

TRAVAIL DE BACHELOR

MÉMOIRE

Conception d'un système de suivi temps réel LoRa pour compétitions sportives

Auteur :

Léonard BISE

Conseiller :

Pierre BRESSY

Informatique Embarquée (ISEC)

Mars à Septembre 2018

Travail de Bachelor

Préambule

Ce travail de Bachelor est réalisé en vue de l'obtention du titre de Bachelor of Sciences en Ingénierie.

Son contenu, sans préjuger de sa valeur, n'engage ni la responsabilité de l'auteur, ni celles du jury du travail de Bachelor et de l'Ecole.

Aucune utilisation, même partielle, de ce travail ne peut être faite sans l'autorisation écrite préalable de la Direction. Toutefois, l'entreprise ou l'organisation qui a confié un sujet de travail de Bachelor peut utiliser les résultats du travail pour ses propres besoins.

Doyenne du Centre Formation de Base

L. Larghi

Yverdon-les-Bains, novembre 2017

Résumé

TODO: Faire signer

Les compétitions sportives, de course à pied ou de cyclisme par exemple, sont des événements dont le déroulement n'est pas toujours facile à suivre pour les spectateurs qui sont sur place. Une fois le départ de la course donné, on peut vite perdre de vue les concurrents. Il faut donc se déplacer pour pouvoir suivre son déroulement et même dans ce cas, vu que le nombre de sportifs est souvent élevé, on peut difficilement se faire une idée globale sur la position de chacun d'eux ou du classement à un instant précis.

Ce projet propose la réalisation d'un système permettant le suivi en temps réel de compétitions sportives au travers d'une application mobile Android afin d'impliquer d'avantage les spectateurs. Grâce à une carte sur laquelle il est possible de voir le parcours de la course en entier, l'application tiendra à jour la position GPS de chaque coureur en temps réel au travers de données transmises par un capteur porté par les sportifs. L'interface propose également d'autres informations : le nom du sportif, son pays d'origine, son numéro de dossard, la distance parcourue, la vitesse moyenne, son rythme cardiaque et sa cadence (nombre de pas par unité de temps). Enfin, l'application permet de choisir ses coureurs favoris afin d'en faciliter le suivi ainsi que l'administration du système telles que la création des courses ou l'inscription des coureurs par exemple.

Pour que le système puisse remplir sa tâche, les éléments suivant ont été développés.

- Un capteur qui est porté par les athlètes et qui permet l'acquisition des données
- Une passerelle qui est placée le long du parcours et qui centralise les données produites par les capteurs dans une base de données
- Une application mobile qui permet la visualisation des données produites

La communication entre le capteur et la passerelle est assurée grâce à la technologie sans-fil LoRa, un protocole qui est prévu pour être utilisé par de petits systèmes avec peu de ressources sur des distances de plusieurs kilomètres, et qui ne nécessite pas de surcoût pour son utilisation contrairement aux communications mobiles GSM par exemple, car il utilise les bandes de fréquences libres ISM.

Le capteur dispose d'un micro-contrôleur ATSAMD21 avec un cœur ARM Cortex-M0+ sur lequel s'exécute le firmware développé pendant le travail de Bachelor. Il est écrit en C et utilise le système d'exploitation temps réel Zephyr qui propose tous les mécanismes et services nécessaires pour le développement d'une application embarquée temps réel.

La passerelle est construite à partir d'un Raspberry Pi 3 model B+ exécutant le système d'exploitation Linux ainsi que d'une carte de gestion de la couche radio LoRa. Une application serveur, codée en C++, se charge de récupérer les paquets reçus par l'interface LoRa et d'enregistrer les données décodées dans la base de données.

L'application mobile est développée en Java sur Android Studio et utilise le framework "Maps SDK for Android" de Google afin de gérer la carte et les éléments affichés dessus.

Table des matières

| | |
|---|-----------|
| Table des figures | xi |
| Liste des tableaux | xv |
| 1 Introduction | 1 |
| 1.1 Énoncé du problème | 1 |
| 2 Vue d'ensemble du système | 3 |
| 2.1 Les interactions | 4 |
| 2.2 La couche radio LoRa | 4 |
| 3 Développement du projet | 5 |
| 3.1 Phase #1 | 5 |
| 3.2 Phase #2 | 5 |
| 3.3 Phase #3 | 6 |
| 4 Description du capteur | 9 |
| 4.0.1 Les contraintes | 9 |
| 4.1 Le matériel | 9 |
| 4.1.1 Le module GPS UBloxEVA8M | 10 |
| 4.1.2 Le module LoRa RN2483 | 11 |
| 4.1.3 Le module rythme cardiaque Adafruit | 12 |
| 4.1.4 Le module accéléromètre LSM303AGR | 12 |
| 4.1.5 L'accumulateur | 12 |
| 4.2 Le système d'exploitation Zephyr | 13 |

| | |
|--|-----------|
| 4.2.1 Configuration Zephyr pour la carte SODAQ One | 13 |
| 4.3 Le logiciel embarqué | 15 |
| 4.3.1 Architecture logiciel | 16 |
| 4.3.2 Race Sensor Manager | 18 |
| 4.3.3 Heart Rate | 19 |
| 4.3.4 Cadence | 19 |
| 4.3.5 Debug | 19 |
| 4.3.6 Race Sensor Shell | 19 |
| 4.4 Les drivers | 21 |
| 4.4.1 Driver I^2C ATSAMD21G18 | 21 |
| 4.4.2 Driver UBloxEVA8M | 24 |
| 4.4.3 Driver LSM303AGR | 26 |
| 4.4.4 Driver RN2483 | 28 |
| 4.4.5 Driver LEDs | 30 |
| 4.4.6 Driver External Interrupt Controller | 30 |
| 4.5 Paquet de donnée | 32 |
| 4.6 Le déboggage | 33 |
| 4.7 Le boîtier | 33 |
| 5 Description de la passerelle | 35 |
| 5.1 Le matériel | 35 |
| 5.2 Le packet forwarder | 36 |
| 5.3 Le serveur d'application | 38 |
| 5.3.1 Architecture logiciel | 38 |

| | |
|--|-----------|
| 5.3.2 Les librairies externes | 41 |
| 5.3.3 Les classes | 43 |
| 6 Description de la base de données | 51 |
| 6.1 L'extension PostGIS | 51 |
| 6.2 Les tables | 52 |
| 6.2.1 competition | 52 |
| 6.2.2 competitor | 53 |
| 6.2.3 country | 53 |
| 6.2.4 competitor_registration | 53 |
| 6.2.5 data_point | 54 |
| 6.2.6 track_point | 55 |
| 7 Description de l'application mobile | 57 |
| 7.1 Architecture logiciel | 57 |
| 7.2 Les librairies externes | 59 |
| 7.3 Les classes | 60 |
| 7.3.1 MainActivity | 60 |
| 7.3.2 ViewRaceSelectorActivity | 60 |
| 7.3.3 ViewRaceActivity | 61 |
| 7.3.4 SettingsActivity | 61 |
| 7.3.5 ManageRaceSelectorActivity | 61 |
| 7.3.6 CreateNewRaceActivity | 62 |
| 7.3.7 ModifyRaceActivity | 62 |
| 7.3.8 CreateNewCompetitorActivity | 62 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 7.3.9 | AssignCompetitorActivity | 63 |
| 7.3.10 | DatePickerFragment | 63 |
| 7.3.11 | TimePickerFragment | 64 |
| 7.3.12 | LatLngWraper | 64 |
| 7.3.13 | OnQueryResultReady | 64 |
| 7.3.14 | RaceTrackerCompetition | 65 |
| 7.3.15 | RaceTrackerCompetitionAdapter | 65 |
| 7.3.16 | RaceTrackerCompetitor | 66 |
| 7.3.17 | RaceTrackerCompetitorAdapter | 66 |
| 7.3.18 | RaceTrackerDataPoint | 67 |
| 7.3.19 | RaceTrackerDB | 67 |
| 7.3.20 | RaceTrackerQuery | 67 |
| 7.3.21 | RaceTrackerDBAsyncTask | 67 |
| 8 | Problèmes et solutions | 71 |
| 9 | Test phase #1 | 73 |
| 9.1 | Scénarios | 74 |
| 9.2 | Résultats | 74 |
| 9.2.1 | Test sur piste | 75 |
| 9.2.2 | Test de distance | 75 |
| 9.3 | Conclusion test phase #1 | 78 |
| 10 | Test phase #2 | 79 |
| 11 | Test phase #3 | 81 |

| | |
|---|-----------|
| 12 Considérations pour le développement d'un produit | 83 |
| 13 Conclusion | 85 |
| 14 Annexes | 87 |
| 15 Dossier de gestion | 89 |
| Bibliographie | 91 |

Table des figures

| | |
|---|----|
| 2.1 Interactions des acteurs du système | 4 |
| 4.1 Schéma block du capteur SODAQ One | 11 |
| 4.2 Architecture du système d'exploitation Zephyr - http://www.zephyrproject.org | 14 |
| 4.3 Processus général du capteur | 16 |
| 4.4 Architecture statique du logiciel embarqué sur le capteur | 17 |
| 4.5 Architecture dynamique du logiciel embarqué sur le capteur | 18 |
| 4.6 Diagramme de classe du Race Sensor Manager | 19 |
| 4.7 Diagramme de séquence de l'initialisation du Race Sensor Manager | 20 |
| 4.8 Diagramme de séquence du thread du Race Sensor Manager | 21 |
| 4.9 Schéma d'un bus I^2C | 22 |
| 4.10 Les messages I^2C | 22 |
| 4.11 Diagramme de class du driver I^2C | 23 |
| 4.12 Diagramme de class du driver UBloxEVA8M | 25 |
| 4.13 Diagramme de class du driver LSM303AGR | 27 |
| 4.14 Diagramme de class du driver RN2483 | 29 |
| 4.15 Diagramme de class du driver LED | 30 |
| 4.16 Diagramme de class du driver External Interrupt Controller | 31 |
| 4.17 Format du paquet de donnée LoRa | 32 |
| 5.1 Schéma block de la passerelle | 36 |
| 5.2 Architecture statique du serveur d'application | 39 |
| 5.3 Flux des données du serveur d'application | 40 |

| | | |
|------|---|----|
| 5.4 | Architecture dynamique du serveur d'application | 41 |
| 5.5 | Diagramme de classe de Race App Server | 43 |
| 5.6 | Diagramme de séquence des opérations du thread de la classe Race App Server . . | 44 |
| 5.7 | Diagramme de classe de Race Tracker Data | 44 |
| 5.8 | Diagramme de classe de rxpk Handler | 45 |
| 5.9 | Diagramme de classe de Race Mode Handler et Race Mode Record | 45 |
| 5.10 | Diagramme de classe de Test Mode Handler et Test Mode Record | 46 |
| 5.11 | Diagramme de classe de LoRa Packet Forwarder Parser | 47 |
| 5.12 | Diagramme de classe de LoRa Push Data Parser | 48 |
| 5.13 | Diagramme de classe de LoRa rxpk Parser | 49 |
| 5.14 | Diagramme de classe de Vector Reader | 49 |
| 5.15 | Diagramme de classe de Shell et Shell Command | 50 |
| 5.16 | Diagramme de classe de Logger | 50 |
| 6.1 | Diagramme relationnel de la base de données | 51 |
| 7.1 | Architecture statique de l'application mobile | 58 |
| 7.2 | Architecture dynamique de l'application mobile | 58 |
| 7.3 | Diagramme de classe de MainMenuActivity | 60 |
| 7.4 | Diagramme de classe de ViewRaceSelectorActivity | 61 |
| 7.5 | Diagramme de classe de ViewRaceActivity | 62 |
| 7.6 | Diagramme de classe de SettingsActivity | 62 |
| 7.7 | Diagramme de classe de ManageRaceSelectorActivity | 63 |
| 7.8 | Diagramme de classe de CreateNewRaceActivity | 63 |
| 7.9 | Diagramme de classe de DatePickerFragment | 63 |

| | |
|---|----|
| 7.10 Diagramme de classe de TimePickerFragment | 64 |
| 7.11 Diagramme de classe de LatLngWraper | 64 |
| 7.12 Diagramme de classe de OnQueryResultReady | 65 |
| 7.13 Diagramme de classe de RaceTrackerCompetition | 65 |
| 7.14 Diagramme de classe de RaceTrackerCompetitionAdapter | 66 |
| 7.15 Diagramme de classe de RaceTrackerCompetitor | 66 |
| 7.16 Diagramme de classe de RaceTrackerCompetitorAdapter | 67 |
| 7.17 Diagramme de classe de RaceTrackerDataPoint | 68 |
| 7.18 Diagramme de classe de RaceTrackerDB | 68 |
| 7.19 Diagramme de classe de RaceTrackerQuery | 69 |
| 7.20 Diagramme de classe de RaceTrackerDBAsyncTask | 69 |
| | |
| 9.1 Format du paquet test1 | 73 |
| 9.2 Positions GPS des tests piste | 76 |
| 9.3 Positions GPS des tests distance | 77 |

Liste des tableaux

| | |
|--|----|
| 3.1 Dates clefs phase #1 | 5 |
| 3.2 Dates clefs phase #2 | 5 |
| 3.3 Dates clefs phase #3 | 6 |
| 4.1 Caractéristiques de la carte SODAQ One v3 | 10 |
| 4.2 Caractéristiques des threads du capteur | 18 |
| 4.3 Détails des champs du paquet de données radio LoRa | 33 |
| 5.1 Caractéristiques du Raspberry Pi 3 Model B+ | 36 |
| 5.2 Caractéristiques du Dragino LoRa Hat | 36 |
| 9.1 Résultats des tests phase 1 - Piste | 75 |
| 9.2 Résultats des tests phase 1 - Distance | 75 |

1 Introduction

Le développement récent des technologies liées à l'Internet of Things permet la réalisation de systèmes embarqués intelligents, à faible coût et de petite taille. Aussi de plus en plus de carte électronique présentant des systèmes temps réels performant capable de communiquer avec une interface sans-fils existent sur le marché. L'envie de pouvoir développer un système sur cette base m'a amenée à porter une réflexion sur quel type de projet pourrait tirer partie d'une telle application.

Étant moi même amateur de course à pied, je me suis posé la question de savoir si une application à base de capteur pourrait apporter une évolution dans ce sport ce qui me permettrait de combiner deux sujets qui m'intéressent particulièrement. Ceci m'a amené à l'idée poursuivie par mon travail de Bachelor, réaliser un système de suivi temps réel à base de la technologie LoRa afin d'être utilisé pendant des compétitions sportives. L'idée de base du projet est tirée du fait que pendant des compétitions, de course à pied mais cela est également applicable à d'autres sports comme le cyclisme par exemple, il n'est pas facile aux spectateurs d'avoir une vue d'ensemble de la situation de la course ou un classement précis ce qui peut rendre l'événement parfois ennuyeux ou difficile à suivre.

Afin d'essayer de rendre de tels événements plus vivant j'ai donc décidé de réaliser un système qui propose aux spectateurs l'utilisation d'une application mobile, avec laquelle il lui serait possible à tout moment de connaître la position actuelle des concurrents ainsi que d'autres informations intéressantes comme son temps de course, la distance parcouru ou son rythme cardiaque par exemple.

Pour pouvoir proposer ces fonctionnalités, le système définit les éléments suivants. Un capteur porté par les sportifs qui est en charge de l'acquisition des différents paramètres et de leur transmission, une passerelle qui s'occupe de récupérer les données transmises par les capteurs, de les traiter et de les stocker dans une base de données et enfin de l'application mobile elle même qui permettra aux spectateurs de visionner une carte avec la position actuelle des compétiteurs ainsi que tous les paramètres acquis durant la course.

TODO: Add datasheet url to biblio

1.1 Énoncé du problème

Lors d'événements sportifs comme des courses à pied ou de vélo tout terrain, une fois le départ donné les spectateurs sont parfois loin de l'action pour une longue durée.

Afin de rendre ce temps mort plus intéressant, ce projet propose le développement d'un système de tracking des athlètes en direct. Grâce à un capteur placé sur chaque concurrent, il devient possible d'afficher sur une carte la situation globale de la course à tout moment.

L'objectif de ce système est de permettre de récupérer et centraliser la position GPS et le rythme cardiaque de chaque athlète équipé d'un capteur et d'afficher ces informations sur une carte géographique.

Le système est composé de 3 éléments distincts : un capteur, un gateway et une application.

Le capteur doit embarquer un capteur de rythme cardiaque et un système de positionnement GPS. De plus, il doit avoir sa propre source d'énergie avec une autonomie permettant son fonctionnement pendant l'entièreté d'une course.

Le gateway est le système qui récupère les données produites par les capteurs et les stocks dans une base de données située sur un serveur.

Les capteurs et le gateway communiqueront en utilisant le protocole LoRa (Long-Range) sur la bande de fréquence 868Mhz. De son côté le gateway se connecte à la base de données en utilisant un réseau WiFi.

L'application est en charge de l'affichage de la position des coureurs sur la carte ainsi que de leur rythme cardiaque. Une estimation de la vitesse et de la distance parcourue est également affichée. En plus l'application permet de rejouer une course qui s'est tenue dans le passé.

Une contrainte liée au capteur est qu'il doit être suffisamment petit pour ne pas gêner le sportif lors de son effort et être utilisable en extérieur.

2 Vue d'ensemble du système

Le système est composé de plusieurs acteurs différents qui ont chacun une tâche bien précise, ce chapitre propose une vue d'ensemble de ses éléments et explique également les interactions qu'ils existent entre eux.

L'objectif du système est de permettre la récupération de toutes les données récoltées par le ou les capteurs et de centraliser ces informations afin que l'application mobile puisse les exploiter et les afficher aux utilisateurs au travers de son interface graphique.

Afin de pouvoir réaliser cet objectif, les éléments suivants sont développés.

- Un capteur
- Une passerelle
- Une base de données
- Une application mobile

Le capteur est porté par un sportif, il est en charge de l'acquisition des données et de leur transmissions à une passerelle en utilisant la couche radio LoRa. Il est défini en détails dans le chapitre 4.

La passerelle se charge de récupérer les données transmises par le ou les capteurs, les traite et puis les centralise dans une base de données. Elle est décrite dans le chapitre 5.

La base de données permet le stockage de toutes les informations collectées durant la course mais également d'autres informations qui sont saisies avant, comme le nom et prénom, le numéro de dossard ou le pays d'origine des athlètes. Chaque compétition ainsi que leurs informations associées sont également enregistrées dedans. Le chapitre 6 explique son fonctionnement.

L'application mobile est la fenêtre sur le système, elle permet aux utilisateurs de visualiser en temps réel l'évolution de la course. Sa description se trouve dans le chapitre 7.

Afin de pouvoir être utilisable pendant des compétitions sportives, le système doit être capable de gérer plusieurs capteurs en parallèle, il est donc développé dans cette optique. Cependant dans la mesure où dans le cadre du travail de Bachelor le projet est une preuve de concept, un seul capteur sera assemblé et testé.

En ce qui concerne les passerelles, idéalement plusieurs d'entre elles doivent pouvoir être utilisées durant une course, cela permet de diminuer les zones d'ombres le long du parcours et également de minimiser le nombre de paquets perdus. Cependant cela complique passablement le système, car cela implique que la base de données doit être hébergée sur un serveur connecté à internet et donc que la passerelle doit également pouvoir s'y connecter. Afin de simplifier le développement du projet, il est décidé de ne développer qu'une seule passerelle et d'y héberger localement la base de données.

Enfin le chapitre 12 rassemble les éléments qu'il faudrait retravailler afin de faire de la preuve de concept un produit à part entière.

2.1 Les interactions

Le système exploite deux types de communication différentes afin de stocker et d'extraire des données de la base. D'une part la couche radio LoRa est utilisée pour la communication entre les capteurs et les passerelles, et d'autre part le WiFi pour les requêtes entre la base de données et l'application mobile.

Dans le cadre de la preuve de concept et pour des raisons de simplifications, la couche MAC LoRaWAN n'est pas employée, elle prendrait cependant tout son sens dans une optique de développement d'un produit.

La figure 2.1 montre les interactions existantes entre les acteurs du système.

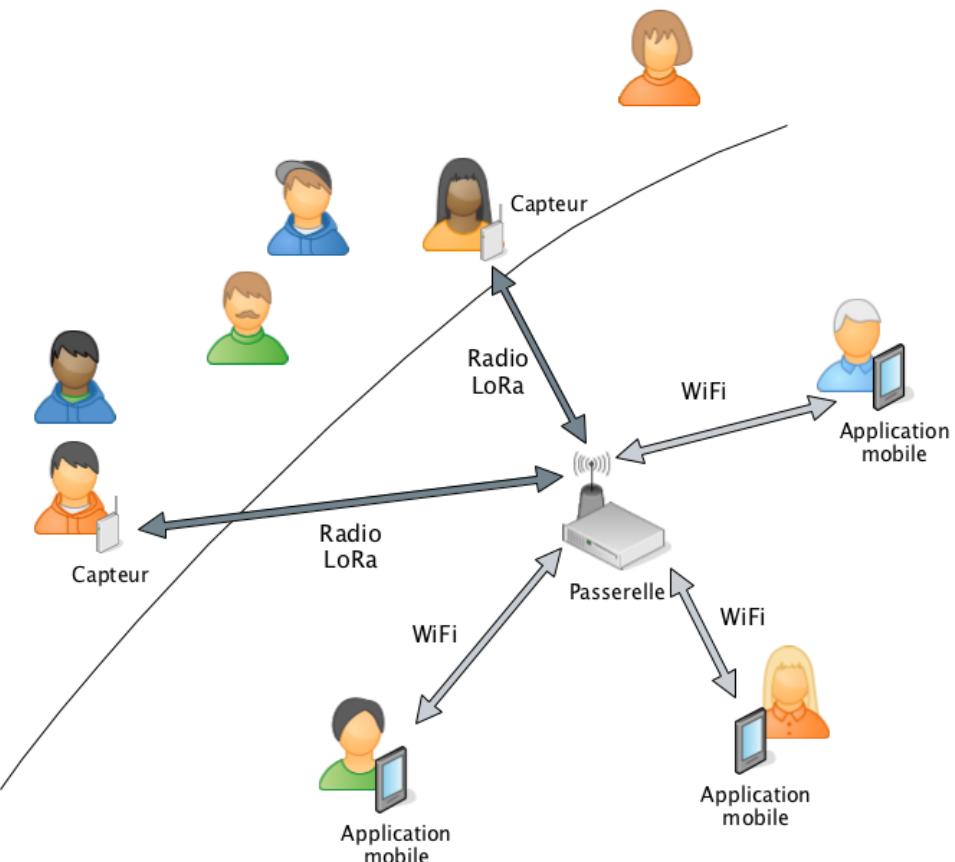


FIGURE 2.1 – Interactions des acteurs du système

2.2 La couche radio LoRa

TODO:

3 Développement du projet

Durant la pré-étude, j'ai pris la décision de découper le développement du projet en trois phases distinctes afin de pouvoir gérer le travail au mieux et pouvoir réagir rapidement en cas d'imprévu ou de problèmes. Pour chaque phase des objectifs ont été établies afin de pouvoir, à son terme, en valider l'exécution et ainsi passer à la phase suivante.

Les sections suivantes décrivent les trois phases de développement du projet.

3.1 Phase #1

TABLE 3.1 – Dates clefs phase #1

| Début | Validation |
|----------------|-----------------|
| 9 Juillet 2018 | 13 Juillet 2018 |

La première phase de développement qui a commencé dès le début du projet, c'est à dire le 9 Juillet 2018, avait pour objectif la validation de la transmission des données avec la technologie LoRa et la solution matériel choisie pour le capteur et la passerelle. Durant cette phase seule le capteur et la passerelle ont été testés.

Pour se faire un programme simple de test a été écrit pour le capteur en se basant sur le framework Arduino, facilitant et accélérant grandement le développement car déjà tout les modules et drivers nécessaires étaient disponible, le but étant de permettre de faire des tests de transmissions de paquet rapidement et efficacement. En ce qui concerne la passerelle, le début du serveur d'application a été développé qui permet la récupération des données transmises par le capteur. Un gestionnaire spéciale pour ce test a été développé qui permet de vérifier si des paquets ont été perdus lors de leur transmission afin de jauger de la qualité de la transmission LoRa.

Au terme de ce développement un test a été effectué en extérieur afin de s'assurer que la matériel était capable d'envoyer et de transmettre des paquets à des distances proches de l'utilisation finale du projet. Dans le cas où les résultats du test ne seraient pas satisfaisants alors une nouvelle étude sur le matériel devrait être faite afin de trouver une solution fonctionnant dans les conditions d'utilisation du projet. Le test a été effectué le 13 Juillet 2018 et a permis de valider la phase #1 avec succès ouvrant ainsi le développement pour la deuxième phase.

Pour plus d'information sur le test effectué et ses résultats voir le chapitre 9.

3.2 Phase #2

TABLE 3.2 – Dates clefs phase #2

| Début | Validation |
|-----------------|------------|
| 14 Juillet 2018 | TODO: |

La deuxième phase du projet a été beaucoup plus conséquente en terme de travaille a accom-

plir. Son objectif a été de valider la chaîne complète de communication du système, tous les éléments ont été développé dans leur forme simplifiée afin de pouvoir effectuer les tâches nécessaires au bon fonctionnement du système. Durant cette phase l'accent a été mis sur la transmission de la position GPS, les autres paramètres ont été laissé de côté afin de pouvoir se concentrer sur les éléments les plus importants.

