&utm\\_campaign=Dev\\_PaidSearch\\_DevPortal\\_AlwaysOn&utm\\_term=geocode&gads\\_source=1&gclid=Cj0KCQiAwOe8BhCCARIsAGKeD55KGhKU70MnoB6aVsWsqaPimN7vmxIfQ8BrYas1Wxg--KD56O-KHOIaAsafEALw\\_wcB&gclidsrc=aw.ds](https://www.here.com/developer?cid=Developer_Geocoding-Google-YT-0-Dev-AMER-US-matchtype=p&utm_source=Google&utm_medium=ppc&utm_campaign=Dev_PaidSearch_DevPortal_AlwaysOn&utm_term=geocode&gads_source=1&gclid=Cj0KCQiAwOe8BhCCARIsAGKeD55KGhKU70MnoB6aVsWsqaPimN7vmxIfQ8BrYas1Wxg--KD56O-KHOIaAsafEALw_wcB&gclidsrc=aw.ds)
-