Pour le capteur, le système d'exploitation Zephyr a été pris en main afin d'y ajouter la configuration de la carte SODAQ One et les drivers manquant, I^2C et GPS, ont été développé et testé afin de pouvoir interagir avec le modules GPS. Enfin le cœur de l'application du capteur a été écrit, qui consiste principalement à récupérer la position GPS au travers du bus I^2C en utilisant le driver GPS et puis de créer un paquet de donnée pour enfin l'envoyer grâce à la couche radio LoRa, ceci en boucle.

La structure de la base de donnée a été définie au moyen d'un diagramme UML et les scripts associés permettant la création des différentes tables ont également été écrit. Le logiciel de gestion de base de données a ensuite été installé sur la passerelle et les tables créées.

Le serveur d'application a été développé d'avantage afin d'y intégrer la gestion du mode "race" qui permet la réception des données envoyées par le capteur, l'extraction des paramètres intéressant pour finalement allez écrire le tout dans la base de données.

L'application mobile a été mise en place, permettant la connexion à la base de données afin d'y récupérer les données nécessaire. La gestion de la carte bien connue de Google a été implémenté afin de pouvoir y afficher les positions récupérées depuis la base de données. Cependant l'interface n'a été que très peu développé, l'accent étant mis sur le développement du fonctionnement de base plutôt que sur l'esthétique.

Cette phase a été terminé après un test en extérieur sur un anneau de distance similaire à une piste d'athlétisme permettant de valider le bon fonctionnement de la chaîne complète du système.

Pour plus d'information sur le test effectué et ses résultats voir le chapitre 10.

3.3 Phase #3

TABLE 3.3 – Dates clefs phase #3

| Début | Validation |
|--------------|------------|
| 20 Août 2018 | TODO: |

Une fois que le fonctionnement du système dans son ensemble a été validé, la troisième phase a pu commencer. Son objectif est la finalisation du système dans son entier, c'est à dire d'implémenter les éléments restants, comme l'acquisition du rythme cardiaque et de la cadence et leurs écriture dans la base de données. L'interface graphique de l'application mobile ainsi que les fonctionnalités restantes comme la gestion des courses et la gestion graphique de la carte sont finalisées.

Il est à noté que cette phase a commencé plus tôt que la date du test formelle de la phase #2, ceci étant du au fait que le test formel a du être repoussé à plusieurs reprise à cause de pro-

blèmes techniques au niveau de la connexion de l'application mobile et de la passerelle. Afin de pouvoir respecter les contraintes de temps liées au projet, il a été décidé de commencer le développement relatif à la phase #3 avant le passage formel du test de validation #2.

Au terme de la phase #3, un test faisant office de démonstration de l'utilisation du système a été fait afin de valider son fonctionnement global.

Pour plus d'information sur le test effectué et ses résultats voir le chapitre 11.

TODO: Etape de la démarche suivie, identification de l'env et des contraintes. capteur->passerelle->db->app simple

4 Description du capteur

Le travail du capteur et d'acquérir les données nécessaires, puis de les transmettre à intervalles réguliers par la couche radio LoRa à la passerelle. Le cœur du capteur est le micro-contrôleur, celui-ci permet l'exécution du firmware qui est en charge de la gestion des opérations. C'est cette application qui va effectuer aux moments voulus les acquisitions nécessaire et ensuite créer un paquet de données pour être envoyé.

Pour se faire le capteur est muni de plusieurs modules permettant l'acquisition des différents paramètres. Il sont présentés dans la liste suivante.

- GPS : Il permettra de connaître la position (latitude/longitude) du capteur et également d'avoir une référence de temps. Voir la section 4.1.1 pour plus de détails.
- Accéléromètre : Ce module sera utilisé pour connaître le nombre de pas effectués par le sportif ce qui permettra de calculer sa cadence de course. Voir la section 4.1.4 pour plus de détails.
- Rythme cardiaque : Au moyen d'une sangle pectorale portée par l'athlète, ce module déclenchera une impulsion à chaque fois qu'un battement du cœur sera détecté. Voir la section 4.1.3 pour plus de détails.
- Radio LoRa : C'est au moyen de cet élément que le capteur transmettra les paquets de données à la passerelle. Voir la section 4.1.2 pour plus de détails.

Dans le cadre du travail de Bachelor, un seul exemplaire de capteur sera assemblé et utilisé durant les tests.

4.0.1 Les contraintes

Le capteur est également soumis à des contraintes liées à son utilisation dans les conditions d'une compétition sportive.

Afin de gêner au minimum le sportif pendant la course et afin que le capteur soit utilisable pour l'entièreté d'une compétition, il est soumis aux contraintes définies durant la pré-étude et listées ci-dessous.

- Veiller à ce que sa taille soit minimale
- Son poids ne doit pas dépasser 200 g
- Il doit disposer d'une autonomie d'au moins 10 heures
- Il doit être capable de transmettre les paquets de données à une passerelle située à une distance de 5 km en espace libre
- Il sera placé dans un boîtier étanche

4.1 Le matériel

Lors de la pré-étude du projet, trois différentes cartes avaient été étudiées chacune avec leurs avantages et inconvénients. Pour la réalisation du projet, j'ai décidé d'utiliser la carte qui dispose de base du plus de module, c'est à dire la carte SODAQ One. En effet elle a l'immense avantage d'embarquer de base un module LoRa, un module GPS ainsi qu'un accéléromètre ce qui me permet de me focaliser sur le développement du logiciel embarqué. Il reste seulement

à connecter sur une entrée du micro-contrôleur le module qui permettra de compter les battements du cœur en détectant les impulsions produite. Enfin afin de faciliter le debug de l'application embarquée, un UART et une sonde de debug seront également connectés pendant la phase de debug ce qui permettra d'afficher des messages et de permettre le debug du firmware. Un autre avantage de taille est que son micro-contrôleur est déjà disponible dans le système d'exploitation Zephyr ce qui facilitera le travail de portage.

Pour rappel, les caractéristiques du SODAQ One sont décrit dans la table 4.1.

TABLE 4.1 – Caractéristiques de la carte SODAQ One v3

| | |
|-----------------|------------------------------|
| Dimensions | 45mm x 25mm |
| Microcontrôleur | ATSAMD21G18 – ARM Cortex M0 |
| Oscillateur | 48 Mhz |
| Flash | 256 kB |
| RAM | 32 kB |
| LoRa | Microchip RN2483 |
| GPS | uBlox EVA 8M |
| Accéléromètre | STMicroelectronics LSM303AGR |
| Prix | 114 CHF |

Aux modules de base, comme expliqué précédemment, il faudra rajouter un module qui permettra de compter le nombre de battement du cœur. Il est développé par la société Adafruit sous le nom de "Adafruit Heart Rate Start Pack".

TODO: PHOTO SODAQ

Le module LoRa RN2483 est connecté par un lien série UART et utilise une interface de type AT commands, c'est à dire qu'il est piloté avec l'envoie de chaînes de caractère représentant des commandes, dans la même idée les réponses reçues sont de type text. Le module GPS ainsi que l'accéléromètre sont quant à eux connecté sur le bus I^2C . Le module rythme cardiaque sera lui connecté simplement sur un General Purpose I/O.

Le schéma block 4.1 présente les différents modules et leurs connections avec le micro-contrôleur.

TODO: Ajouter debug SEGGER

4.1.1 Le module GPS UBloxEVA8M

TODO: figure

Le EVA8M de la compagnie UBlox est un module GPS à haute précision et qui propose 8 moteurs de positionnement avec des performances très intéressantes. Il est capable de gérer les signaux GPS, GLONASS, QZSS et SBAS et dispose d'une sensibilité très haute de -164 dBm. Son temps d'acquisition de la position est minime et il dispose de mécanisme d'optimisation de la consommation d'énergie.

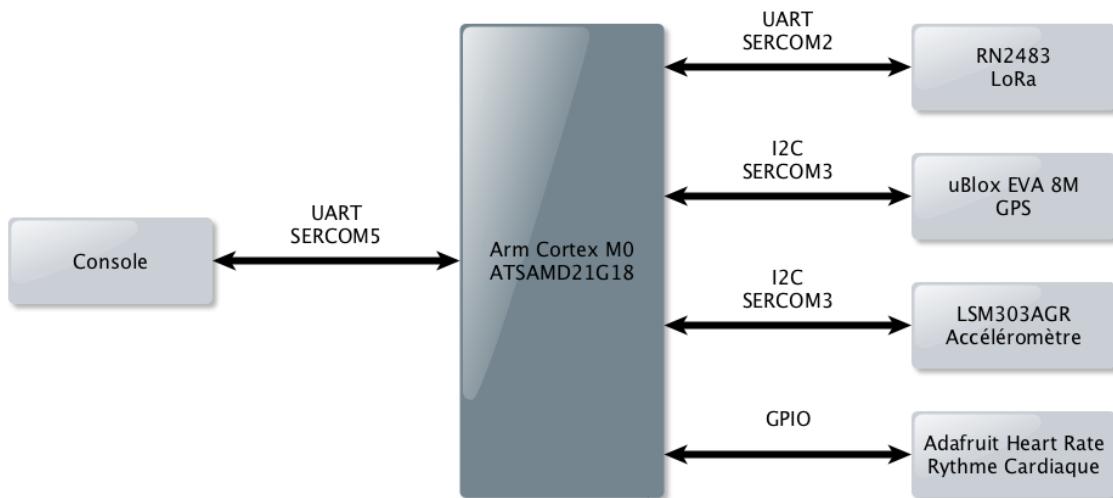


FIGURE 4.1 – Schéma block du capteur SODAQ One

Ce module est très simple d'utilisation, dispose de son propre oscillateur et pour la plupart des applications il ne requiert qu'une antenne GNSS externe. De plus il propose plusieurs interfaces différentes, SPI, USB, I^2C et UART.

Il assure une précision de la position GPS à 2.5 m et de 4 m en GLONASS, Il est capable de générer des messages jusqu'à une fréquence de 18 Hz et il propose 3 protocoles différents, NMEA, UBX et RTCM.

Une fois le module configuré par l'utilisateur, il va générer les messages voulues à une certaine fréquence. En fonction des message différentes information seront disponible, le choix des messages sélectionnés dépend du type d'application que l'on souhaite réaliser. Lorsque la configuration est effectuée, il suffit à l'utilisateur de venir lire la queue de message du module périodiquement afin de pouvoir y récupérer les messages et d'y extraire les informations.

Le module est détaillé dans le datasheet [1] ainsi que dans le document d'explication de son protocole [2].

4.1.2 Le module LoRa RN2483

TODO: figure

Le RN2483 est un module de gestion de la couche radio LoRa et également de la couche protocolaire LoRaWAN. Il utilise un simple protocole de commande/réponse sur une interface de type UART. Bien qu'il ne soit pas utilisé dans ce projet, le module est capable d'assurer la gestion de la couche LoRaWAN de classe A automatiquement, c'est à dire de la gestion du mécanisme d'authentification avec gestion du chiffrement des messages LoRa et du reste des mécanismes propres au LoRaWAN.

Chose intéressante, il est possible de désactiver entièrement la couche protocolaire LoRaWAN si l'on désire uniquement utiliser la couche radio LoRa, ce qui est le cas de ce projet. Dans ce cas de figure tous les éléments de gestion du protocole sont désactivés, reste la possibilité de configurer la couche radio LoRa avec la modification des différents paramètres, comme le facteur d'étalement ou la puissance de sortie du signal par exemple, et l'envoie ou la réception de

données.

En plus le composant est capable d'envoyer les signaux en utilisant diverses modulations, FSK, GFSK ou LoRa.

L'utilisation ainsi que toutes les commandes sont décrite dans la datasheet du composant [3].

4.1.3 Le module rythme cardiaque Adafruit

Le module Adafruit pour le rythme cardiaque est composé de deux éléments principaux, d'une part la sangle pectorale qui sera portée par le sportif et le récepteur qui permettra au micro-contrôleur de détecter les battements du cœur. La sangle et le récepteur utilise le protocole sans-fil WeakLink+ de la compagnie Polar ce qui permet au récepteur, lorsqu'un battement est transmis par la sangle, de générer une impulsion sur une entrée du micro-contrôleur. Cette impulsion est détectée par le micro-contrôleur grâce au driver External Interrupt Controller spécialement développé pour ce projet et qui permet de déclencher des interruptions lors de la détection d'un flanc montant par exemple.

TODO: figure

4.1.4 Le module accéléromètre LSM303AGR

TODO: figure

Le LSM303AGR est un accéléromètre trois axes couplé à un magnétomètre. Seul l'accéléromètre est utilisé dans le cadre du projet, il est utilisé afin de détecter lorsque le sportif effectue un pas. Le composant est capable de proposer des échelles d'accélération linéaire de +/-2 à +/-16g, il peut communiquer soit sur le bus I^2C , ce qui est le cas sur la carte SODAQ One mais il peut aussi être connecté à un bus SPI. Il propose toute une série de registres qui permettent de configurer les différents paramètres de l'accéléromètre ainsi que du magnétomètre et de récupérer les valeurs d'accélération sur chaque axes. Il est aussi possible de configurer l'utilisation d'une FIFO, auquel cas plusieurs valeurs d'accélérations peuvent être stockées à la suite et lues lorsque nécessaire.

Enfin le module peut être configuré pour générer une interruption lorsqu'un certain seuil d'accélération est dépassé sur une combinaison des 3 axes afin de pouvoir détecter un certain mouvement ou déplacement par exemple.

4.1.5 L'accumulateur

TODO: figure

L'accumulateur utilisé pour alimenter la carte SODAQ One est de type lithium-polymère, solution assurant une sécurité accrue mais distribuant un peu moins d'énergie qu'un accumulateur de type lithium-ion par exemple.

Cet accumulateur est capable de délivrer environ 3.7V et 1200 mAh.

TODO: Discharge figure?

4.2 Le système d'exploitation Zephyr

Zephyr project ou Zephyr est un système d'exploitation temps réel (RTOS) open source réalisé par la Linux Foundation. Il a été développé pour être utilisé sur des petits systèmes embarqués avec de grosses contraintes au niveau des ressources à disposition. A sa base il reprend un "micro" noyau développé par la société Wind River pour son système d'exploitation commercial VxWorks qui est employé dans beaucoup de projet dans les domaines aérospatial, militaire et automobile. Plusieurs architectures de micro-contrôleur sont pris en charge comme ARM, RISC ou x86 par exemple et plusieurs dizaines de configuration pour différentes cartes du marché existent.

Ce RTOS est également très facile à configurer pour ses propres besoins au moyen de fichiers de configuration ou l'on peut sélectionner les éléments que l'on veut utiliser dans son application. De plus il propose toutes les fonctionnalités que l'on peut attendre de ce genre de système : scheduler, thread, semaphore, message queue, ring buffer, gestion de l'allocation de la mémoire dynamiquement... En plus de ces fonctions de base il dispose également de drivers pour piloter différents types de composants comme des UART, SPI, ADC ou GPIO par exemple. Enfin des couches réseaux tel que Ethernet, IPv6 ou Bluetooth sont disponible ainsi que la gestion de système de fichier. [4]

Autour de cet RTOS Il existe une importante communauté qui travail activement sur son développement ce qui permet de pouvoir avoir des réponses à ses questions rapidement et efficacement.

Ce système d'exploitation a été choisi car en plus d'être moderne il dispose déjà de la configuration d'une carte très similaire au SODAQ One, le Adafruit Feather M0 Basic Proto qui embarque le même micro-contrôleur, ceci facilitera passablement le travail de modifications pour adapter la configuration du RTOS au SODAQ One. Cette configuration consiste à définir, grâce à des Device Tree, quels sont les composants que la carte embarque et sur quels ports ou pins ils sont connectés, cela permet ensuite au système d'exploitation de pouvoir les piloter correctement.

Même si beaucoup d'éléments sont déjà existant pour le micro-contrôleur utilisé par le SODAQ One, le développement d'un nouveau driver I^2C ainsi qu'un driver de gestion des interruptions externes, ont été réalisés car il n'en n'existe aucun au moment où j'ai commencé le travail de Bachelor. Le driver I^2C est utilisé afin de pouvoir communiquer avec les modules GPS et accéléromètre. Le driver External Interrupt Controller est utilisé afin de détecter les battements du cœur, lors de cet événement une impulsion est générée par le module rythme cardiaque qui, grâce à ce driver, permet de déclencher une interruption. Les drivers développés dans le cadre du travail de diplôme sont décrit en détail dans la section 4.4.

La figure 4.2 présente l'architecture du système d'exploitation temps-réel Zephyr.

4.2.1 Configuration Zephyr pour la carte SODAQ One

Zephyr utilise un système de configuration qui permet de définir les périphériques qui sont présent sur une certaine carte. Cela permet ensuite aux utilisateurs de pouvoir accéder aux différents éléments grâce aux drivers proposés par le système d'exploitation. En plus de cela il est également nécessaire de configurer la fonction de chaque pins que l'on souhaite utiliser car

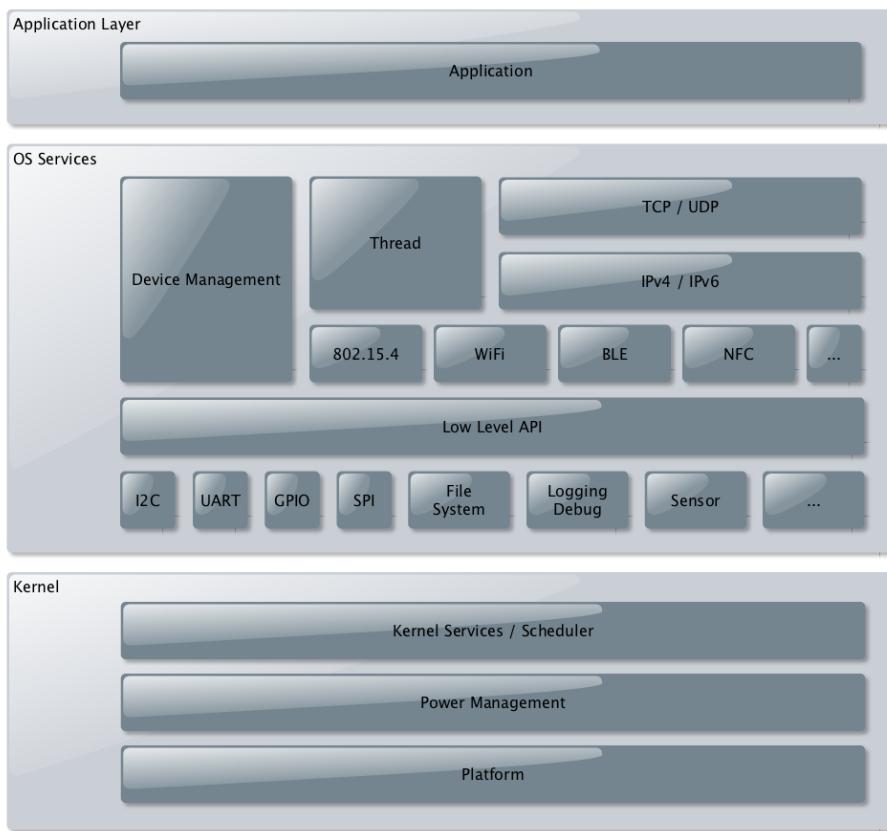


FIGURE 4.2 – Architecture du système d'exploitation Zephyr - <http://www.zephyrproject.org>

elles ont souvent la possibilité d'en avoir plusieurs. Enfin l'on peut spécifier une configuration de base, par exemple en activant par défaut la gestion du bus I^2C .

Dans le cadre du projet, une nouvelle configuration a du être définie pour la carte SODAQ One.

Un fichier important est de type Device Tree (dts), c'est un type de fichier qui permet de définir avec des nœuds les composants disponibles. Les informations contenues dans ce fichier sont spécifiques à une certaine carte car elles dépendent de la façon dont les périphériques sont connectés au micro-contrôleur. Ce type de fichier est beaucoup utilisé par Linux par exemple.

Pour la carte SODAQ One, le fichier est principalement utilisé afin de définir le type de micro-contrôleur présent sur la carte ainsi que les composants SERCOM utilisés pour les divers périphériques. Enfin on peut spécifier quel composant doit être utilisé par Zephyr pour la console.

Un extrait de ce fichier est présenté ci-dessous.

```
1  /*
2   * Copyright (c) 2018 Leonard Bise
3   *
4   * SPDX-License-Identifier: Apache-2.0
5   */
6
7 /dts-v1/;
8 #include <atmel/samd21.dtsi>
9
10 / {
11     model = "SODAQ One v3";
12     compatible = "sodaq,one-v3", "atmel,samd21g18a",
13             "atmel,samd21";
```

```
14
15     chosen {
16         zephyr,console = &sercom5;
17         zephyr,sram = &sram0;
18         zephyr,flash = &flash0;
19         zephyr,code-partition = &code_partition;
20     };
21 };
22
23 &sercom0 {
24     status = "ok";
25     compatible = "atmel,sam0-spi";
26     #address-cells = <1>;
27     #size-cells = <0>;
28 };
29
30 &sercom2 {
31     status = "ok";
32     compatible = "atmel,sam0-uart";
33     current-speed = <57600>;
34 };
35
36 &sercom3 {
37     status = "ok";
38     compatible = "atmel,sam0-i2c";
39     clock-frequency = <I2C_BITRATE_FAST>;
40 };
41
42 &sercom5 {
43     status = "ok";
44     compatible = "atmel,sam0-uart";
45     current-speed = <115200>;
46 };
47
48 ...
```

4.3 Le logiciel embarqué

Cette section décrit le logiciel embarqué sur le capteur dans son ensemble. En se basant sur les fonctionnalités proposées par Zephyr ainsi que les drivers, qui sont décrit dans la section 4.4, c'est lui qui va cadencer les acquisitions ainsi que l'envoie des paquets LoRa à la passerelle. Le logiciel embarqué ainsi que les drivers sont entièrement écrit en langage C. Il en va de même pour le système d'exploitation Zephyr qui contient cependant certaines parties écrites en assembleur.

La liste suivante présente toutes les acquisitions qui sont gérées par le logiciel.

- Position GPS message générée par le module à une fréquence de 1 Hz
- Rythme cardiaque, une interruption est déclenchée à chaque battement du cœur
- Comptage du nombre de pas, une interruption est déclenchée lorsqu'un pas est détecté par l'accéléromètre

De manière général et de façon simplifiée on peut définir le processus du capteur comme dans la figure 4.3.

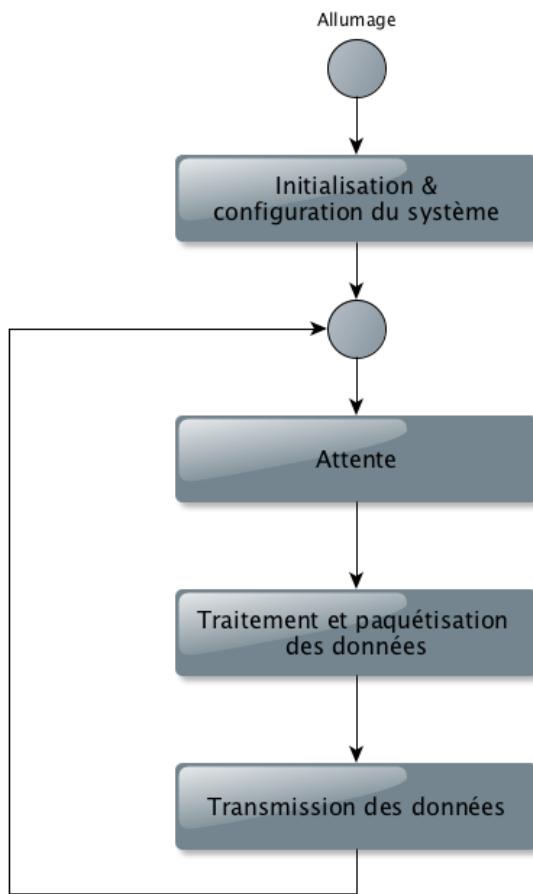


FIGURE 4.3 – Processus général du capteur

4.3.1 Architecture logiciel

La figure 4.4 montre l'architecture statique du logiciel embarqué, tout les modules dont il est composé sont présentés.

Les éléments qui compose la couche application du logiciel embarqué sont décrit en plus de détail dans la liste ci-dessous.

- Race Sensor Manager : C'est le module responsable de la gestion du capteur, au moyen d'un thread c'est lui qui déclenche les acquisitions et qui paquetise les données afin de les transmettre dans des paquets LoRa.
- Race Sensor Shell : Le shell du capteur, il est principalement utile pour les tests et le debug. Il propose plusieurs commandes qui permettent par exemple de modifier la configuration de la liaison radio LoRa.
- Debug : Ce module propose des fonctions qui facilite le debug de l'application.
- Heart Rate : Compte le nombre de battement du cœur par unité de temps en s'appuyant sur l'accéléromètre Adafruit Heart Rate starter pack
- Cadence : Permet le comptage des pas du sportifs par unité de temps grâce à l'accéléromètre LSM303AGR

La figure 4.5 décrit les éléments dynamiques qui compose le logiciel du capteur.

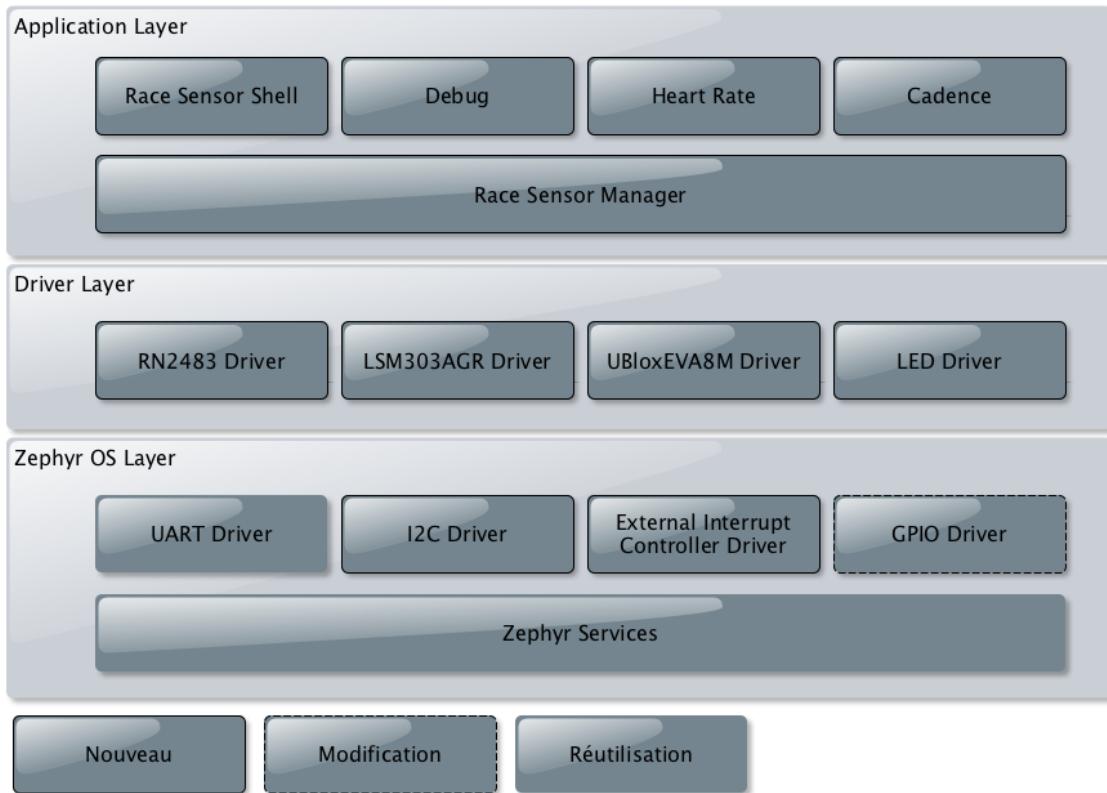


FIGURE 4.4 – Architecture statique du logiciel embarqué sur le capteur

TODO: Update when finished

Zephyr propose une implémentation de la priorité des threads intéressante qui permet en fonction de la valeur d'également modifier le comportement de l'ordonnanceur. La priorité d'un thread, valeur entière, peut être soit positive ou négative. Une valeur de priorité plus petite est plus importante qu'une valeur numériquement plus grande, ainsi un thread de priorité -2 est plus prioritaire qu'un de priorité 7.

En plus de cela, l'ordonnanceur distingue deux catégories de thread en utilisant la valeur de priorité. Des threads dit coopératif et des threads pré-emptible.

Les threads coopératif ont une valeur de priorité négative, une fois qu'ils deviennent le thread exécutant, il le reste jusqu'à ce qu'il effectue une action qui le mettrait dans l'état non prêt, c'est à dire l'acquisition d'un sémaphore qui est utilisé ou une attente par exemple.

Un threads pré-emptible a une valeur de priorité non négative. Lors de son exécution ce genre de thread peut à tout moment être mis dans l'état non prêt par l'ordonnanceur afin de permettre à un thread coopératif ou à un thread pré-emptible de priorité plus haute ou égale de s'exécuter.
[4]

La table 4.2 décrit en plus de détail les caractéristiques de chaque threads.

Le thread le plus prioritaire est celui du gestionnaire du capteur, en effet étant donné qu'il a une période qui est longue, lorsqu'il est prêt il doit directement prendre la main sur les autres threads afin de garantir la fréquence de transmission des données à la passerelle. Le thread responsable de la transmission des données au module LoRa doit également faire son travail

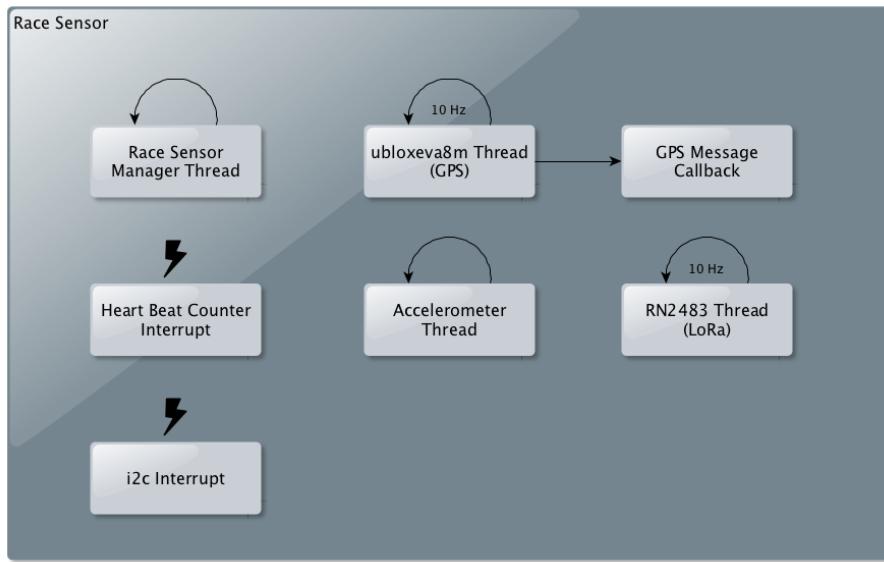


FIGURE 4.5 – Architecture dynamique du logiciel embarqué sur le capteur

TABLE 4.2 – Caractéristiques des threads du capteur

| Thread | Priorité | Période |
|-------------------------|-----------|---------|
| Race Sensor Manager | Haute - 0 | 15 s |
| RN2483 (LoRa) | 1 | 100 ms |
| Driver UBloxEVA8M (GPS) | 2 | 100 ms |
| Accéléromètre | Basse - 3 | 100 ms |

en priorité afin de garantir le transfert des données rapidement. Enfin les thread de gestion du module GPS et de l'accéléromètre dispose de priorité plus faible car leur importance est moindre dans le processus du capteur.

4.3.2 Race Sensor Manager

Le Race Sensor Manager est le module principale du capteur, lors de l'allumage du capteur, c'est lui qui commence par configurer tous les éléments nécessaires au fonctionnement du capteur, comme les drivers par exemple. Une fois le système initialisé, le thread du Race Sensor Manager va s'occuper d'envoyer les données acquises dans des paquets LoRa à intervalle régulier.

La figure 4.6 présente le diagramme de classe du Race Sensor Manager.

Lors du lancement du firmware du capteur, le Race Sensor Manager est initialisé puis lancé grâce aux fonctions `race_sensor_mngr_init()` et `race_sensor_mngr_start()`. Durant l'initialisation du module tous les drivers sont initialisé et les interfaces de communications sont configuré, au terme de cette opération le thread est lancé qui s'occupera du séquencement des opérations. Les opérations d'initialisation sont décrite dans le diagramme de séquence 4.7.

Le thread va s'occuper de paquetiser et d'envoyer les données collectées régulièrement, le comportement est décrit dans le digramme de séquence 4.8.

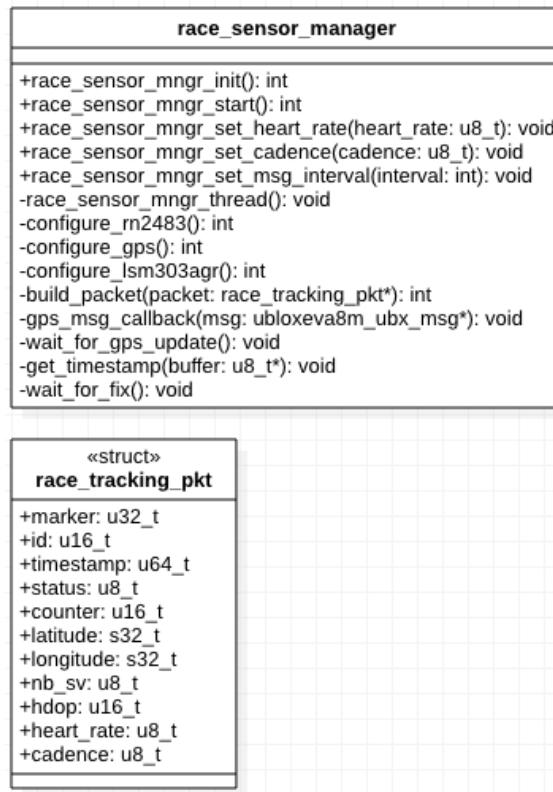


FIGURE 4.6 – Diagramme de classe du Race Sensor Manager

4.3.3 Heart Rate

TODO:

4.3.4 Cadence

TODO:

4.3.5 Debug

Ce module propose quelque fonction et macros qui sont utile pendant le debug du capteur comme l'affichage de message sur une console ou l'affichage de la liste de tous les threads qui sont actifs.

4.3.6 Race Sensor Shell

Le Race Sensor Shell permet l'utilisation d'un shell exécuté directement sur le capteur qui permet l'ajout de diverses commandes permettant la configuration du capteur pendant l'exécution du firmware. Il s'appuie sur le module shell proposé par Zephyr qui prend en charge la gestion du shell, il suffit de lui donner des pointeurs de fonction ainsi que des noms de fonction et le reste est pris en charge par le système d'exploitation.

La liste suivante montre les commandes disponible dans le shell du capteur :

- set_lora_sf : Permet de changer le facteur d'étalement de la couche radio LoRa

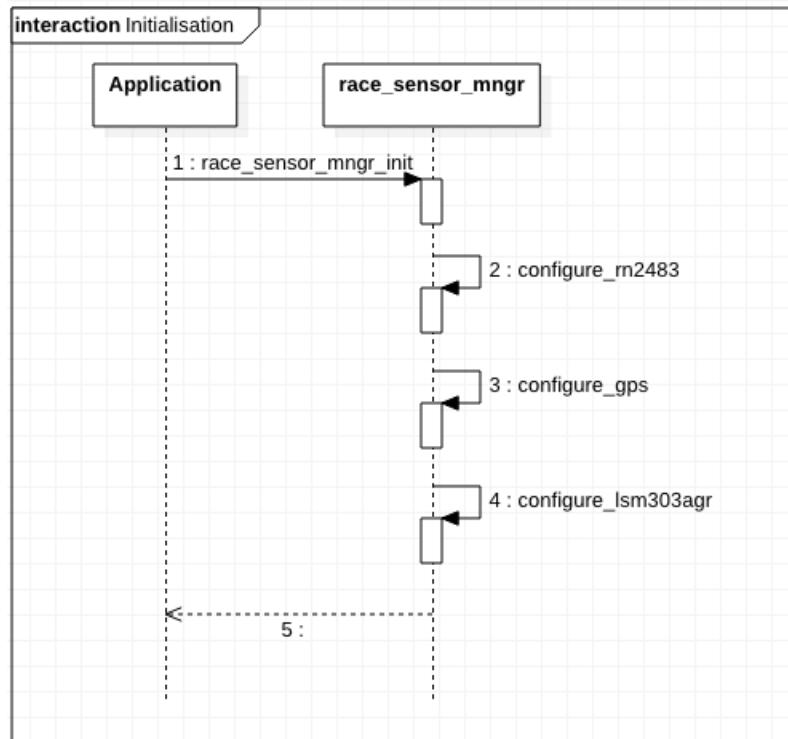


FIGURE 4.7 – Diagramme de séquence de l'initialisation du Race Sensor Manager

- set_lora_pwr : Permet de changer la puissance de sortie du signal de la couche radio LoRa
- set_msg_interval : Permet de modifier l'intervalle entre deux messages envoyé à la passerelle

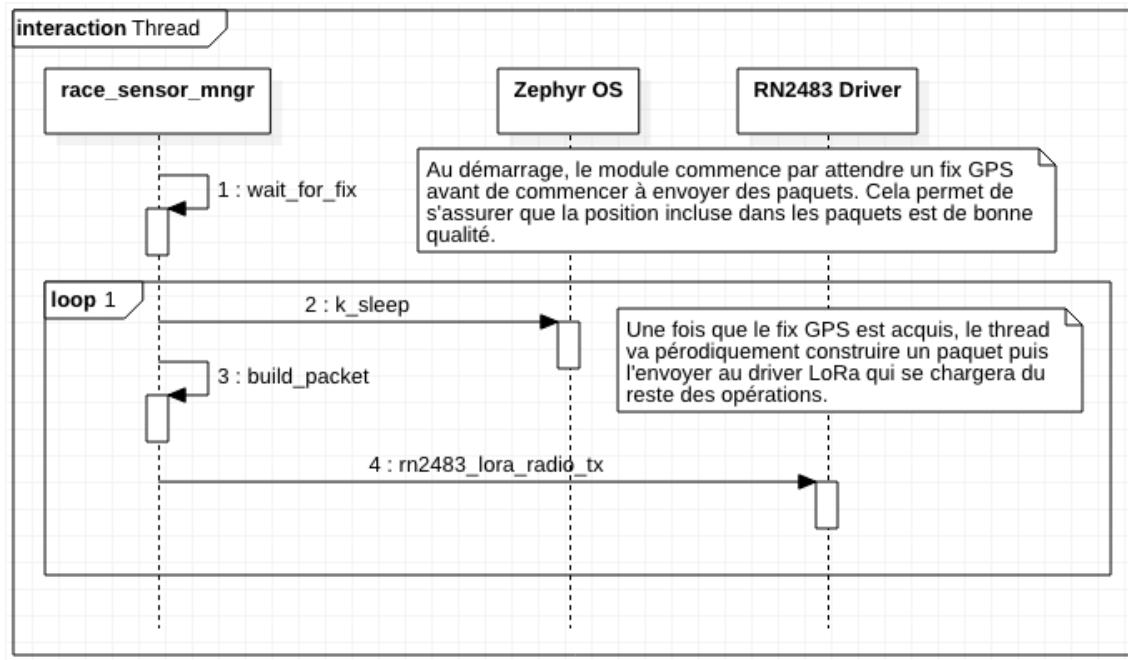


FIGURE 4.8 – Diagramme de séquence du thread du Race Sensor Manager

4.4 Les drivers

Afin de pouvoir utiliser tous les modules requis par le projet ainsi que le RTOS Zephyr il a été nécessaire d'écrire plusieurs drivers qui sont décrits dans cette section.

Les drivers présentés dans la liste suivante ont été développés dans le cadre du travail de Bachelor.

- Driver I^2C pour micro-contrôleur ATSAMD21G18 intégré au système d'exploitation Zephyr
- Driver UBloxEVA8M pour piloter le module GPS qui se base lui même sur le driver I^2C
- Driver LSM303AGR pour le module accéléromètre qui se base également sur le driver I^2C
- Driver RN2483 LoRa permettant d'exploiter la communication LoRa et qui se base sur le driver UART existant de Zephyr
- Driver pour piloter les 3 LEDs de la carte SODAQ One au travers de GPIOs
- Driver External Interrupt Controller permet de déclencher une interruption en fonction de l'état d'un I/O qui est utilisé pour pouvoir compter les battements du cœur

Enfin le Driver GPIO de Zephyr a du être modifié afin de pouvoir utiliser les interruptions sur les I/O proposés par le driver External Interrupt Controller.

4.4.1 Driver I^2C ATSAMD21G18

I^2C est un bus qui permet de connecter plusieurs esclaves à un maître. Le maître est le seul à initier les accès aux esclaves qui disposent chacun de leur adresse spécifique, lorsque le maître veut lire ou écrire sur un esclave il va envoyer un message I^2C contenant l'adresse de l'esclave en question, suivi des données à écrire ou de l'adresse à lire par exemple. Avantage de taille est qu'il ne nécessite que deux connections pour fonctionner, une qui permet la distribution

du signal de synchronisation qui est uniquement contrôlé par le maître et une autre pour le transfert des données qui peut être contrôlé soit par le maître lors d'une écriture ou de l'esclave pour une lecture.

L'écriture de ce driver se base sur les informations disponible dans la datasheet du micro-contrôleur ATSAMD21G18 [5]. Les composant SERCOM I^2C sont décrit à partir de la page 545. L'application note [6] a également été consultée.

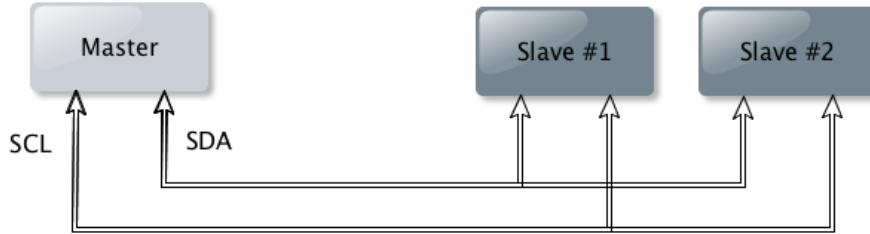


FIGURE 4.9 – Schéma d'un bus I^2C

Le bus I^2C utilise un protocole pour la communication entre un maître et un esclave, en fonction de l'opération voulue le message ne sera pas tout à fait le même. Le maître commence toujours par envoyer un START suivi de l'adresse de l'esclave à qui est destiné le message et puis enfin du type d'opération, lecture ou écriture. Les données sont ensuite placé sur le bus par le maître dans le cas d'une écriture ou par l'esclave lors d'une lecture. Chose importante lorsque le maître à terminé le processus de lecture, il doit envoyé un message de type NACK suivi d'un STOP afin d'informer l'esclave de la fin du transfert. La figure 4.10 propose les deux types de messages qu'il existe.

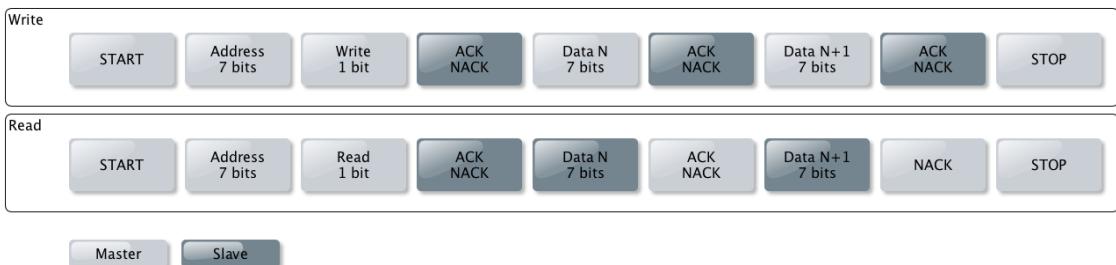


FIGURE 4.10 – Les messages I^2C

Le driver I^2C est responsable du pilotage des SERCOM que propose le micro-contrôleur, ce sont des modules qui peuvent être configuré afin de proposer une interface de type UART, I^2C ou SPI. Étant donné qu'il est intégré directement à Zephyr, il doit respecter les contraintes qui y sont liées c'est à dire d'être placé dans le dossier I^2C du système d'exploitation : zephyr/drivers/i2c/i2c_sam0.c et qu'il doit proposer une interface standardisée qui permet au système d'exploitation d'initier les opérations suivantes.

- Configuration de l'interface
- Transfert de donnée (Lecture/Écriture)

Pour se faire, il faut remplir une structure avec des pointeurs de fonctions qui sont ensuite appelés par le système d'exploitation au besoin. En plus de cela, il faut définir et configurer un device, c'est la structure utilisée par Zephyr qui sera ensuite utilisée par les applications afin de

pouvoir communiquer sur le bus I^2C .

C'est le driver qui en fonction de l'opération à effectuer va envoyer les codes (START ou STOP) suivie des données. Il produira les acquittement nécessaire et Il vérifiera également que l'esclave en question valide bien les messages. L'utilisation d'une l'interruption permet au driver de savoir, après avoir écrit un message dans le SERCOM, quand il a été effectivement envoyé ceci afin de pouvoir initier l'envoie du prochain message.

La figure 4.11 présente le diagramme de classe du driver I^2C .

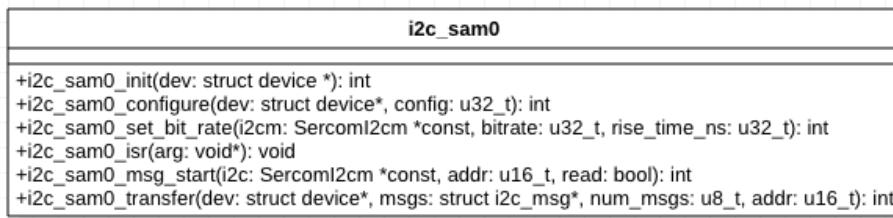


FIGURE 4.11 – Diagramme de class du driver I^2C

Un exemple d'utilisation du driver I^2C est disponible ci-dessous.

```

1 #include <i2c.h>
2
3 /* Address of the i2c slave */
4 #define I2C_DEVICE_ADDR 0x20
5
6 #define BUFFER_SIZE 128
7
8 void main(void) {
9     /* Get binding on i2c device */
10    struct device* i2c_dev = device_get_binding(CONFIG_I2C_SAM0_SERCOM3_LABEL);
11    /* i2c device configuration */
12    u32_t i2c_cfg = I2C_SPEED_SET(I2C_SPEED_FAST) | I2C_MODE_MASTER;
13    uint8_t msg[BUFFER_SIZE];
14
15    /* Check if binding succeeded */
16    if (!i2c_dev) {
17        DBG_PRNTK("%s: Binding to i2c failed\n", __func__);
18        return;
19    }
20    /* Configure I2C Device */
21    if (i2c_configure(i2c_dev, i2c_cfg)) {
22        DBG_PRNTK("%s: i2c configuration failed\n", __func__);
23        return;
24    }
25
26    msg[0] = 0x11;
27    msg[1] = 0x22;
28    msg[2] = 0x33;
29    msg[3] = 0x44;
30
31    /* Send message to i2c slave */
32    if (i2c_write(i2c_dev, msg, 4, I2C_DEVICE_ADDR)) {
33        DBG_PRNTK("%s: I2C access failed\n", __func__);
34    }

```

```
36  /* Read from i2c slave */
37  if (i2c_read(i2c_dev, msg, 4, I2C_DEVICE_ADDR)) {
38      DBG_PRINTK("%s: I2C access failed\n", __func__);
39      return 0;
40  }
41 }
```

4.4.2 Driver UBloxEVA8M

Le driver UBloxEVA8M permet le pilotage du module GPS du même nom qui se trouve connecté sur le bus I^2C . Ce module est intégré directement à la carte SODAQ One et propose une gestion GPS complète, il est capable de recevoir les signaux GPS, GLONASS, QZSS et SBAS, il est extrêmement sensible, très rapide et de petite taille, en somme une solution idéal pour des capteurs de petite taille. Il est décrit en plus détails à la section 4.1.1.

Le module utilise trois types de protocole pour la transmission des données et la configuration du module, NMEA, UPX et RTCM. NMEA est un protocole à base de texte qui envoie des messages formée de caractère ASCII il est idéale lorsque le module est connecté sur un UART. UPX est un protocole compact car il utilise des mots binaires qui sont protégés par des checksum. Enfin le protocole Radio Technical Commission for Maritime Services (RTCM) est unidirectionnel (seulement envoie vers le receveur) qui permet au receveur l'utilisation des corrections du positionnement relatif uniquement. Le driver utilise les messages du protocole UPX car il est le mieux adapté pour l'utilisation sur un bus I^2C , il est décrit en détail dans le document [2].

Une fois que le module a été configuré, il va produire les messages qui ont été activés et contenant diverses informations et les placer dans une FIFO. Au travers du bus I^2C , le thread du driver va interroger le module périodiquement afin de savoir si des messages sont prêt à être lu, si c'est le cas le driver va lire les messages disponibles et les stocker dans une structure de type ubloxeva8m_ubx_msg. L'utilisateur récupère les messages reçus grâce à une fonction callback qui est passée au driver et qu'il appelle à chaque fois qu'un message est prêt.

Dans le cadre du projet, le message UBX-NAV-PVT est utilisé pour récupérer les informations nécessaire au projet, c'est à dire la position, l'évaluation de la précision de la position ainsi que les informations de temps qui servent à synchroniser le capteur. La liste suivante présente un résumé des informations contenue dans ce message, pour plus de détails voir [2, p. 307].

- La date du jour
- L'heure actuelle
- Le type de fix GPS
- La validité et la précision des informations contenues dans le message
- La latitude et longitude
- Le nombre de satellite actuellement vu
- La vitesse

En utilisant le driver I^2C décrit à la section précédente il va permettre l'initialisation, la configuration et la récupération des messages GPS du composant. Une fois le module GPS initialisé et configuré, le driver utilise un thread qui va périodiquement aller voir si de nouveaux messages sont présent dans la FIFO, si c'est le cas ils sont lus et ensuite décodé. Lorsque les messages sont prêt ils sont ensuite transférer à l'application au travers d'une fonction de callback.

La figure 4.12 présente le diagramme de classe du driver UBloxEVA8M.

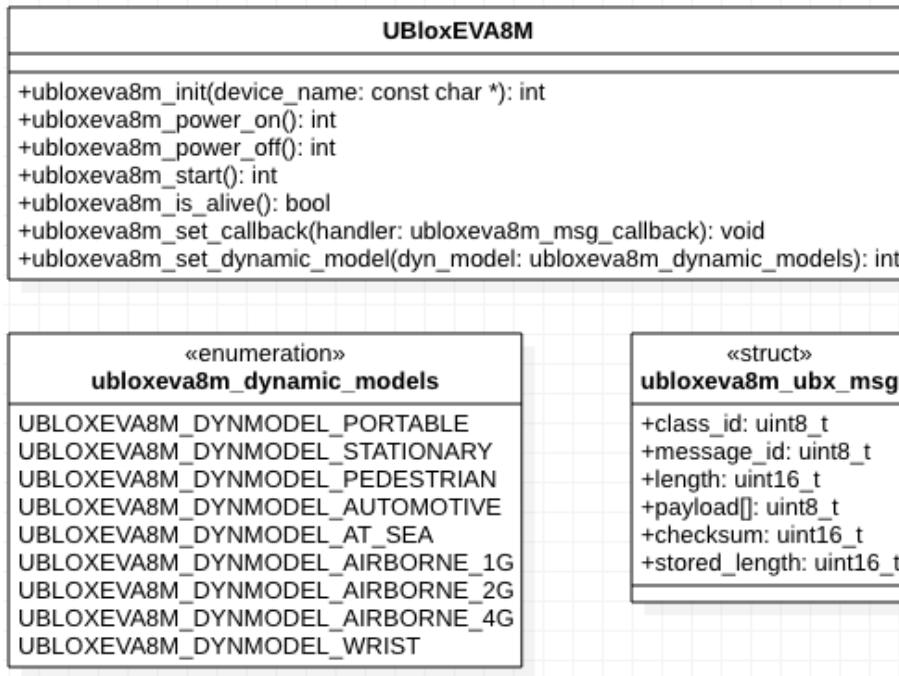


FIGURE 4.12 – Diagramme de class du driver UBloxEVA8M

Un exemple d'utilisation du driver UBloxEVA8M est proposée ci-dessous. Le principe d'utilisation et la configuration d'une fonction qui est appelé par le driver lorsqu'un nouveau message est reçu, une fonction callback. Dans cette fonction, l'utilisateur peut vérifier de quel type de message il s'agit, dans le cas où le message l'intéresse il peut ensuite utiliser les structures permettant le décodage des différents messages.

```

1 #include "UBloxEVA8M.h"
2
3 /* Function to print a UBX-NAV-PVT message */
4 static void print_nav_pvt_msg(char *txt, ubloxeva8m_nav_pvt_t* msg) {
5     DBG_PRNTIK("UBX-NAV-PVT: %.%.%.%d %.%d: %d.%d: %d.%d validity=%d fixType=%d numSV=%d
6         lat=%d lon=%d \n", msg->day, msg->month, msg->year, msg->hour, msg->minute, msg->seconds,
7         , msg->nano, msg->valid, msg->fixType, msg->numSV, msg->lat, msg->lon);
8 }
9
10 /* Callback function on GPS message */
11 static void gps_msg_callback(ubloxeva8m_ubx_msg* msg)
12 {
13     ubloxeva8m_nav_pvt_t pvt_msg;
14
15     /* Check message type */
16     if (msg->class_id == UBLOXEA8M_CLASS_NAV && msg->message_id == UBLOXEA8M_MSG_NAV_PVT)
17     {
18         /* Copy message in struct */
19         memcpy(&pvt_msg, msg->payload, sizeof(ubloxeva8m_nav_pvt_t));
20         print_nav_pvt_msg("UBX-NAV-PVT: ", &pvt_msg);
21     }
22 }
23
24 void main(void)
25 {

```

```
23 int err;  
24  
25 /* Initialize the gps */  
26 err = ubloxeva8m_init(CONFIG_I2C_SAM0_SERCOM3_LABEL);  
27 if (err) {  
28     DBG_PRNTK("%s: Can't initialize UBloxEVA8M %d\n", __func__, err);  
29     return;  
30 }  
31  
32 /* Set callback function */  
33 ubloxeva8m_set_callback(gps_msg_callback);  
34  
35 /* Start module */  
36 err = ubloxeva8m_start();  
37 if (err) {  
38     DBG_PRNTK("%s: Can't start GPS module %d\n", __func__, err);  
39     return;  
40 }  
41  
42 /* Set the dynamic model used by the GPS */  
43 err = ubloxeva8m_set_dynamic_model(UBLOXEV8M_DYNMODEL_AUTOMOTIVE);  
44 if (err) {  
45     DBG_PRNTK("%s: Can't set dynamic model %d\n", __func__, err);  
46     return;  
47 }  
48 }
```

4.4.3 Driver LSM303AGR

Le driver LSM303AGR est le moyen de communiquer avec le module accéléromètre et magnétomètre qui est connecté au bus I^2C . Dans le cadre du projet seule la partie qui gère l'accéléromètre a été développée puisque le magnétomètre n'est pas utilisé. Le composant est décrit en détail dans le datasheet associé [7].

Le composant LSM303AGR est configuré au travers d'une liste de registre, il est également possible de lire les différentes valeurs mesurer au travers d'un autre groupe de registre. Tout les registres disponibles sont détaillés dans le document [7, p. 43].

Puisque le composant LSM303AGR se trouve placé sur le bus I^2C , ce driver utilise également le driver pour ce bus afin de pouvoir communiquer avec le module. La majorité des opérations consiste à écrire ou lire des valeurs dans les différents registres à disposition afin de configurer ou de récupérer les données voulues. Il est à noté qu'il est également possible de configurer le module afin qu'il produise des interruptions lorsque certains seuils sont dépassés sur un certain axe. Cette fonctionnalité est utilisée afin de détecter les pas effectués par le porteur de capteur.

TODO: Revoir diagramme après implémentation finale

La figure 4.13 présente le diagramme de classe du driver LSM303AGR.

Un exemple d'utilisation du driver est proposée ci-dessous.

```
1 #include "LSM303AGR.h"  
2  
3 void main(void)
```

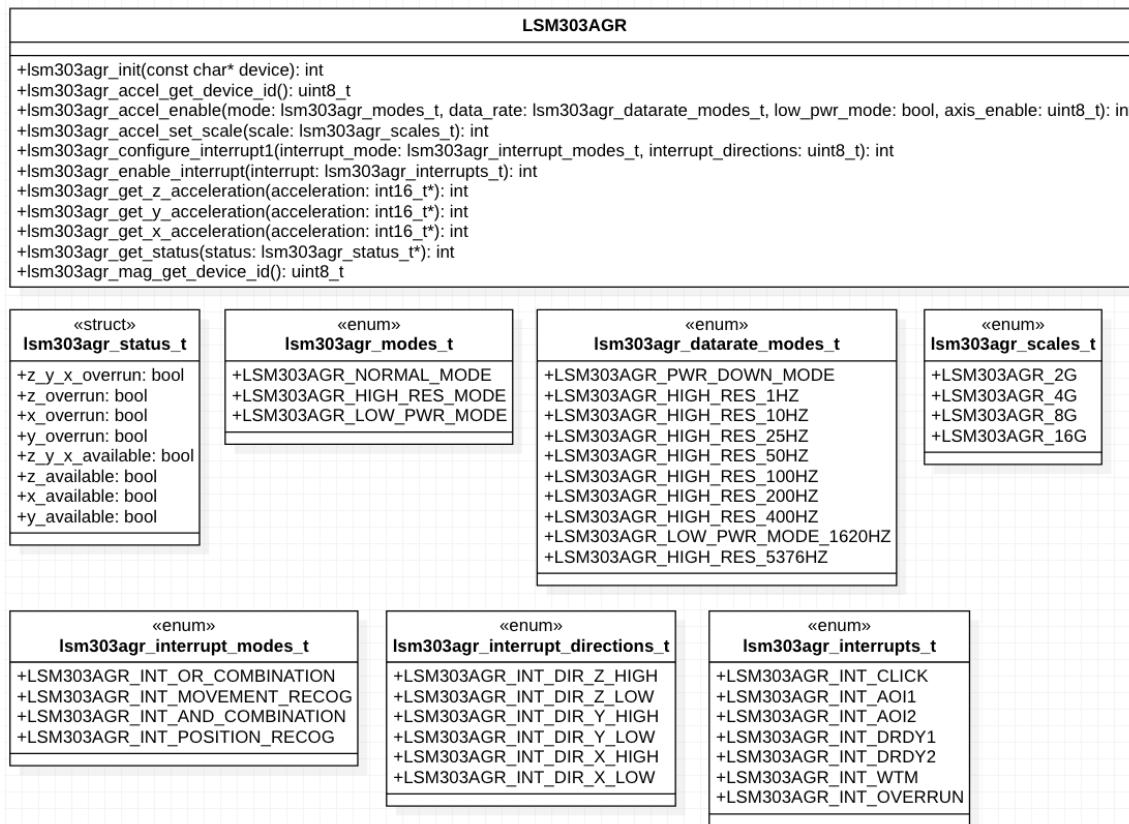


FIGURE 4.13 – Diagramme de classe du driver LSM303AGR

```

4  {
5      int err;
6
7      lsm303agr_status_t lsm_status;
8
9      int16_t accel_x;
10
11     /* Initialize the LSM303AGR module */
12     err = lsm303agr_init(CONFIG_I2C_SAM0_SERCOM3_LABEL);
13     if (err) {
14         DBG_PRNTK("%s: Can't init LSM303AGR %d\n", __func__, err);
15         return;
16     }
17
18     /* Enable the accelerometer */
19     err = lsm303agr_accel_enable(LSM303AGR_NORMAL_MODE, LSM303AGR_HIGH_RES_100HZ, false, (
20         LSM303AGR_Z_AXIS | LSM303AGR_Y_AXIS | LSM303AGR_X_AXIS));
21     if (err) {
22         DBG_PRNTK("%s: Can't enable accelerometer %d\n", __func__, err);
23         return;
24     }
25
26     /* Set accelerometer scale */
27     if (lsm303agr_accel_set_scale(LSM303AGR_8G)) {
28         DBG_PRNTK("Couldn't set accelerometer scale\n");
29         return;
30     }
31
32     /* Get accelerometer status */

```

```
32 if (lsm303agr_get_status(&lsm_status)) {  
33     DBG_PRNTK("Couldn't get status\n");  
34     return;  
35 }  
36  
37 /* Get current acceleration on x axis */  
38 if (lsm303agr_get_x_acceleration(&accel_x)) {  
39     DBG_PRNTK("Couldn't get acceleration\n");  
40     return;  
41 }  
42  
43 /* Get current acceleration on y axis */  
44 if (lsm303agr_get_y_acceleration(&accel_y)) {  
45     DBG_PRNTK("Couldn't get acceleration\n");  
46     return;  
47 }  
48  
49 /* Get current acceleration on z axis */  
50 if (lsm303agr_get_z_acceleration(&accel_z)) {  
51     DBG_PRNTK("Couldn't get acceleration\n");  
52     return;  
53 }  
54 }
```

TODO: Add setup of IRQ

4.4.4 Driver RN2483

Le driver RN2483 permet de piloter le composant du même nom qui permet la communication radio LoRa. Le module est connecté au micro-contrôleur par un UART et il est piloté grâce à un protocole de commande texte qui permette d'effectuer les différentes opérations requises pour l'envoie de donnée.

Le protocole est détaillé dans le document Command Reference User's Guide [3].

Grâce au driver il est possible à l'utilisateur d'effectuer certaines opérations, le driver se charge de créer les bonnes commandes et de les envoyer sur l'UART. Une fois la commande exécutée par le module il vérifie également le bon acquittement de celle-ci.

Il est aussi possible de gérer la couche MAC LoRaWAN grâce au composant, puisque cette couche n'est pas utilisée dans le cadre du projet, elle est désactivée au moyen de la fonction rn2483_lora_pause_mac() et seule la couche radio LoRa est utilisée pour envoyer des messages, cela permet de simplifier grandement la gestion du protocole de communication.

La figure 4.14 présente le diagramme de classe du driver RN2483.

Un exemple d'utilisation du driver est proposée ci-dessous.

```
1 #include "RN2483.h"  
2  
3 /**  
4 * LoRa spreading factor  
5 * (Between sf7 and sf12)  
6 */  
7 #define LORA_SPREADING_FACTOR "sf7"
```

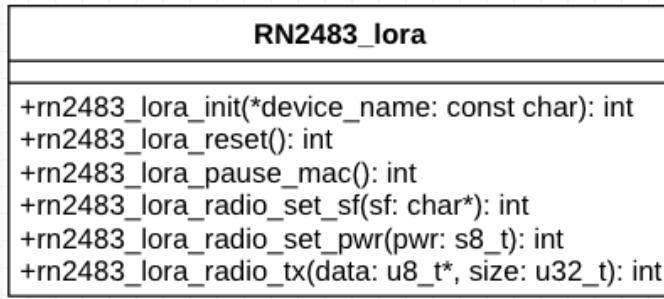


FIGURE 4.14 – Diagramme de class du driver RN2483

```
8 /**
9  * LoRa power output
10 */
11 #define LORA_POWER_OUTPUT 1
12
13
14 #define BUFFER_SIZE 56
15
16 void main(void)
17 {
18     int err;
19     u8_t buffer[BUFFER_SIZE];
20
21     /* Initialize the UART */
22     err = rn2483_lora_init(CONFIG_UART_SAM0_SERCOM2_LABEL);
23     if (err) {
24         DBG_PRNTK("%s: Can't init RN2483 %d\n", __func__, err);
25         return;
26     }
27
28     /* Pause mac layer */
29     err = rn2483_lora_pause_mac();
30     if (err) {
31         DBG_PRNTK("%s: Can't pause mac layer %d\n", __func__, err);
32         return;
33     }
34
35     /* Set spreading factor */
36     err = rn2483_lora_radio_set_sf(LORA_SPREADING_FACTOR);
37     if (err) {
38         DBG_PRNTK("%s: Can't set spreading factor %d\n", __func__, err);
39         return;
40     }
41
42     /* Set power output */
43     err = rn2483_lora_radio_set_pwr(LORA_POWER_OUTPUT);
44     if (err) {
45         DBG_PRNTK("%s: Can't set power output %d\n", __func__, err);
46         return;
47     }
48
49     /* Send data */
50     buffer[0] = 0x11;
51     buffer[1] = 0x22;
52     buffer[2] = 0x33;
```

```

53     buffer[3] = 0x44;
54
55     if (rn2483_lora_radio_tx(buffer, 4) {
56         DBG_PRINK("Couldn't send packet\n");
57         return;
58     }
59 }
```

4.4.5 Driver LEDs

La carte SODAQ One est équipée de 3 LEDs, une rouge, une verte, une bleue, qui sont connectées à des GPIOs. Ce driver, très simple, permet d'abstraire la gestion des GPIO et propose une interface facilitant la gestion des LEDs.

La figure 4.15 présente le diagramme de classe du driver LED.

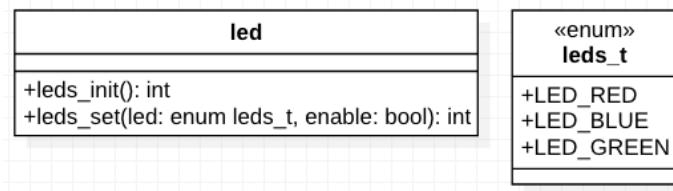


FIGURE 4.15 – Diagramme de classe du driver LED

Un exemple d'utilisation du driver est disponible ci-dessous.

```

1 #include "led.h"
2
3 void main(void)
4 {
5     int err;
6
7     err = leds_init();
8     if (err) {
9         DBG_PRINK("%s: Cannot initialize LEDs\n", __func__);
10        return;
11    }
12
13    while(1) {
14        /* Switch-on LED */
15        leds_set(LED_RED, true);
16        /* Delay */
17        k_sleep(K_SECONDS(1));
18        /* Switch-off LED */
19        leds_set(LED_RED, false);
20        /* Delay */
21        k_sleep(K_SECONDS(1));
22    }
23 }
```

4.4.6 Driver External Interrupt Controller

Lorsqu'un battement du cœur du sportif est détecté par le module rythme cardiaque, une impulsion est générée sur une ligne connectée à un GPIO du micro-contrôleur. Afin de pouvoir

compter proprement les battements une interruption doit pouvoir être déclenchée lorsque l'impulsion est détectée. Dans Zephyr cela se traduit par la configuration au travers du driver GPIO, on peut spécifier si l'on souhaite déclencher une interruption et dans quelles conditions, flanc montant ou descendant ou alors lors d'un niveau haut ou bas. Cependant cette fonctionnalité n'était pas présente au moment du travail de Bachelor. Afin de pouvoir proposer cette fonctionnalité un driver de gestion des interruptions externe ou External Interrupt Controller (EIC) a dû être développé. Une fois le driver développé il a fallut ensuite modifier le driver GPIO afin de pouvoir proposer cette fonctionnalité.

La figure 4.16 présente le diagramme de classe du driver External Interrupt Controller.

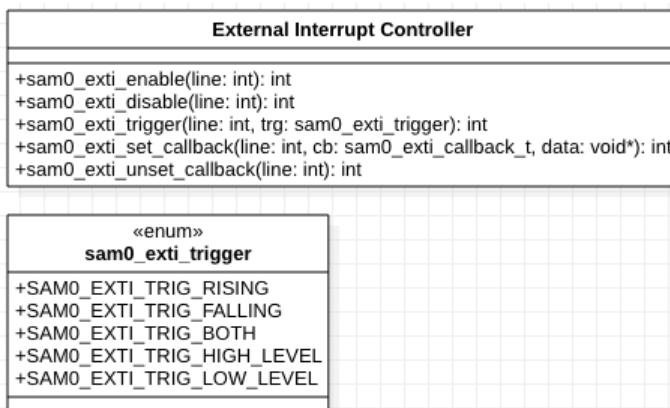


FIGURE 4.16 – Diagramme de classe du driver External Interrupt Controller

Un exemple d'utilisation du driver est disponible ci-dessous.

```

1 #include "exti_sam0.h"
2
3 void gpio_callback(int line, void *user)
4 {
5     DBG_PRNTK("GPIO interruption triggered");
6 }
7
8 void main(void)
9 {
10    int err;
11    int line = 1;
12
13    err = sam0_exti_enable(line);
14    if (err) {
15        DBG_PRNTK("%s: Cannot enable external interrupt\n", __func__);
16        return;
17    }
18
19    err = sam0_exti_trigger(line, SAM0_EXTI_TRIG_RISING);
20    if (err) {
21        DBG_PRNTK("%s: Cannot set interrupt trigger type\n", __func__);
22        return;
23    }
24
25    err = sam0_exti_set_callback(line, gpio_callback);
26    if (err) {
27        DBG_PRNTK("%s: Cannot set interrupt trigger type\n", __func__);
28        return;

```

```
29     }
30
31     while (1) {
32         k_sleep(K_SECONDS(1));
33     }
34 }
```

4.5 Paquet de donnée

Le capteur transmet les données qui sont acquises au cours de la course grâce à un paquet de donnée LoRa. Le format et le contenu de ce paquet sont présentés ci-dessous.

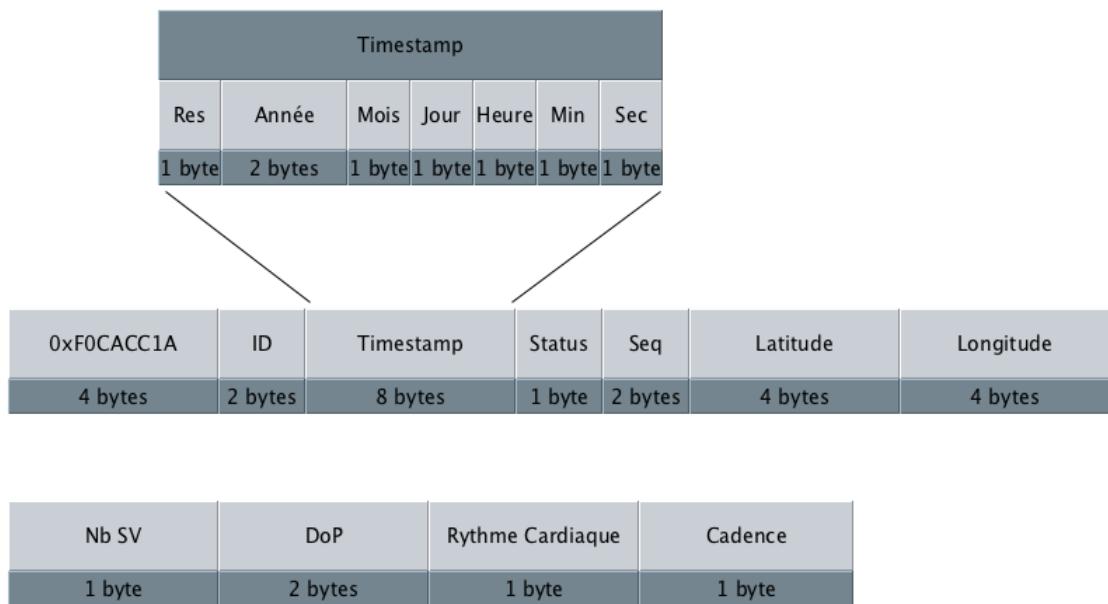


FIGURE 4.17 – Format du paquet de donnée LoRa

Le paquet fait une taille totale de 30 bytes et est composé des éléments suivants.

TABLE 4.3 – Détails des champs du paquet de données radio LoRa

| Champs | Taille | Type | Description |
|------------------|--------|------|--|
| Marqueur | 4 | uint | Une valeur fixe servant de marqueur et permettant d'identifier que le paquet provient bien d'un capteur du système |
| ID | 1 | uint | Identifiant du capteur qui a généré le paquet |
| Timestamp | 8 | uint | Heure et date au moment de la génération du paquet |
| Status | 1 | uint | Status du capteur |
| Seq | 1 | uint | Numéro de séquence du paquet. Chaque fois qu'un paquet est généré le compteur est incrémenté de un, cela permet de détecter lorsque des paquets sont perdu |
| Latitude | 4 | int | Latitude du capteur reporté directement depuis le module GPS |
| Longitude | 4 | int | Longitude du capteur reporté directement depuis le module GPS |
| Nb SV | 1 | uint | Nombre de satellites GPS en vue |
| DoP | 2 | int | Disolution of Position, la qualité de la précision de la position GPS |
| Rythme cardiaque | 1 | uint | Rythme cardiaque de l'athlète |
| Cadence | 1 | uint | Cadence de l'athlète |

4.6 Le déboggage

TODO:

4.7 Le boîtier

TODO:

5 Description de la passerelle

La passerelle est chargée du traitement des paquets reçus par les capteurs et du stockage de ces données dans la base de données.

Elle se compose de deux parties physiques, d'une part un module de gestion de la communication LoRa, le concentrateur, qui se charge de la réception des paquets radio LoRa. L'autre partie est le micro-ordinateur, lorsqu'un paquet de données est reçu par le concentrateur, l'ordinateur de traitement le récupère puis se charge de décoder les données pour ensuite les stocker.

D'autre part, la passerelle fait également office d'accès point WiFi, les applications qui souhaitent pouvoir accéder à la base de données se connectent directement à ce réseau. Ce sera le cas de l'application mobile par exemple.

La passerelle utilise une distribution du système d'exploitation Linux sur lequel sont exécutés deux programmes : le packet forwarder et le serveur d'application.

Le packet forwarder est un logiciel qui est disponible sur internet gratuitement, son but est de récupérer les messages LoRa reçus par le concentrateur et de transformer les paquets en objets de type json qui sont ensuite transmis au travers d'un socket sous la forme d'un paquet UDP.

Le serveur d'application qui a été développé spécialement pour le travail de Bachelor, est le programme qui se charge du traitement des paquets UDP envoyés par le packet forwarder. C'est lui qui est responsable d'extraire les données des objets json et de les stocker dans la base de données.

Afin de pouvoir respecter les contraintes de temps du TB, une seule passerelle a été assemblée pour le projet.

La figure 5.1 présente le schéma block de la passerelle.

5.1 Le matériel

L'ordinateur de traitement des paquets LoRa se base sur le micro-ordinateur très connu Raspberry Pi. Il dispose de toutes les ressources nécessaires pour les besoins du travail de Bachelor, de plus la communauté et la documentation à son sujet est très développée.

Pour rappel les caractéristiques du Raspberry Pi sont résumées dans la table 5.1.

Pendant la pré-étude deux concentrateurs différents avaient été étudiés, le choix final s'est porté sur la solution d'un concentrateur moins coûteux, le Dragino LoRa HAT. C'est un concentrateur de type simple canal, c'est à dire qu'il n'est capable d'écouter qu'un seul canal de fréquence à la fois, ce qui convient parfaitement pour un prototype comme celui développé pour le projet puisque un seul capteur est assemblé. Le Dragino LoRa HAT est un module d'extension pour la Raspberry Pi, il est conçu pour se fixer au dessus de lui facilement. En plus de la gestion de la couche radio LoRa le module propose également un module GPS qui pourrait se rendre utile afin de pouvoir déterminer la position des passerelles, cet axe pourrait être étudié d'avantage pour le développement d'un produit.

Pour rappel les caractéristiques du Dragino Hat sont résumées dans la table 5.2.

TABLE 5.1 – Caractéristiques du Raspberry Pi 3 Model B+

| | |
|-----------------|--|
| Dimensions | 85mm x 49mm |
| Microcontrôleur | Broadcom BCM2837B0 – Cortex-A53 64-bit |
| Oscillateur | 1.4 Ghz |
| Stockage | Carte SD |
| RAM | 1 GB SDRAM |
| WiFi | 802.11 b/g/n/ac |
| Prix | 34.50 CHF |

TABLE 5.2 – Caractéristiques du Dragino LoRa Hat

| | |
|--------------------|--------------------|
| Dimensions | 60mm x 53mm x 25mm |
| LoRa | SX1276 |
| Type de passerelle | Simple canal |
| Prix | 38.90 CHF |

Le Raspberry Pi et le Dragino LoRa HAT communiquent au travers d'un bus de type SPI. La gestion de la communication est entièrement gérée par le logiciel packet forwarder détaillé dans la chapitre 5.2.

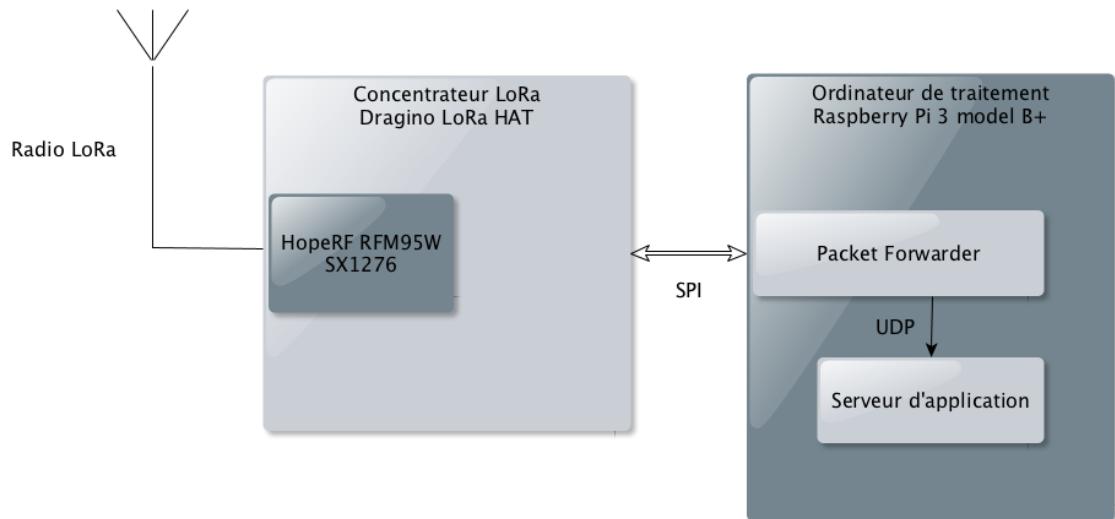


FIGURE 5.1 – Schéma block de la passerelle

TODO: Figure RPI + Dragino

5.2 Le packet forwarder

Le packet forwarder est le logiciel qui se place en amont du serveur d'application, il est en charge de la gestion du Dragino LoRa HAT, c'est à dire qu'il va régulièrement interroger le module d'extension pour savoir si de nouveaux paquets sont disponibles, si c'est le cas, le packet forwarder va les récupérer en analyser le contenu afin de pouvoir créer un objet json contenant toutes les

informations. En plus de cela il va aussi rajouter des meta-données, comme le temps de réception du paquet ainsi que la fréquence et le facteur d'étalement par exemple.

Une fois les données transformé en json, le tout est envoyé au moyen d'un paquet UDP à un serveurs, dans notre cas le serveur d'application. La liste suivante décrit les informations contenu dans le paquet.

- La version du protocole utilisée
- Un jeton aléatoire utilisé pour marquer les paquets
- Un identifiant du type de message
- Un identifiant unique de la passerelle
- L'objet json

Pour les paquets de type PUSH_DATA, qui sont les seuls paquets utilisés dans le cadre du projet et qui sont créé pour les données du flux montant (noeud -> passerelle), l'objet json contient un tableau nommé rxpk. Chaque élément du tableau peut contenir les informations suivantes.

- time : Heure UTC à la réception du paquet
- tmms : Temps GPS à la réception du paquet (nombre de ms depuis le 6 janvier 1980)
- tmst : Temps interne de l'événement "RX finished"
- freq : La fréquence centrale en Mhz à la réception
- chan : Le canal de réception
- rfch : La chaîne radio fréquence utilisée pour la réception
- stat : Status du CRC du paquet (1 = OK, -1 = NOK, 0 = Pas de CRC)
- modu : Modulation LORA ou FSK
- datr : Le taux de transfert LoRa (par exemple SF12BW500, facteur d'étalement 12, largeur de bande 500Mhz)
- codr : Identifiant du taux LoRa ECC
- rss : RSSI (Received Signal Strength Indication) en dBm
- lsnr : SNR (Signal to Noise Ratio) LoRa en dB
- size : La taille en byte de la charge utile du paquet radio LoRa
- data : La charge utile du paquet encodée en Base64

Un exemple d'objet json envoyé par le packet forwarder est présenté ci-dessous.

TODO: Mettre vrai exemple

```

1  {
2      "rxpk": [
3          {
4              "time": "2013-03-31T16:21:17.528002Z",
5              "tmst": 3512348611,
6              "chan": 2,
7              "rfch": 0,
8              "freq": 866.349812,
9              "stat": 1,
10             "modu": "LORA",
11             "datr": "SF7BW125",
12             "codr": "4/6",
13             "rss": -35,
14             "lsnr": 5.1,
15             "size": 32,
16             "data": "-DS4CGaDCdG+48eJNM3Vai-zDpsR71Pn9CPA9uCON84"
17         }
18     ]
}
```

Le protocole est décrit en grand détails sur la page github du packet forwarder de Semtech voir [8].

A la base le packet forwarder a été développé par la société Semtech, tenante de la patente du protocole de communication LoRa, c'est également cette société qui a défini le format des objets json envoyées dans les paquets UDP. Cependant la version qui est utilisée dans le cadre du projet de Bachelor, est un fork sur lequel plusieurs personnes ont travaillé afin de rajouter un certains nombre de fonctionnalité comme l'utilisation de fichiers de configuration ou le support de concentrateurs divers. Les principaux acteurs du développement de ce logiciel sont la société Semtech, Thomas Telkamp, Charles Hallard et Julien Le Sech. C'est le fork de Charles Hallard qui est employé par le projet car il supporte le Dragino LoRa HAT, il est disponible gratuitement sur github. [9]

Les tâches en lien avec le packet forwarder sont très simples, il s'agit d'abord de cloner le repository git, de compiler le programme puis de configurer le packet forwarder au moyen d'un fichier json, principalement pour sélectionner la fréquence et le facteur d'étalement sur lequel il doit écouter ainsi que l'adresse et le port du serveur auquel on souhaite envoyer les paquets UDP générés. On peut ensuite exécuter simplement le packet forwarder et dès la réception de paquets ils seront automatiquement transférés.

5.3 Le serveur d'application

Le serveur d'application est le logiciel principal de gestion de la passerelle. Au démarrage il se connecte à un port du packet forwarder, ce qui lui permet ensuite de recevoir les paquets de données LoRa sous la forme d'objet json. D'autre part il va également gérer la connexion à la base de données afin de pouvoir y sauver les informations qui auront été extraites des paquets.

Afin de rendre le serveur d'application plus flexible, un shell est intégré au programme, ce qui permet d'exécuter diverses commandes pendant son exécution afin d'acquérir des informations sur l'état du serveur ou d'écrire toutes les positions GPS acquises dans un fichier par exemple afin d'aider durant le debug du système.

Le serveur d'application est écrit en C++ et s'exécute sur le système d'exploitation Linux.

5.3.1 Architecture logiciel

L'architecture logiciel du serveur d'application se compose de 3 couches différentes, la couche application, la couche paquet LoRa et la couche outils. Le serveur d'application peut fonctionner en deux modes, course ou test. Le mode course est le mode standard, dans ce mode le serveur d'application récupère les paquets envoyés par le capteur, extrait les informations et les stocke dans la base de données. Dans le mode test, les paquets sont récupérés mais ne sont stockés que localement afin de pouvoir faire différents tests sur le système. Il est possible de changer de mode en utilisant le shell du serveur d'application.

La figure 5.2 présente l'architecture statique du serveur d'application.

Les différents modules qui composent le serveur d'application sont résumés dans la liste suivante.

- Race App Server : C'est la classe principale du serveur d'application, c'est elle qui ré-



FIGURE 5.2 – Architecture statique du serveur d'application

ceptionne les paquets en provenance du packet forwarder et qui déclenche la chaîne de gestion des paquets

- Race Tracker Data : L'interface entre la base de données et le serveur d'application permet l'exécution de requête SQL grâce à la librairie pqxx
- Race Mode Handler : Gestionnaire du mode "Race", une fois que les données du paquet reçu sont extraites c'est cette classe qui stock les données dans la base
- Race Mode Record : L'enregistrement du mode "Race", cette classe contient les données extraites du paquet
- Test Mode Handler : Gestionnaire du mode "Test", vérifie que les paquets reçu se suivent et garde ces informations en mémoire
- Test Mode Record : L'enregistrement du mode "Test", contient les données extraites du paquet test
- LoRa Packet Forwarder Parser : Parse les données brutes reçues depuis le socket et permet de savoir si le paquet est de type PUSH_DATA
- LoRa Push Data Parser : Lorsque le paquet reçu est de type PUSH_DATA, c'est cette classe qui extrait les informations du paquet, dont l'objet json qui nous intéresse
- LoRa rxpk Parser : Une fois le paquet PUSH_DATA parse, c'est cette classe qui s'occupe d'extraire les informations de l'objet json envoyé dans le paquet et qui est ensuite traité par les classes Race Mode Handler ou Test Mode Handler
- base64 : Une classe développée par la société Semtech qui permet le décodage de chaînes de caractères encodées en base64
- rapidjson : Permet la manipulation d'objets de type json, développé par la société Tencent
- vector reader : Une classe qui permet la lecture de données depuis un vecteur d'octet

- shell & shell command : Le module shell qui permet la création de commandes, leurs gestion et exécution
- logger : Une classe permettant de logger des messages de criticité différentes

TODO: Add lib extern to biblio with url

La figure 5.3 montre le flux des données reçus par le serveur d'application et quelle classe est responsable de sa gestion.

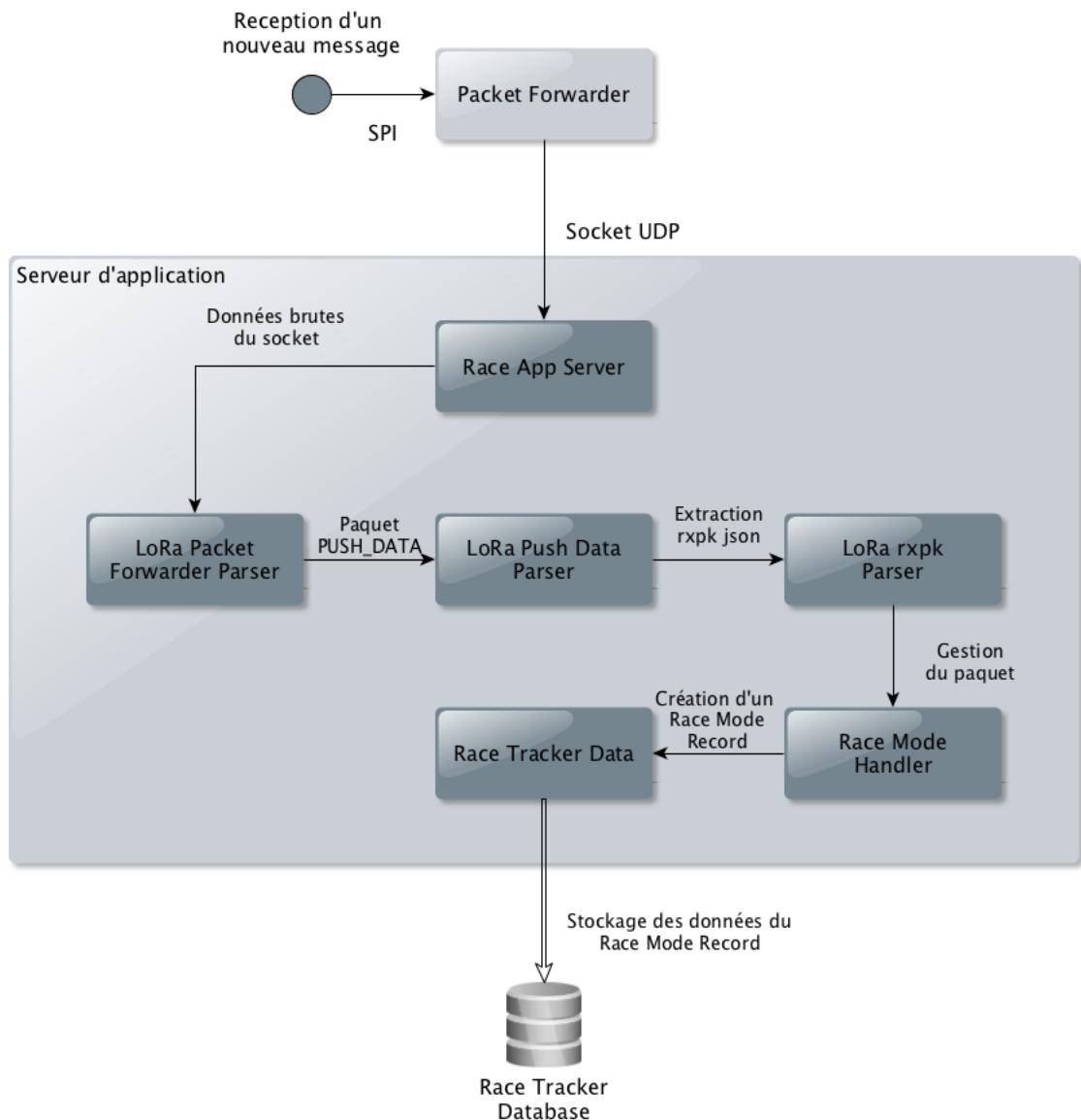


FIGURE 5.3 – Flux des données du serveur d'application

Le serveur d'application est composé de deux threads qui sont gérés par le système d'exploitation, le premier est responsable de la réception des paquets du packet forwarder, c'est à dire qu'il attend sur un socket que des données soit disponibles. L'autre thread est utilisé pour le shell, il attend une entrée au clavier et l'exécute.

Les threads du serveur d'application sont gérés par la librairie standard pthread, ils n'ont pas de priorité spécifique et sont de type asynchrone, c'est à dire que tout deux attendent un événement

précis avant de se débloquer.

La figure 5.4 montre l'architecture dynamique du serveur d'application.

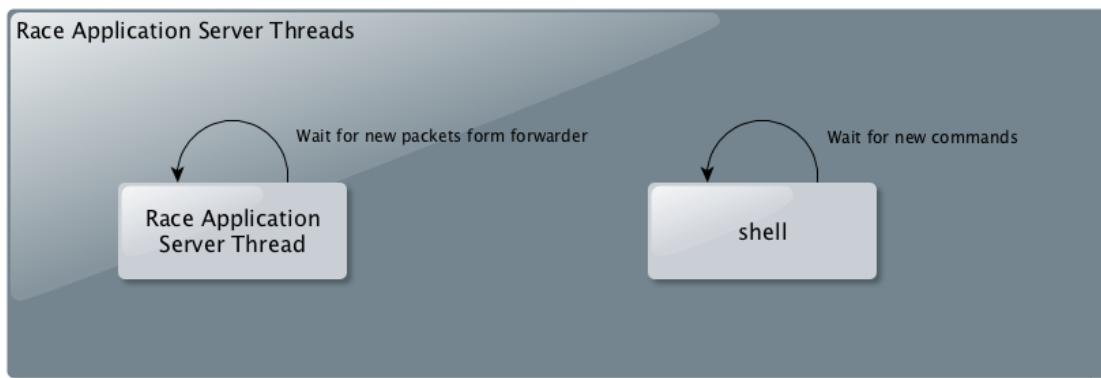


FIGURE 5.4 – Architecture dynamique du serveur d'application

5.3.2 Les librairies externes

Le serveur d'application utilise plusieurs librairies externes qui sont décrite dans cette section.

La librairie pqxx est la librairie officiel qui permet d'exécuter simplement des requêtes PostgreSQL sur des base de données de type relationnelle. Elle est open source, multi-plateforme et disponible gratuitement avec une license BSD sur internet à l'adresse <http://pqxx.org/development/libpqxx/>.

Un exemple simple d'exécution d'une requête est présenté ci-dessous.

```
1 #include <pqxx/pqxx>
2
3 int main(void) {
4     pqxx::connection c("dbname = race_tracker_db user = pi password = heig hostaddr =
5                         127.0.0.1 port = 5432");
6     pqxx::work t{c};
7
8     if (!c.is_open()) {
9         throw std::runtime_error("Cannot connect to database " + connection_str);
10    }
11
12    c.prepare("print_competitions", "SELECT * FROM race_tracker.competition;");
13
14    pqxx::result r = t.prepared("print_competitions").exec();
15
16    for (auto row: r) {
17        std::cout << "Competition id=" << row["competition_id"] << "name=" << row["name"] <<
18        std::endl;
19    }
20
21    return 0;
22 }
```

base64 est une classe écrite par la société Semtech également proposée en open source avec une license de type revised BSD. https://github.com/Lora-net/packet_forwarder/blob/

master/lora_pkt_fwd/src/base64.c

```
1 #include "base64.h"
2
3 #define BUF_SIZE 256
4
5 int main(void) {
6     uint8_t buffer[BUF_SIZE];
7     int nb_bytes_conv;
8     char b64_str[] = { "-DS4CGaDCdG+48eJNM3Vai-zDpsR71Pn9CPA9uCON84" };
9     int bin_size = 32;
10
11    /* Decode data from base64 */
12    nb_bytes_conv = b64_to_bin(b64_str, strlen(b64_str), buffer, BUF_SIZE);
13    if (nb_bytes_conv == -1 || (unsigned int)nb_bytes_conv != bin_size) {
14        throw std::runtime_error("Couldn't convert the base64 data (actual=" + std::to_string(
15            nb_bytes_conv) + " expected=" + std::to_string(bin_size)));
16    }
17
18    std::cout << "Decoded data=";
19    for (int i = 0; i < bin_size; i++) {
20        std::cout << (unsigned)buffer[i];
21    }
22    std::cout << std::endl;
23
24    return 0;
25 }
```

La librairie rapidjson est un parser et générateur de chaîne JSON rapide et efficient qui propose une API de style SAX/DOM. Elle est développée par la société Tencent et open source. Disponible à l'adresse <http://rapidjson.org/>.

```
1 #include <rapidjson/document.h>
2
3 int main(void) {
4     std::string json_str = "
5     {
6         \"hello\": \"world\",
7         \"t\": true ,
8         \"f\": false ,
9         \"n\": null ,
10        \"i\": 123,
11        \"pi\": 3.1416,
12        \"a\": [1, 2, 3, 4]
13    } ";
14     rapidjson::Document doc;
15     static const char* kTypeNames[] = { "Null", "False", "True", "Object", "Array", "String",
16                                         "Number" };
17
18     rapidjson::StringStream packet_stream(json_string.c_str());
19     doc.ParseStream(packet_stream);
20
21     /* Print all json members name and type */
22     for (Value::ConstMemberIterator itr = document.MemberBegin(); itr != document.MemberEnd()
23          ; ++itr)
24     {
25         printf("Type of member %s is %s\n", itr->name.GetString(), kTypeNames[itr->value.
GetType()]);
```

```

24     }
25
26     return 0;
27 }
```

5.3.3 Les classes

Cette section décrit les classes développés dans le cadre du serveur d'application.

Plus d'informations sur les classes sont disponible en annexe de ce document dans la documentation Doxygen. TODO: doxygen

Race App Server

La classe Race App Server est la classe centrale du serveur d'application, lors de son initialisation elle crée un socket et le configure puis un thread. Lorsqu'elle reçoit un paquet du packet forwarder elle le parse puis le gère en utilisant les autres classes. Lorsque le nouveau paquet est géré, elle attend le suivant.

La figure 5.5 montre le diagramme de séquence de la classe.

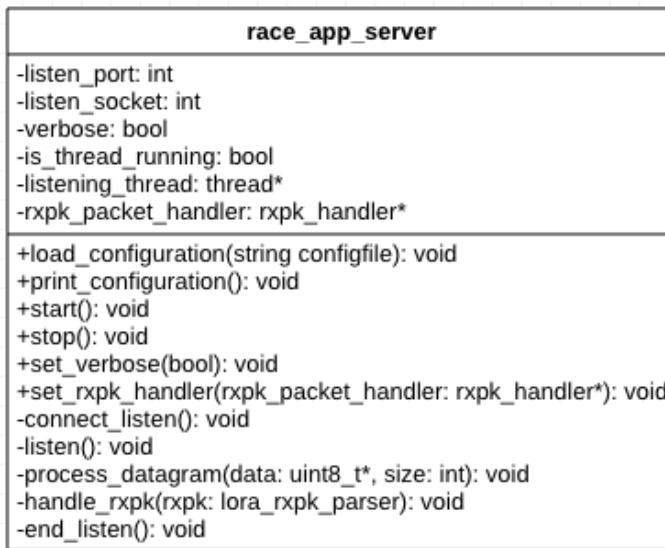


FIGURE 5.5 – Diagramme de classe de Race App Server

Les opérations effectué pour traiter un nouveau paquet reçu sont décris dans le diagramme de séquence 5.6.

Race Tracker Data

L'interface entre la base de données et le serveur d'application est gérée par la classe Race Tracker Data. Par le biais de librairie pqxx, elle va effectuer les requêtes SQL nécessaire afin de stocker une nouvelle position.

La principale fonction de cette classe est de transformer une classe de type Race Mode Record en requête SQL et d'exécuter la requête afin de stocker les informations dans la base de données.

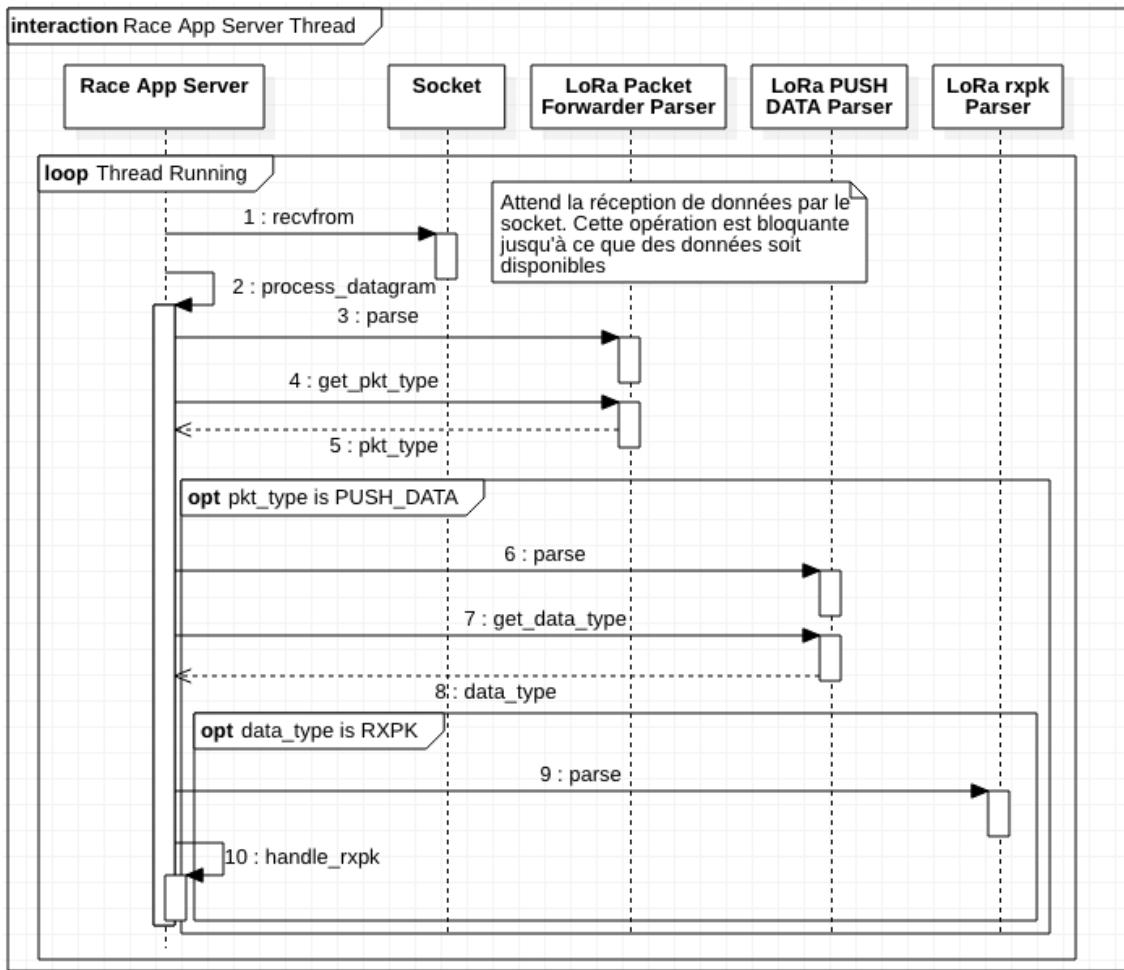


FIGURE 5.6 – Diagramme de séquence des opérations du thread de la classe Race App Server

La figure 5.7 montre le diagramme de classe de Race Tracker Data.

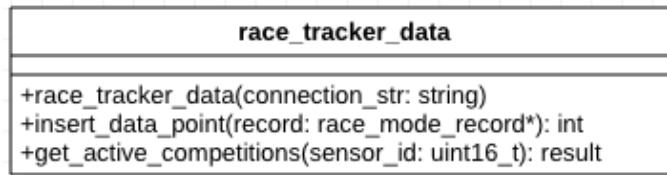


FIGURE 5.7 – Diagramme de classe de Race Tracker Data

rpxk Handler

La classe rpxk Handler est une classe abstraite qui permet de définir la méthode nécessaire qui permet de faire la gestion d'un paquet reçu. Les classes Race Mode Handler et Test Mode Handler héritent toutes deux de la classe rpxk Handler.

La figure 5.8 montre le diagramme de classe de rpxk Handler.

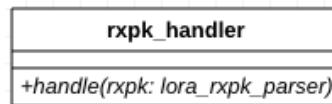


FIGURE 5.8 – Diagramme de classe de rxpk Handler

Race Mode Handler & Record

Comme expliqué précédemment le serveur d'application peut fonctionner en deux modes, les classes Race Mode Handler & Race Mode Record gère le mode "Race". Dans ce mode les paquets reçu sont analysés, les données extraites puis stockés dans la base. La classe Race Mode Handler reçoit une instance de LoRa rxpk Parser contenant toutes les données brutes envoyées par le capteur, au moyen de la classe Vector Reader elle va extraire les différents champs et créer une instance de Race Mode Record contenant toutes les données décodées, ensuite grâce à la classe Race Tracker Data le tout est enregistré dans la base de données.

La figure 5.9 montre le diagramme de classe de Race Mode Handler et Race Mode Record.

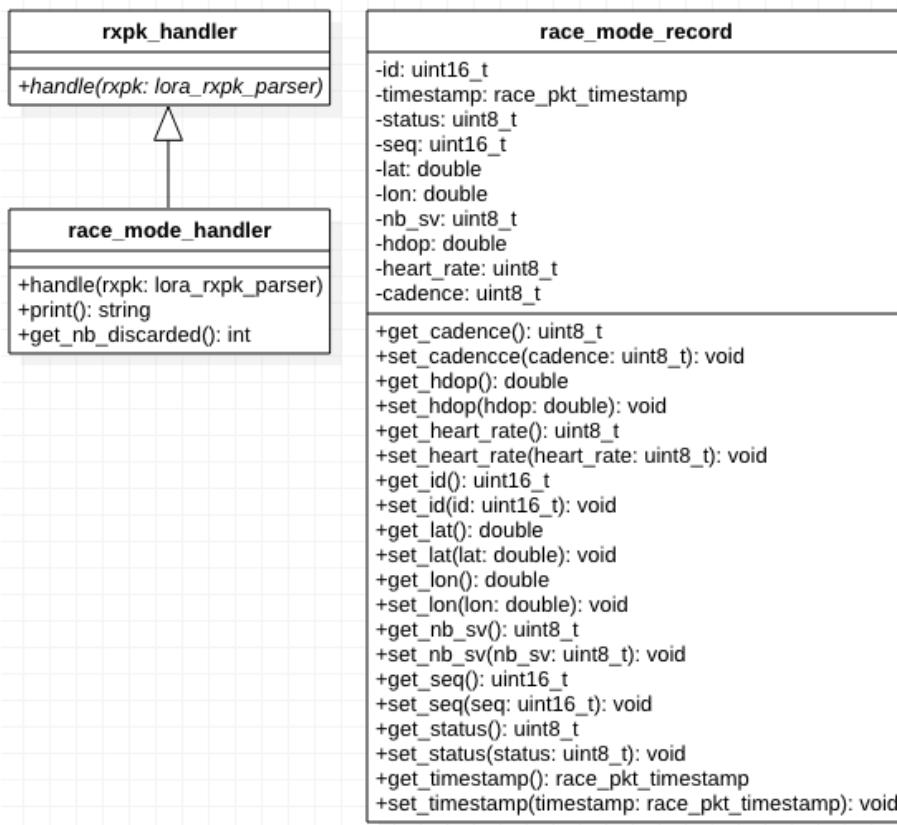


FIGURE 5.9 – Diagramme de classe de Race Mode Handler et Race Mode Record

Test Mode Handler & Record

Les classes Test Mode Handler et Test Mode Record permettent la gestion du mode "Test". Ce mode utilise un format de paquet différent du mode "Race" qui est décrit dans le chapitre 9 et contrairement au mode "Race" il ne sauvegarde pas les données ainsi reçus dans la base de données, mais uniquement localement en mémoire et si demandé par l'utilisateur dans un fichier.

La figure 5.10 montre le diagramme de classe de Test Mode Handler et Test Mode Record.

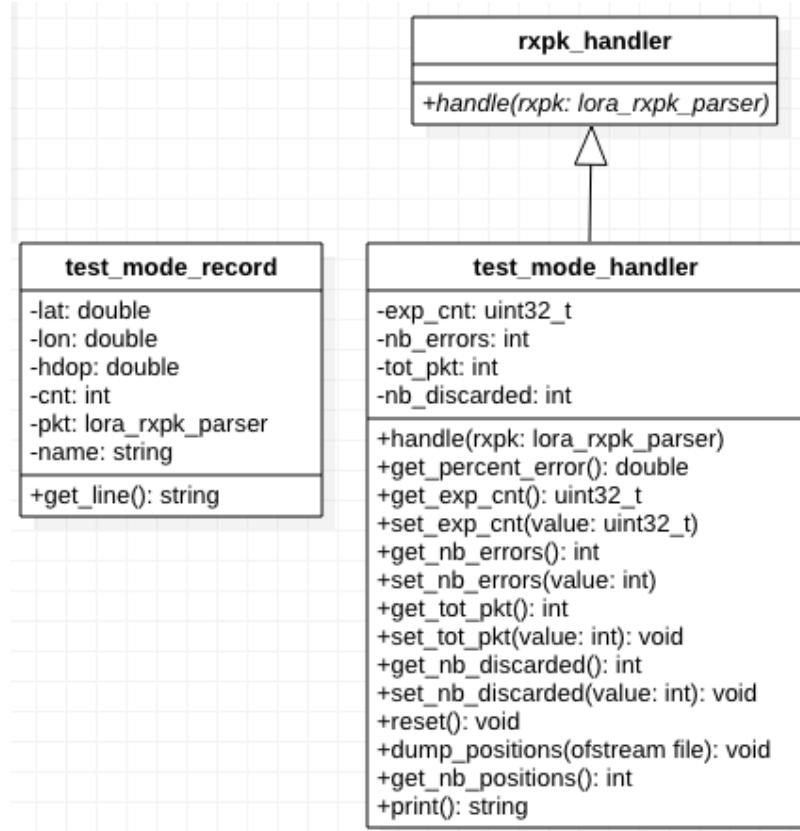


FIGURE 5.10 – Diagramme de classe de Test Mode Handler et Test Mode Record

LoRa Packet Forwarder Parser

Le LoRa Packet Forwarder Parser permet de parser les données reçus par le socket et de déterminer si c'est un paquet de type PUSH_DATA.

La figure 5.11 montre le diagramme de classe de LoRa Packet Forwarder Parser.

LoRa Push Data Parser

Si le paquet est de type PUSH_DATA, comme reporté par la classe LoRa Packet Forwarder Parser, alors le reste des données peut être extrait en utilisant la classe LoRa Push Data Parser. Cette classe permet de savoir si le contenu du paquet correspond à un objet json nommée rxpk (Réception de donnée) ou stat (Statistiques envoyé périodiquement par le packet forwarder).

La figure 5.12 montre le diagramme de classe de LoRa Push Data Parser.

LoRa rxpk Parser

Une fois que l'on a déterminé que le paquet est de type PUSH_DATA et qu'il contient bien un objet json rxpk, le type de paquet qui nous intéresse, alors la classe LoRa rxpk Parser permet d'extraire les informations intéressante qui sont contenues dans l'objet json. Grâce aux fonctionnalités de la bibliothèque rapidjson, les différents champs composant le tableau json rxpk sont

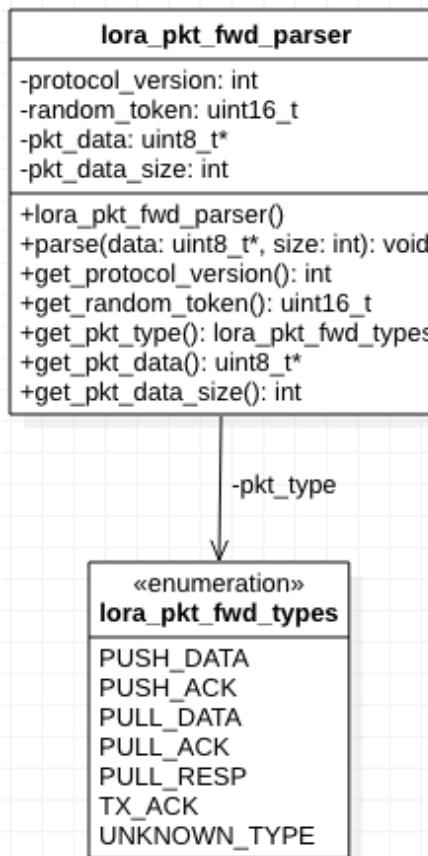


FIGURE 5.11 – Diagramme de classe de LoRa Packet Forwarder Parser

extraits et décodés afin d'être facilement accessible. Les données du paquet, qui sont encodés en base64 sont également décodé pendant cette étape.

La figure 5.13 montre le diagramme de classe de LoRa rxpk Parser.

Vector Reader

Le Vector Reader est une classe qui permet l'extraction de données depuis un vecteur de byte. Les données qui sont reçu dans les paquets sous forme d'objet json contient les données encodée en base64, une fois les données décodées elles sont transformées en vecteur de byte et c'est donc grâce à la classe Vector Reader que l'on peut en extraire les différents paramètres.

La figure 5.14 montre le diagramme de classe de Vector Reader.

Shell & Shell Command

La classe Shell est responsable de la gestion du shell de la passerelle qui permet à l'utilisateur d'exécuter des commandes afin d'effectuer diverses opérations. C'est cette classe qui dispose d'un thread en écoute sur l'entrée du clavier, lorsqu'une commande est entrée le Shell va allez regarder dans sa liste de commande si elle existe et l'exécuter. La Shell Command est une classe abstraite qui permet de définir le nom et le comportement d'une commande, une fois définit elle est ajoutée au Shell au moyen de la méthode *add_cmd()*.

La figure 5.15 montre le diagramme de classe de Shell et Shell Command.

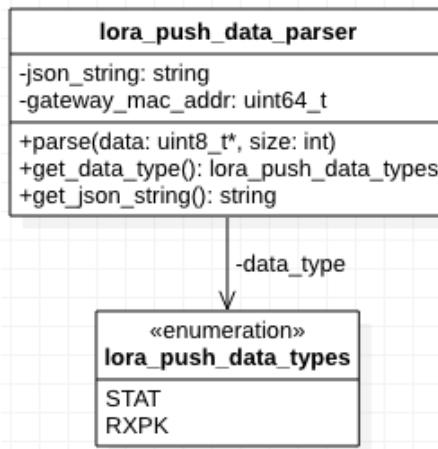


FIGURE 5.12 – Diagramme de classe de LoRa Push Data Parser

Logger

Le logger est une simple classe qui permet l'affichage de message de log sur la sortie standard. Elle est principalement utilisée pour des questions de debug. Il est possible de loguer différents types de message, information, warning, erreur et également de filtrer certains types de messages que l'on ne souhaite pas recevoir par exemple.

La figure 5.16 montre le diagramme de classe de Logger.

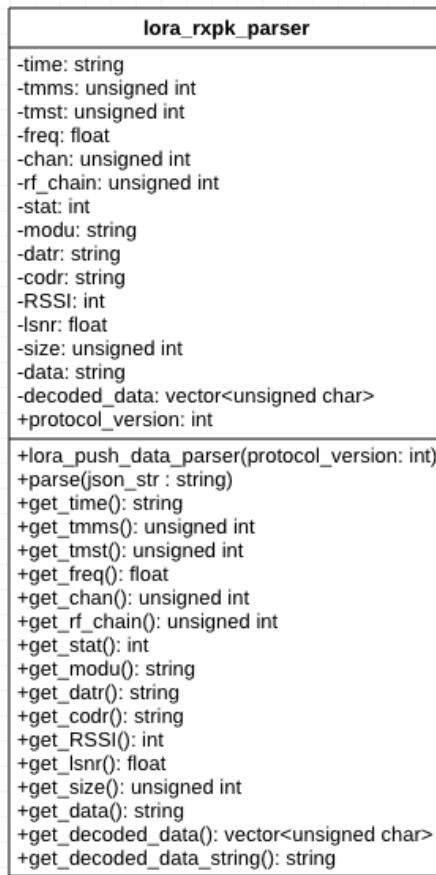


FIGURE 5.13 – Diagramme de classe de LoRa rxpk Parser

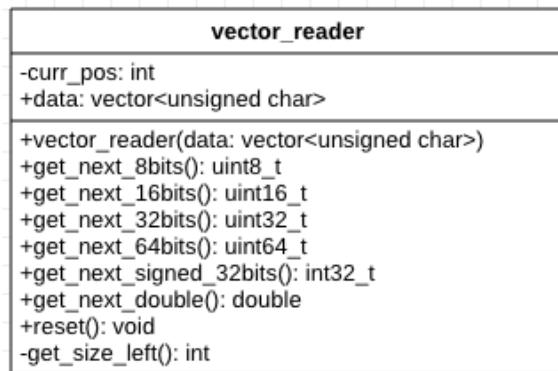


FIGURE 5.14 – Diagramme de classe de Vector Reader

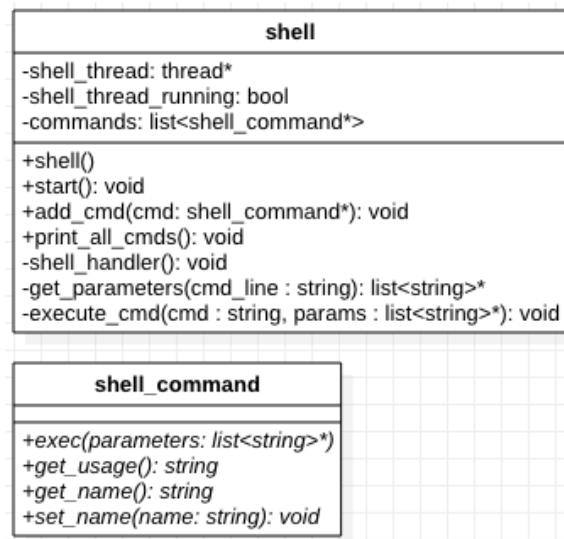


FIGURE 5.15 – Diagramme de classe de Shell et Shell Command

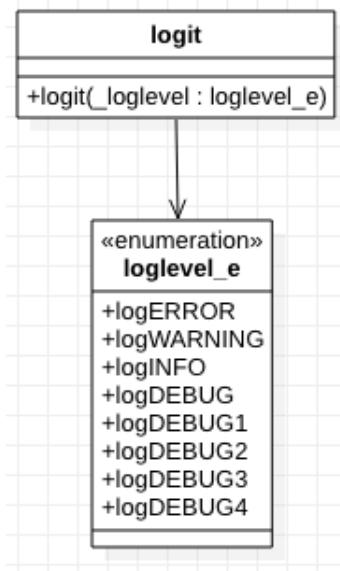


FIGURE 5.16 – Diagramme de classe de Logger

6 Description de la base de données

La base de données est le cœur du système, c'est elle qui permet la pérennisation des données. L'application mobile peut ensuite exploiter ces données afin de gérer la carte et afficher les diverses informations à l'utilisateur.

Elle est de type PostgreSQL et elle est héberge directement sur la passerelle.

La base de données permet de stocker les informations suivantes :

- Information sur les compétiteurs
- Information sur les compétitions
- Inscriptions des compétiteurs à des compétitions
- Enregistrement de chaque paquet de données reçus des capteurs

Le diagramme relationnel de la base de données est disponible sur la figure 6.1.

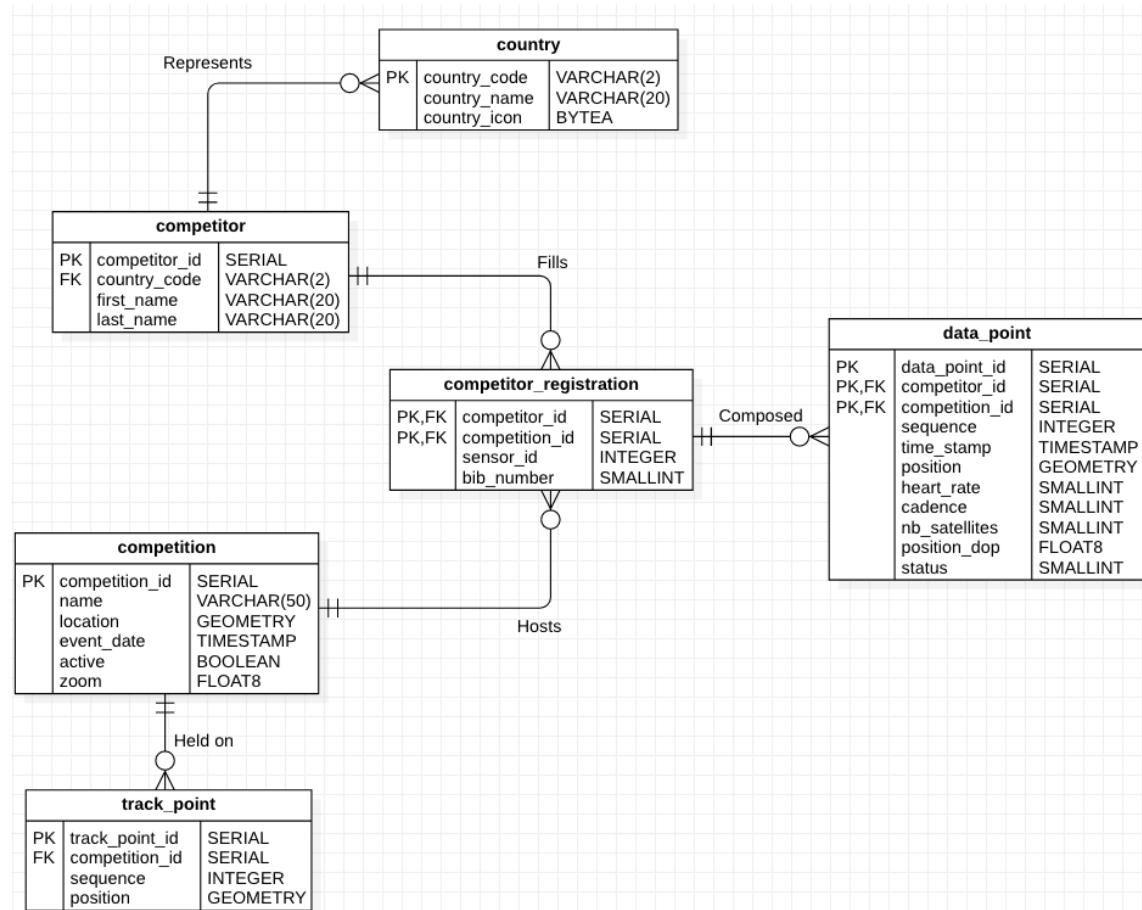


FIGURE 6.1 – Diagramme relationnel de la base de données

6.1 L'extension PostGIS

TODO: Add PostGIS à biblio

La base de données utilise une extension nommée PostGIS, qui rajoute tout un tas de fonction-

nalités qui permettent la gestion d'objet géographique dans la base ce qui permet de faire des requêtes en utilisant des positions GPS par exemple.

La base de données utilise principalement le type ST_POINT qui permet de définir des points en spécifiant la latitude et la longitude. Il existe deux types de points différents, geography et geometry. Les points de type geography permettent de prendre en compte la courbure de la planète lors du calcul de distance par exemple. Ce type de point est à préférer lorsque l'application doit faire des opérations entre des points qui sont très éloignés, deux continents différents par exemple. Le type geometry ne prend pas en compte cette information qui complexifie pasablement les calculs, mais tire simplement une ligne droite entre les deux points afin de faire le calcul de distance, ce qui convient parfaitement pour des points qui sont faiblement espacés comme c'est le cas pour se travail de Bachelor.

Un exemple de l'utilisation de point est présenté ci-dessous.

```
1 INSERT INTO a_table (gps) VALUES (ST_MakePoint(46.9933, 6.91612));  
2  
3 SELECT ST_X(gps) as latitude, ST_Y(gps) as longitude FROM a_table;
```

L'extension propose également des fonctions intéressantes comme la possibilité de déterminer la distance entre deux points géographiques.

```
1 SELECT ST_Distance(ST_MakePoint(46.9933, 6.91612), ST_MakePoint(46.781036, 6.647138));
```

6.2 Les tables

Grâce au modèle relationnel de la base de données ainsi que de l'extension PostGIS, il est ensuite facile d'insérer ou d'extraire des données dans les différentes tables au moyen de requêtes SQL.

Cette section décrit chaque table ainsi que les requêtes SQL qui y sont associées.

6.2.1 competition

Cette table permet de stocker toutes les informations relatives aux compétitions.

- competition_id : L'identifiant de la compétition
- name : Le nom de la course
- location : L'emplacement de la course. Cette position géographique est utilisée par l'application mobile afin de centrer la vue de la carte correctement
- event_date : La date et l'heure du déroulement de la course
- active : Définit si la course est en direct ou si l'événement est déjà passé
- zoom : Le zoom que l'application utilise lors du centrage de la vue sur la course

La requête SQL suivante définit la façon d'ajouter une nouvelle compétition à la base de données.

```
1 INSERT INTO race_tracker.competition (name, location, event_date) VALUES ('Nom de la  
course', ST_MakePoint(latitude, longitude), '2018-08-01 10:00:00-00');
```

Lorsque la passerelle reçoit un paquet de données, elle doit déterminer le competition_id et le

competitor_id correspondant au coureur qui est défini par le numéro de capteur (sensor_id). Pour se faire la requête suivante est exécutée. Elle permet de trouver le ou les competition_id du capteur inscrit dans une course qui se déroule actuellement (active = True).

```
1 SELECT race_tracker.competitor_registration.competition_id, race_tracker.
    competitor_registration.competitor_id FROM race_tracker.competitor_registration INNER
    JOIN race_tracker.competitor ON (race_tracker.competitor_registration.competitor_id =
    race_tracker.competitor.competitor_id) INNER JOIN race_tracker.competition ON (
    race_tracker.competition.competition_id = race_tracker.competitor_registration.
    competition_id) WHERE race_tracker.competitor_registration.sensor_id = 1234 AND
    race_tracker.competition.active = True;
```

6.2.2 competitor

La table competitor contient tous les sportifs enregistrés dans le système, une fois enregistrés ils peuvent participer à des compétitions.

- competitor_id : L'identifiant du compétiteur
- country_code : Son pays d'origine
- first_name : Son prénom
- last_name : Son nom de famille

Un nouveau compétiteur est rajouté à la base de données en utilisant la requête suivante.

```
1 INSERT INTO race_tracker.competitor (first_name, last_name, country_code) VALUES ('Dilyana
    ', 'Petrova', 'BG');
```

6.2.3 country

Elle contient tous les pays ainsi que les icônes associés dont les compétiteur peuvent provenir.

- country_code : Le code du pays par exemple CH
- country_name : Le nom du pays
- country_icon : L'icône représentant le drapeau du pays

Un pays est rajouté grâce à la requête suivante.

```
1 INSERT INTO race_tracker.country VALUES ('BG', 'Bulgaria', bytea('country/bulgaria.svg'));
```

6.2.4 competitor_registration

La table competitor_registration permet d'effectuer l'inscription des sportifs à une compétition.

- competitor_id : L'identifiant du compétiteur inscrit
- competition_id : L'identifiant de la compétition auquel le compétiteur est inscrit
- sensor_id : L'identifiant du capteur que le compétiteur porte pendant la course. Cet identifiant est envoyé dans tous les paquets envoyés par le capteur
- bib_number : Le numéro de dossard du compétiteur

Une inscription s'effectue de la manière suivante.

```
1 INSERT INTO race_tracker.competitor_registration (competitor_id, competition_id, sensor_id
    , bib_number) VALUES (1, 1, 1234, 57);
```

L'application mobile a besoin de savoir tous les concurrents qui sont inscrits à une certaine course, la requête suivante permet de récupérer ces informations.

```
1 SELECT * FROM race_tracker.competitor_registration INNER JOIN race_tracker.competitor ON (
competitor_registration.competitor_id = competitor.competitor_id) WHERE
competitor_registration.competition_id = 1;
```

6.2.5 data_point

Chaque data point correspond à un paquet émis par un capteur et contient toutes les informations. L'application mobile exploite les data points afin de pouvoir afficher les informations à l'utilisateur.

- data_point_id : Identifiant du data point
- competitor_id : Identifiant du compétiteur dont le data point provient
- competition_id : L'identifiant de la compétition au quelle le data point est rattaché
- sequence : Un numéro de séquence qui est envoyé dans le paquet. Cette information permet de savoir si des paquets ont été perdu lors de la transmission
- time_stamp : Le timestamp envoyé dans le paquet qui correspond au moment de la génération du paquet
- position : La position GPS du compétiteur
- heart_rate : Le rythme cardiaque du compétiteur
- cadence : La cadence du compétiteur
- nb_satellites : Le nombre de satellites en vue au moment de la génération du paquet
- position_dop : Disolution of precision, c'est à dire le degré de certitude de la précision de la position GPS
- status : L'état du capteur au moment de la génération du paquet

La requête suivante permet d'ajouter un nouveau data point dans la base de données, cette opération est effectuée par la passerelle à chaque fois qu'un nouveau paquet est reçu.

```
1 INSERT INTO race_tracker.data_point (competitor_id, competition_id, sequence, position,
time_stamp) VALUES (1, 2, 1, ST_MakePoint(46.7856, 6.6424), '2018-10-15 00:00:00');
```

Durant son exécution, l'application mobile va exécuter périodiquement une requête, qui permet de connaître le numéro de séquence du dernier data point pour chaque concurrent inscrit à une certaine compétition. La requête suivante permet d'effectuer cette opération. Cette requête est en fait deux requêtes imbriquées, la première permet l'affichage de toutes les informations du data point du point contenant le numéro de séquence le plus élevé pour chaque concurrent (WHERE therank = 1), la deuxième va récupérer tous les data point et les trier par ordre décroissant.

```
1 SELECT data_point_id, competitor_id, competition_id, sequence, time_stamp, ST_X(position)
as lat, ST_Y(position) as lon, heart_rate, cadence, nb_satellites, position_dop, status
FROM (SELECT rank() OVER (PARTITION BY data_point.competitor_id ORDER BY sequence DESC)
AS therank, * FROM race_tracker.data_point WHERE data_point.competition_id = 1) t WHERE
therank = 1;
```

6.2.6 track_point

Les track point correspondent à chaque point qui constitue le tracer de la course, l'application mobile va connecter chaque point par une ligne ce qui permettra de dessiner le tracer de la course sur la carte.

- track_point_id : Identifiant du track point
- competition_id : L'identifiant de la compétition du track point
- sequence : Le numéro de séquence du track point
- position : La position géographique du point

Un nouveau track point peut être rajouté très simplement grâce à la requête suivante.

```
1 INSERT INTO race_tracker.track_point (competition_id, sequence, position) VALUES (3, 1,  
ST_MakePoint(46.7856, 6.6424));
```


7 Description de l'application mobile

L'application mobile, aussi appelé RaceTracker dans ce document, permet de visualiser, en temps réel, les informations produites par les capteurs porté par les sportifs. En plus de cela elle permet également d'administrer les compétitions.

Elle est codée en langage Java et utilise le système Android et également le "Maps SDK for Android" de Google qui permet d'interagir avec les cartes ce qui permet l'ajout de marqueurs ou de dessiner des formes géométriques par exemple.

L'environnement de développement Android Studio a été utilisé pour le développement de cette application qui permet également de simuler l'exécution de l'application et facilite ainsi le débogage.

TODO: Image GUI

7.1 Architecture logiciel

L'architecture logiciel de l'application mobile est présenté ci-dessous. Une application Android est composée de "Activities", qui représentent chacun des écrans disponibles dans l'application. Des "Fragments" sont également utilisés, ce sont des morceaux d'interface graphique qui peuvent être insérer dans des "Activities". Enfin l'application mobile utilise des classes qui sont responsable de la gestion de l'application et de l'accès à la base de données.

La figure 7.1 présente l'architecture statique de l'application mobile Android.

Durant l'exécution de l'application mobile, le thread principal est entièrement géré par le système d'exploitation Android, il est en charge de la mise à jour de l'interface graphique et de tout ce qui en est en lien comme par exemple le changement d'activité lors de l'appui d'un bouton par exemple. Lorsque l'application désire envoyer des requêtes à la base de données, elle utilise la classe RaceTrackerDBAsyncTask qui hérite de AsyncTask. Cette classe permet d'effectuer une tâche en arrière plan de manière asynchrone et de gérer le résultat une fois la tâche terminée. Enfin lorsque l'utilisateur est en train de visionner une course, un objet de type Handler est utilisé pour faire la requête du dernier point de donnée à intervalle régulier.

La figure 7.2 montre l'architecture dynamique de l'application mobile.

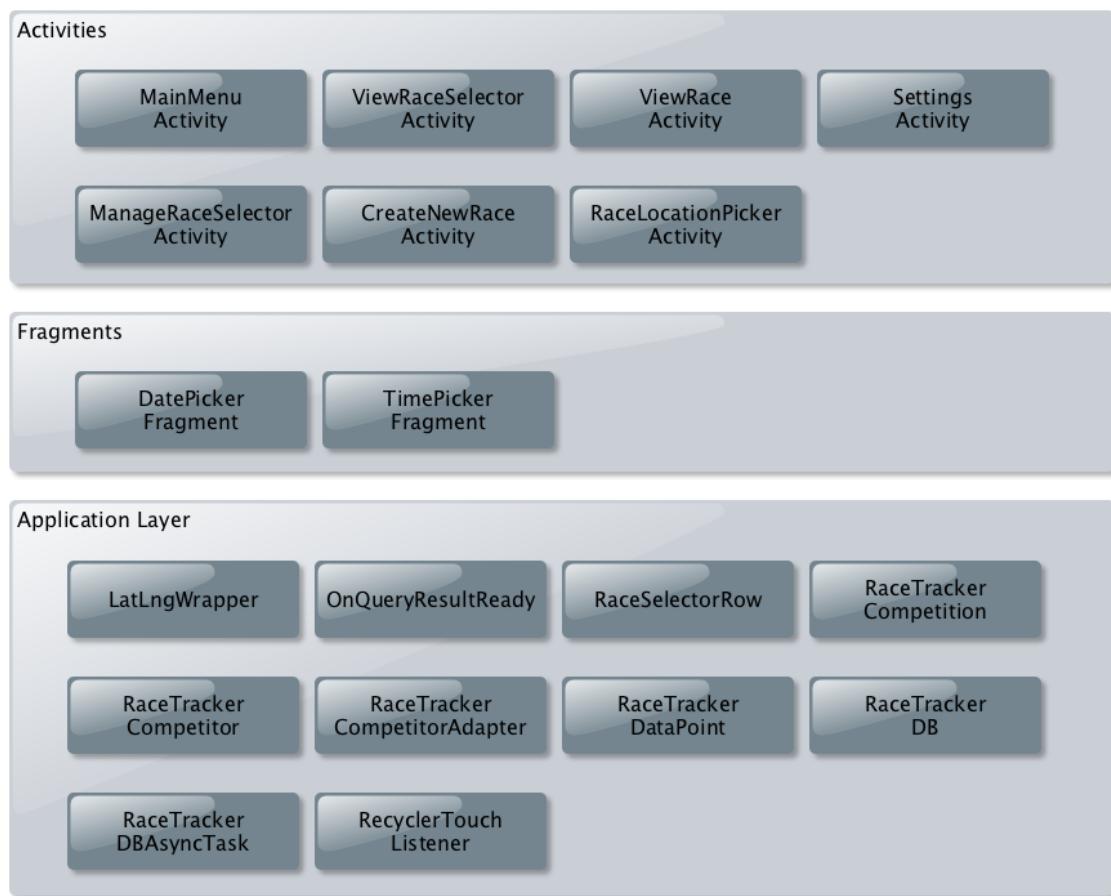


FIGURE 7.1 – Architecture statique de l'application mobile

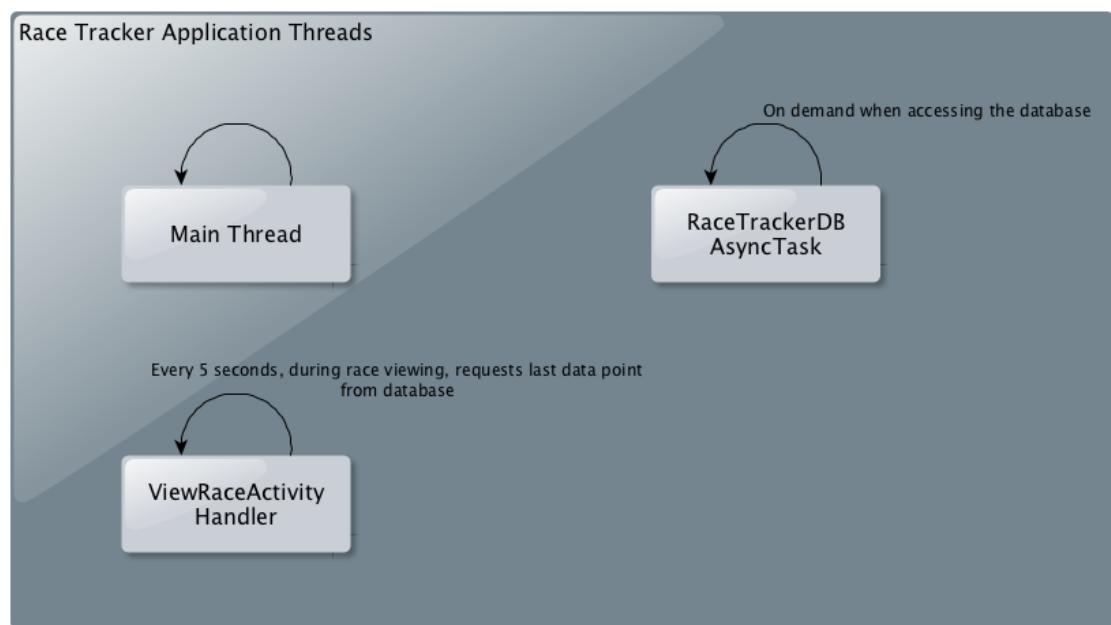


FIGURE 7.2 – Architecture dynamique de l'application mobile

7.2 Les librairies externes

L'application mobile utilise principalement deux librairies externes, la première est le "Maps for Android SDK", cette librairie permet d'ajouter à son application mobile une carte de type google maps et d'interagir avec elle. Elle permet d'ajouter des marqueurs à des position (latitude/longitude) spécifiques, de créer des lignes entre les points ou encore de modifier le comportement de la carte. La librairie est disponible sur <https://cloud.google.com/maps-platform/>.

Un exemple d'utilisation est proposé ci-dessous.

TODO: Add biblio

```
1 ...
2 private GoogleMap mMap;
3
4 protected void onCreate(Bundle savedInstanceState) {
5     /* Retrieve the map fragment when the map is ready */
6     MapFragment mapFragment = (MapFragment) getSupportFragmentManager().findFragmentById(R.id.
7         mapView);
8     mapFragment.getMapAsync(this);
9 }
10 @Override
11 public void onMapReady(GoogleMap googleMap) {
12     mMap = googleMap;
13
14     /* Change map type */
15     mMap.setMapType(GoogleMap.MAP_TYPE_SATELLITE);
16
17     /* Add a marker in Sydney, Australia */
18     LatLng sydney = new LatLng(-34, 151);
19     mMap.addMarker(new MarkerOptions().position(sydney).title("Marker in Sydney"));
20
21     /* Move camera and zoom */
22     mMap.moveCamera(CameraUpdateFactory.newLatLngZoom(sydney, -12));
23 }
24 ...
```

La deuxième librairie externe utilisée est un driver de type JDBC permettant de s'interfacer avec une base de données PostgreSQL. C'est grâce à ce composant que l'application mobile va interroger la base de données afin de récupérer la liste des compétiteurs, les données relatives aux compétitions ou encore les points de données à afficher sur la carte. Le driver JDBC est téléchargeable gratuitement à l'adresse <https://jdbc.postgresql.org/>.

```
1 ...
2 public ResultSet executeQuery(String connection, String user, String password, String
3     query) {
4     Statement st;
5     ResultSet results
6
7     Connection conn = DriverManager.getConnection(connection, user, password);
8     st = conn.createStatement();
9
10    results = st.executeQuery(query);
11    st.close()
```

```
12     return results;
13 }
14
15 public void myQuery() {
16     String myQuery = "SELECT * FROM my_table;";
17     ResultSet results;
18
19     results = executeQuery("jdbc:postgresql://192.168.1.4:5432/mydatabase", "me", "1234",
20     myQuery);
21
22     while (results.getResult().next()) {
23         System.out.println("Field test1: " + results.getString("field_test_1"));
24         System.out.println("Field test2: " + results.getInt("field_test_2"));
25     }
26
27     results.close();
28 }
```

7.3 Les classes

L'application mobile RaceTracker est composée de plusieurs class qui lui permettent d'effectuer ses tâches. Elles sont décrties dans cette section.

7.3.1 MainMenuActivity

L'activité principale de l'application, c'est le premier écran qui se lance et qui permet de choisir si l'on souhaite visionner une course ou alors faire des opérations d'administration sur la base de donnée. Lorsque l'utilisateur à fait son choix, elle lance l'activité suivante c'est à dire soit ViewRaceSelectorActivity ou ManageRaceSelectorActivity.

La figure 7.3 montre le diagramme de classe de MainMenuActivity.

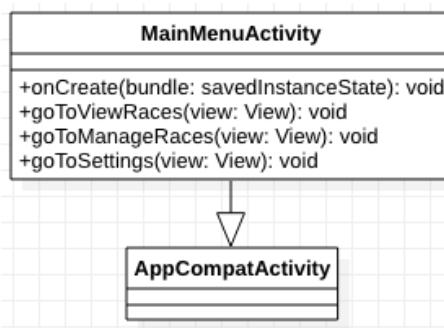


FIGURE 7.3 – Diagramme de classe de MainMenuActivity

TODO: Image

7.3.2 ViewRaceSelectorActivity

Cette activité permet à l'utilisateur de sélectionner la course qu'il souhaite visionner, lorsqu'elle se lance elle va allez interroger la base de données afin de récupérer la liste de toutes les compé-

titions et l'afficher à l'utilisateur qui peut ensuite décider, en cliquant sur l'objet de son choix, de visionner la course. Après avoir sélectionné la course, l'activité transfert le contrôle à ViewRaceActivity.

La figure 7.4 montre le diagramme de classe de ViewRaceSelectorActivity.

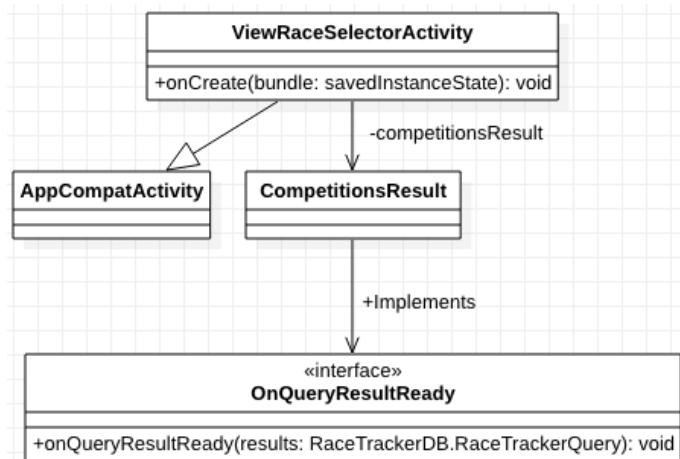


FIGURE 7.4 – Diagramme de classe de ViewRaceSelectorActivity

TODO: Image

7.3.3 ViewRaceActivity

Lorsque l'utilisateur désire regarder une course, c'est cette activité qui va être lancé. Elle est responsable de la gestion de l'affichage des informations sur la carte et également de la liste des compétiteurs. Périodiquement cette activité va aller chercher dans la base de données les points de données relativ à une course et vérifier si de nouveaux points ont été ajoutés auquel cas elle met à jour la carte avec la nouvelle position. Toutes ses informations sont récupérées depuis la base de donnée.

La figure 7.5 montre le diagramme de classe de ViewRaceActivity.

TODO: Image

7.3.4 SettingsActivity

Cette classe est en charge de la gestion de l'affichage du menu des paramètres. L'utilisateur peut modifier les paramètres relatifs à l'application grâce au menu proposé par cette activité.

La figure 7.6 montre le diagramme de classe de SettingsActivity.

TODO: Image

7.3.5 ManageRaceSelectorActivity

La classe ManageRaceSelectorActivity permet à l'utilisateur de sélectionner l'action d'administration qu'il désire effectuer.

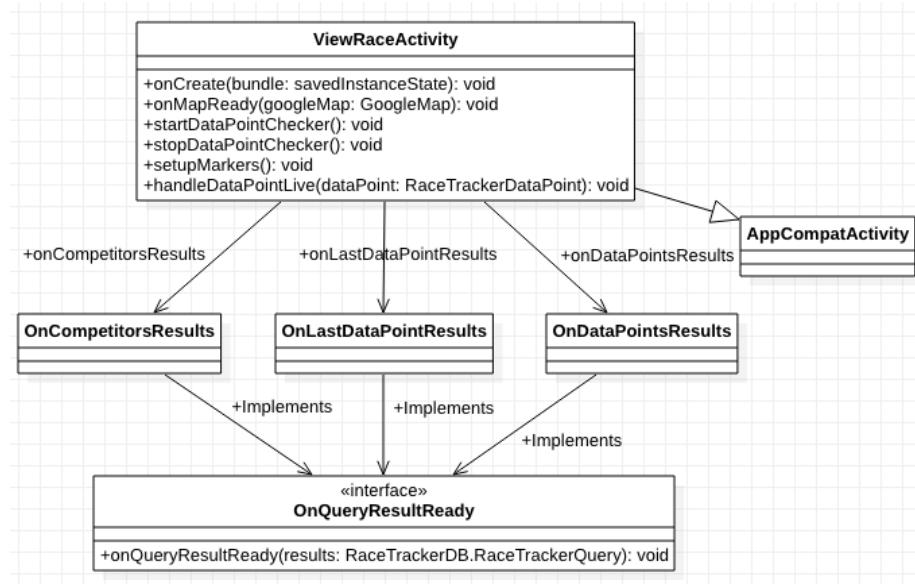


FIGURE 7.5 – Diagramme de classe de `ViewRaceActivity`

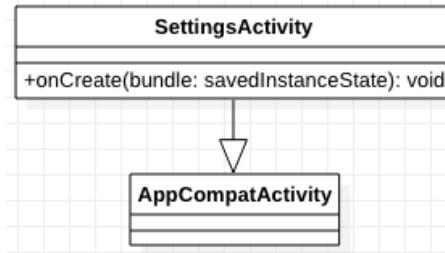


FIGURE 7.6 – Diagramme de classe de `SettingsActivity`

La figure 7.7 montre le diagramme de classe de `ManageRaceSelectorActivity`.

TODO: Image

7.3.6 CreateNewRaceActivity

L'activité `CreateNewRaceActivity` permet à l'utilisateur de créer une nouvelle compétition dans la base de données. Une fois que l'utilisateur a rentré toutes les informations, une requête d'insertion est envoyée à la base de données.

La figure 7.8 montre le diagramme de classe de `CreateNewRaceActivity`.

TODO: Image

7.3.7 ModifyRaceActivity

TODO: Image

7.3.8 CreateNewCompetitorActivity

TODO: Image

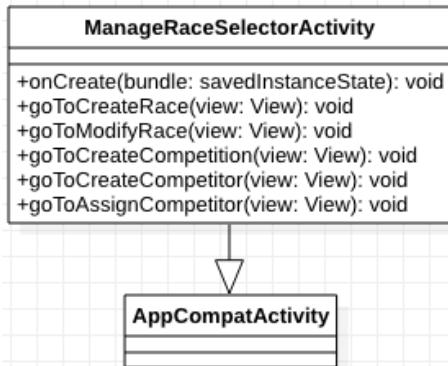


FIGURE 7.7 – Diagramme de classe de ManageRaceSelectorActivity

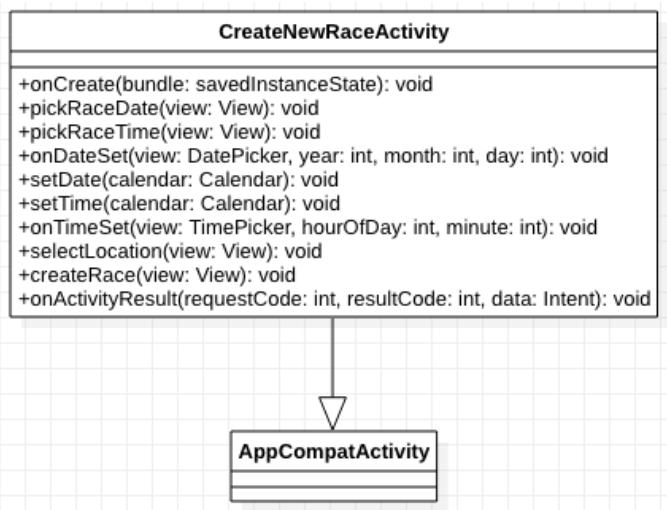


FIGURE 7.8 – Diagramme de classe de CreateNewRaceActivity

7.3.9 AssignCompetitorActivity

TODO: Image

7.3.10 DatePickerFragment

Le fragment DatePickerFragment est utilisé pour récupérer une date entrée par l'utilisateur, l'interface habituelle pour entrer une date est présenté à l'utilisateur et son choix est retourné.

La figure 7.9 montre le diagramme de classe de DatePickerFragment.

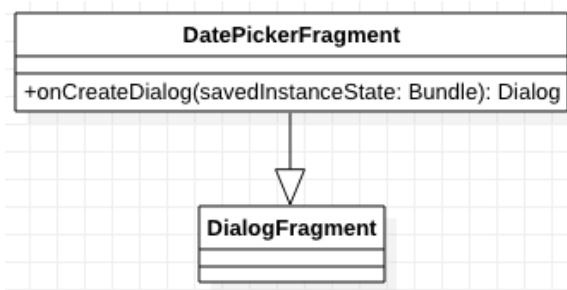


FIGURE 7.9 – Diagramme de classe de DatePickerFragment

TODO: Image

7.3.11 TimePickerFragment

Le fragment TimePickerFragment permet la sélection d'une heure, il présente à l'utilisateur l'interface usuelle de sélection de l'heure puis en retourne le choix.

La figure 7.10 montre le diagramme de classe de TimePickerFragment.

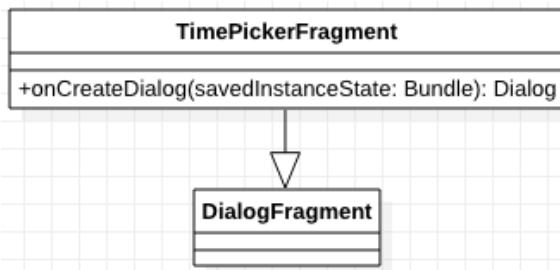


FIGURE 7.10 – Diagramme de classe de TimePickerFragment

TODO: Image

7.3.12 LatLngWraper

Cette classe permet d'encapsuler un objet de type LatLng. Cette classe est utilisé pour rendre un objet LatLng serializable.

La figure 7.11 montre le diagramme de classe de LatLngWraper.

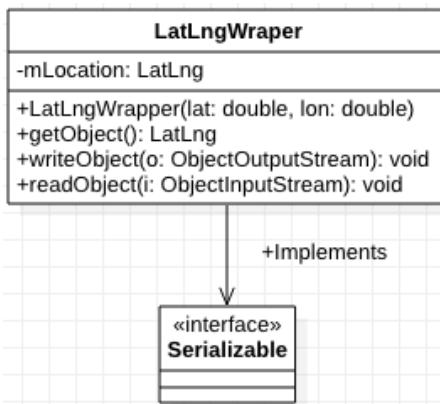


FIGURE 7.11 – Diagramme de classe de LatLngWraper

7.3.13 OnQueryResultReady

OnQueryResultReady est une interface que l'utilisateur doit implémenter afin de pouvoir recevoir les résultats des requêtes envoyées à la base de données. La fonction est automatiquement appelé lorsque les résultats de la requête associée sont prêt à être consulté.

La figure 7.12 montre le diagramme de classe de OnQueryResultReady.

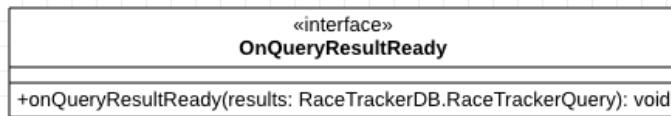


FIGURE 7.12 – Diagramme de classe de OnQueryResultReady

7.3.14 RaceTrackerCompetition

Cette classe contient les données relatives à une compétition. Elle peut être initialisée directement en lui passant le résultat d'une requête à une base de donnée (ResultSet).

La figure 7.13 montre le diagramme de classe de RaceTrackerCompetition.



FIGURE 7.13 – Diagramme de classe de RaceTrackerCompetition

7.3.15 RaceTrackerCompetitionAdapter

Cette classe permet de faire la gestion de l'affichage d'une liste d'instance de RaceTrackerCompetition dans un objet de type RecyclerView.

La figure 7.14 montre le diagramme de classe de RaceTrackerCompetitionAdapter.

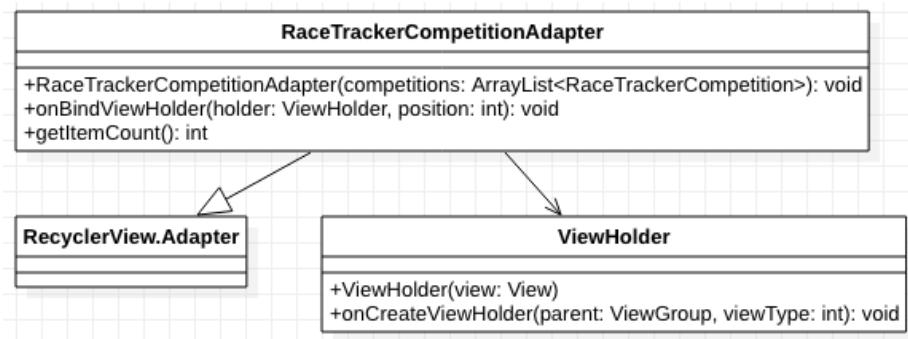


FIGURE 7.14 – Diagramme de classe de `RaceTrackerCompetitionAdapter`

7.3.16 `RaceTrackerCompetitor`

Cette classe contient les données relatives à un compétiteur. Elle peut être initialisée directement en lui passant le résultat d'une requête à une base de données (ResultSet).

La figure 7.15 montre le diagramme de classe de `RaceTrackerCompetitor`.

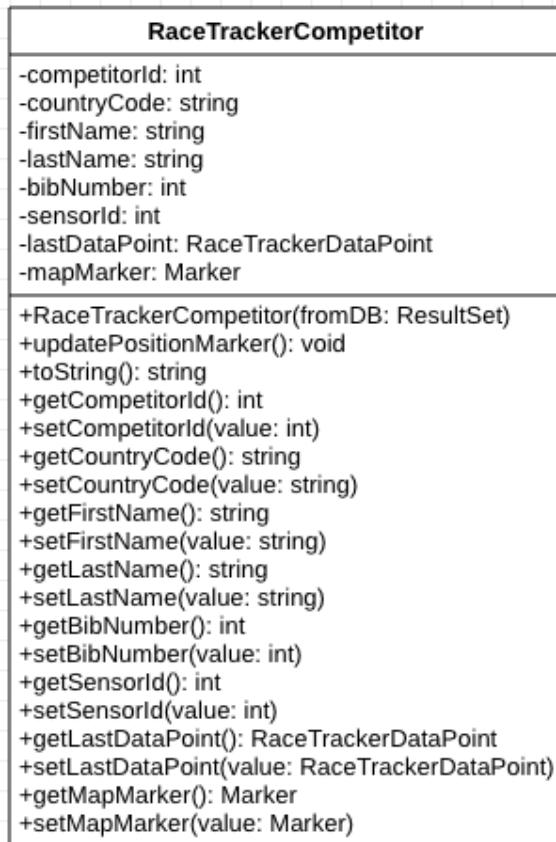


FIGURE 7.15 – Diagramme de classe de `RaceTrackerCompetitor`

7.3.17 `RaceTrackerCompetitorAdapter`

Cette classe permet de faire la gestion de l'affichage d'une liste d'instance de `RaceTrackerCompetitorAdapter` dans un objet de type `RecyclerView`.

La figure 7.16 montre le diagramme de classe de `RaceTrackerCompetitorAdapter`.

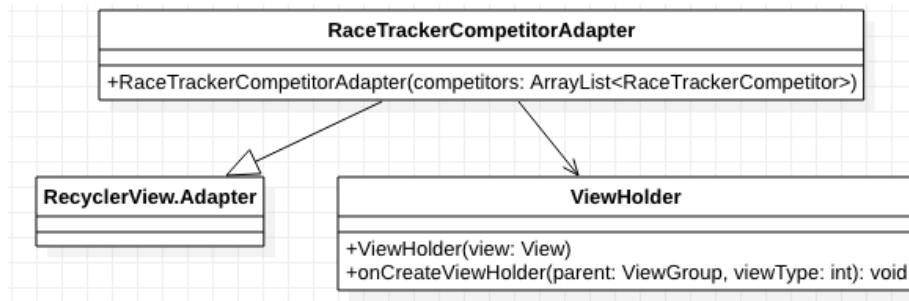


FIGURE 7.16 – Diagramme de classe de `RaceTrackerCompetitorAdapter`

7.3.18 RaceTrackerDataPoint

La classe `RaceTrackerDataPoint` contient les données relatives à un point de données sur le parcours. C'est ce type de classe que le `ViewRaceActivity` utilise afin d'afficher à l'utilisateur la position et les informations associées aux coureurs. Elle peut être initialisée directement en lui passant le résultat d'une requête à une base de donnée (`ResultSet`).

La figure 7.17 montre le diagramme de classe de `RaceTrackerDataPoint`.



FIGURE 7.17 – Diagramme de classe de `RaceTrackerDataPoint`

7.3.19 RaceTrackerDB

Le lien entre la base de donnée et l'application mobile, c'est cette classe qui envoie toutes les requête et qui récupère les résultats pour les transmettre, au travers de fonction de callback, à l'utilisateur. C'est cette classe qui fait la gestion du driver JDBC PostgreSQL.

La figure 7.18 montre le diagramme de classe de RaceTrackerDB.

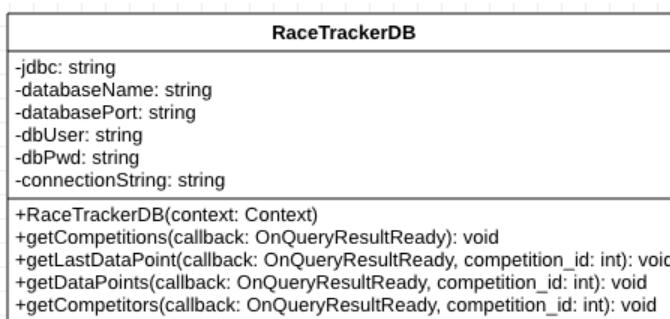


FIGURE 7.18 – Diagramme de classe de RaceTrackerDB

TODO: Update UML with new methods

7.3.20 RaceTrackerQuery

Contient une requête pour la base de donnée, son résultat, la fonction de callback de l'utilisateur et éventuellement l'exception si la requête n'a pas pu être exécuté correctement.

La figure 7.19 montre le diagramme de classe de RaceTrackerQuery.

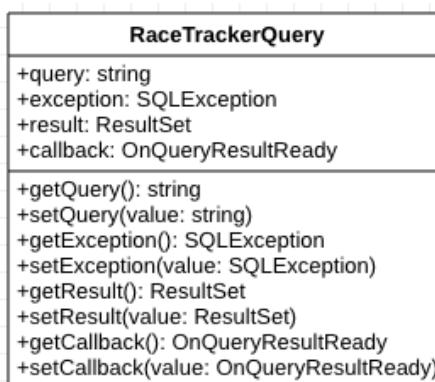


FIGURE 7.19 – Diagramme de classe de RaceTrackerQuery

7.3.21 RaceTrackerDBAsyncTask

Une classe utilisée par RaceTrackerDB afin d'exécuter une requête de manière asynchrone. En effet il ne faut pas exécuter les requête sur le thread principal car c'est une opération qui prend plusieurs secondes et cela risquerait de bloquer l'exécution de l'application. Afin de pallier à cette effet, on utilise un mécanisme proposé par le système d'exploitation Android et qui permet d'effectuer des tâches en arrière plan et ainsi ne pas bloquer le processus principal.

La figure 7.20 montre le diagramme de classe de RaceTrackerDBAsyncTask.

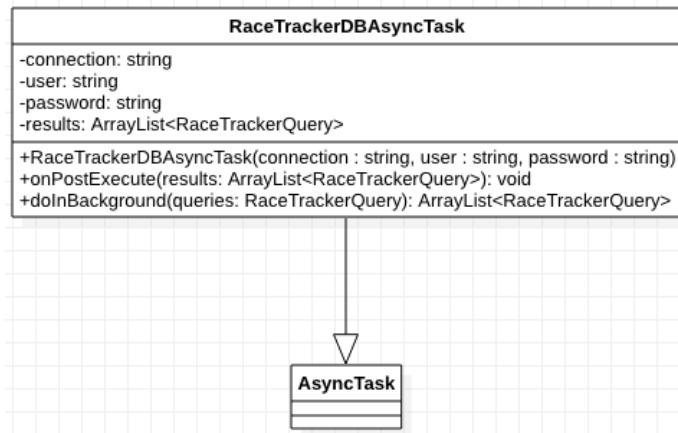


FIGURE 7.20 – Diagramme de classe de RaceTrackerDBAsyncTask

TODO: Nouvelles classes?

8 Problèmes et solutions

Ce chapitre décrit les problèmes majeurs rencontrés pendant le développement du projet et les solutions qui ont été employées afin d'y pallier.

Pas de driver i2c -> Ecrire driver i2c

Driver GPIO incomplet -> Finir écriture driver GPIO Driver EIC

Problème connection réseau -> Utiliser un cable

9 Test phase #1

Comme décrit dans la pré-étude, afin de valider la phase 1 du développement du projet, un test impliquant le capteur choisi ainsi que la passerelle est effectué afin de s'assurer que les deux éléments sont capable de remplir les tâches qui leurs sont attribuées pour le projet. Si le test est concluant alors la solution matérielle choisie peut être validée pour la suite du développement. Dans le cas contraire le matériel doit être changé afin de pouvoir garantir une solution adéquate.

L'objectif est de vérifier le bon fonctionnement du capteur et de la passerelle dans les conditions finale d'utilisation, c'est à dire une réception adéquate des données envoyées par le capteur en extérieur et en mouvement. De plus ce test va également permettre de choisir la configuration initiale à utiliser pour la transmission des paquets LoRa, en particulier le facteur d'étalement ainsi que la puissance de transmission du signal de sortie à utiliser. On rappelle qu'un petit facteur d'étalement permettra un taux de transfert plus élevé sur une distance moindre, alors qu'un grand facteur permettra l'envoie de données à des distances accrues mais à un taux de transfert plus bas. En ce qui concerne la puissance de sortie, l'objectif est de trouver la valeur minimale qui permet une bonne réception des données à la distance d'utilisation. Ceci permettra d'optimiser l'utilisation de la batterie pour garantir la durée d'utilisation requise qui est de 10h.

Pour pouvoir effectuer ce test les éléments suivants ont été réalisés.

- Mise en place et assemblage du matériel du capteur et de la passerelle
- Développement d'un programme de test pour le capteur
- Installation et configuration du packet forwarder de la passerelle
- Développement d'une partie du serveur d'application de la passerelle

Afin de pouvoir s'assurer de la bonne réception des données le capteur, à intervalles réguliers, va envoyer un paquet de données à destination de la passerelle. Le format ainsi que le contenu du paquet envoyé par le capteur est décrit dans la figure 9.1.

| 0xFFEEDDEAD | 0xACABFACE | Latitude | Longitude | Nombre de satellite en vue | HDOP | Compteur |
|-------------|------------|----------|-----------|----------------------------|---------|----------|
| 4 bytes | 4 bytes | 8 bytes | 8 bytes | 1 byte | 8 bytes | 4 bytes |

FIGURE 9.1 – Format du paquet test1

Un programme de test, se basant sur le système de développement Arduino IDE proposant un framework pour les cartes Arduino, est réalisé. Son comportement est très simple, il se contente d'envoyer un paquet de données LoRa puis d'attendre un certain temps, au terme duquel le cycle recommence. Le paquet envoyé par le capteur commence par deux valeurs fixes suivis de la latitude/longitude du capteur au moment de l'envoi du paquet. Ces deux éléments sont suivis du HDOP, ou Horizontal Dilution of Precision, qui exprime le degré de précision de la position GPS. Pour terminer, la valeur du compteur est ajoutée au paquet ce qui permettra à la passerelle de détecter quand un paquet est perdu et ainsi garder des statistiques afin de pouvoir jauger la qualité de la transmission.

Du côté de la passerelle, le packet forwarder, logiciel repris depuis internet, est configuré et mis en œuvre. Il récupère les paquets LoRa reçus, les transforme en chaîne de text de type json et

les transmets par le biais d'un paquet UDP. Une partie du serveur d'application est développée qui permet à la passerelle de récupérer les paquets LoRa émit par le packet forwarder au travers d'un socket et d'en analyser le contenu. A chaque paquet reçu la passerelle s'assure que le paquet est en provenance du capteur en vérifiant la valeur des deux marqueurs de début, ensuite la valeur du compteur est vérifiée pour s'assurer que c'est bien celle attendue, si ce n'est pas le cas cela signifie qu'un ou plusieurs paquets ont été perdus dans l'intervalle. Cette partie du serveur d'application servira de base pour le développement final de l'application. Au moyen d'un shell implémenté dans le serveur de paquet, il est possible à tout moment de sauvegarder le contenu des paquets reçus jusqu'ici dans un fichier, cela permet ensuite d'en extraire les positions GPS afin de les afficher dans un logiciel comme Google Earth par exemple qui permettra la visualisation de toutes les positions acquises durant le test.

Afin de pouvoir récupérer les logs relatifs aux tests et contrôler la réception des paquets, la passerelle est configurée afin de faire office de access point WiFi. Cela permet à l'ordinateur portable de se connecter à la passerelle au moyen de ssh et d'effectuer les opérations nécessaires. Enfin, le capteur est alimenté par l'accumulateur polymer-ion et la passerelle, elle, est alimentée par l'USB de l'ordinateur portable.

9.1 Scénarios

Deux scénarios distincts sont réalisés en utilisant le système expliqué dans la section précédente. Ils seront effectués deux fois chacun, une fois avec la valeur d'étalement de spectre (spreading factor) avec la plus petite valeur et une fois avec la plus grande valeur, cela permettra de jauger quelle configuration sera nécessaire pour la version finale du capteur.

Le premier test est le test sur piste, il consiste à prendre le capteur et ensuite de marcher le long du parcours d'une piste d'athlétisme. L'objectif de ce test est de voir si dans des conditions proches de l'utilisation finale pour le projet les données sont reçues correctement et de pouvoir également juger de la configuration finale que le système devra utiliser.

Le deuxième test est appelé test de distance, l'objectif est de pouvoir évaluer la distance maximum de fonctionnement jusqu'à laquelle les paquets sont bien reçus. Pour se faire, le capteur sera déplacé sur une ligne droite jusqu'à un point fixé puis il sera ensuite retourné au point de départ.

9.2 Résultats

Les résultats des tests décrits dans cette section ont été réalisés à la place d'arme de Planeyse à Neuchâtel le 13 Juillet 2018. Cet endroit dispose de grandes surfaces plates et également d'une piste proposant des conditions très proches d'une piste d'athlétisme. C'est donc un endroit idéal réunissant les conditions nécessaires pour faire les tests.

Les tables suivantes présentent les résultats des deux tests, sur piste et de distance. La colonne configuration spécifie les paramètres utilisés pour la communication LoRa, SF voulant dire spreading factor (facteur d'étalement) et PWR signifiant power (le niveau de puissance du signal en sortie). Le facteur d'étalement peut être paramétré entre SF7 et SF12, le niveau de puissance quant à lui peut être configuré dans des valeurs entre -4.0 à +14.1 dBm. Pour finir elles présentes

également le nombre total de paquet reçu ainsi que le nombre de paquets perdus.

9.2.1 Test sur piste

TABLE 9.1 – Résultats des tests phase 1 - Piste

| Tests Piste | | | Planeyse 13.07.2018 | | | |
|-------------|---------------------|----------|---------------------|---------|----------|---------|
| Nom | Configuration | HDOP Moy | Nb Sat Moy | Nb reçu | Nb perdu | % perdu |
| Test #1 | SF7 - PWR -0.6 dBm | 0.97 | 8.74 | 46 | 3 | 6.1% |
| Test #2 | SF12 - PWR -0.6 dBm | 0.92 | 8.88 | 32 | 0 | 0 |

Les figures 9.2a et 9.2b permettent de visualiser les positions GPS reçus dans chaque paquet LoRa. Lors du test, la passerelle était positionnée vers le centre de la piste, c'est de là que je suis parti avec le capteur ce qui explique les premiers points qui ne se trouvent pas sur la piste.

On remarque que durant le test #1 des paquets ont été perdus, dans les deux zones rouges, lorsque le capteur se trouvait aux extrémités de la piste. Lorsqu'on augmente la valeur du facteur d'étalement, dans le test #2, on remarque que le problème n'apparaît plus.

9.2.2 Test de distance

TABLE 9.2 – Résultats des tests phase 1 - Distance

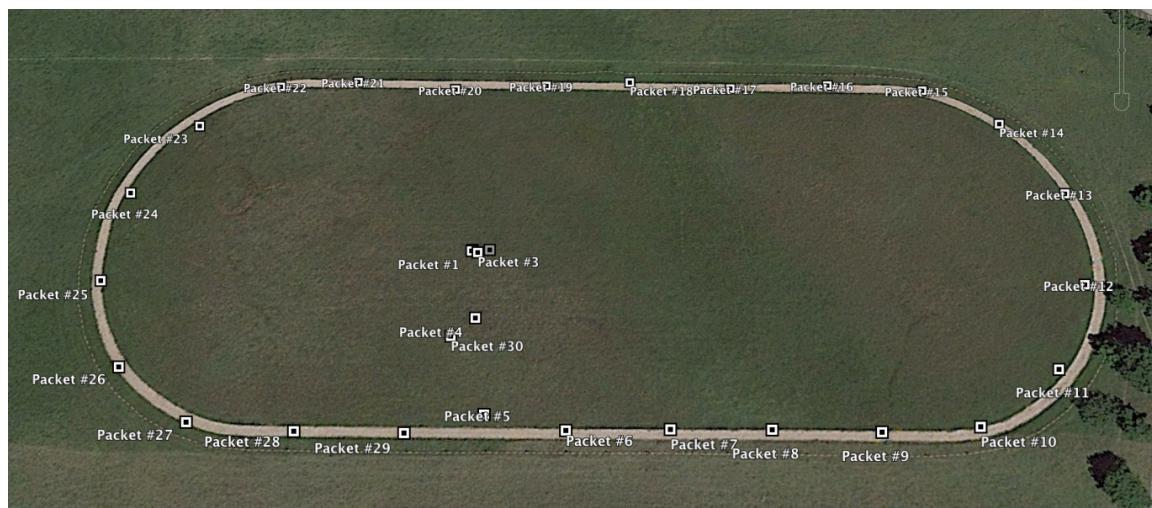
| Tests Distance | | | Planeyse 13.07.2018 | | | |
|----------------|---------------------|----------|---------------------|---------|----------|---------|
| Nom | Configuration | HDOP Moy | Nb Sat Moy | Nb reçu | Nb perdu | % perdu |
| Test #3 | SF7 - PWR -0.6 dBm | 1.37 | 7.88 | 32 | 10 | 23.8% |
| Test #4 | SF12 - PWR -0.6 dBm | 0.93 | 9.32 | 37 | 1 | 2.6% |

Les figures 9.3a et 9.3b permettent de visualiser les positions GPS reçus dans chaque paquet LoRa.

Pendant les deux tests quelques paquets ont été perdus dans les zones marquées en rouge. Cependant si on analyse les résultats en plus de détails on remarque que durant le test #4, un seul paquet a été perdu et au moment où le capteur était très proche de la passerelle, on peut donc négliger cette perte qui est probablement due à un masquage de l'antenne de la passerelle. Lors du test #3 par contre, la distance limite qu'il est possible d'atteindre avec la configuration SF7 et puissance à -0.6 dBm a été atteinte après environ 200m de distance entre le capteur et la passerelle.

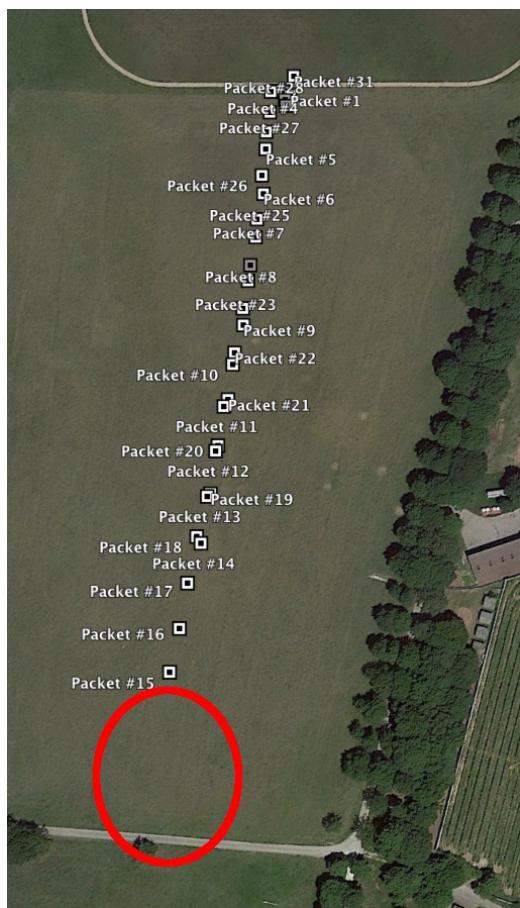


(a) Test #1

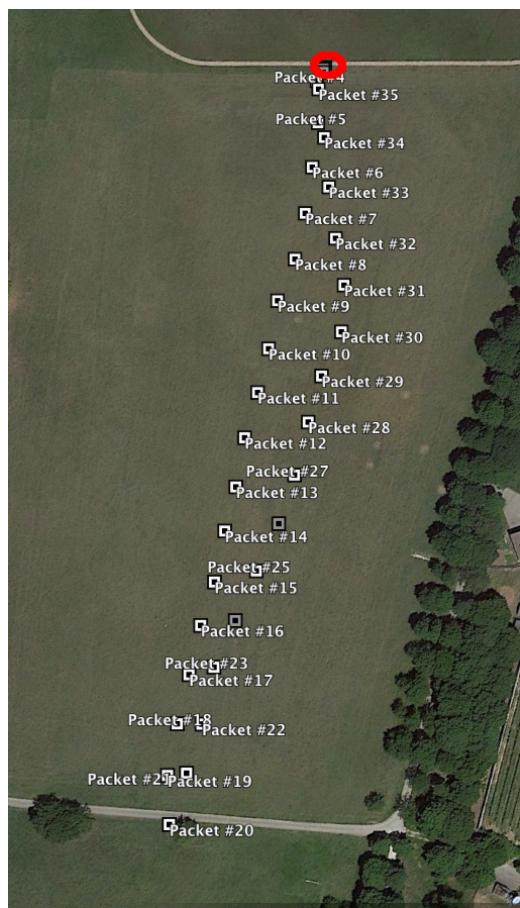


(b) Test #2

FIGURE 9.2 – Position GPS de chaque paquet reçu durant le test sur piste - Images capturés grâce au logiciel © Google Earth



(a) Test #3



(b) Test #4

FIGURE 9.3 – Position GPS de chaque paquet reçu durant le test de distance - Images capturés grâce au logiciel © Google Earth

9.3 Conclusion test phase #1

Au terme du test phase #1 on peut conclure que :

- La précision des positions GPS fournis par le module GPS est suffisante pour l'application visée
- Le fait que le capteur soit en mouvement ne pose pas de problème au niveau de la couche radio LoRa ou de la qualité des positions GPS fournit
- L'alimentation du capteur par l'accumulateur et la passerelle par l'USB fonctionne correctement
- La configuration de la couche radio devra être adaptée, le facteur d'étalement SF7 et puissance à -0.6 dBm n'étant pas suffisant pour un taux de réception de paquet satisfaisant

Grâce à ses éléments, on peut conclure que le matériel choisis est adéquat, la phase #1 du développement du projet est donc validée ce qui permet donc de passer à la phase #2. Dans cette phase du projet, la base de données, l'application du capteur et une ébauche de l'application mobile seront développé, ce qui permettra de pouvoir tester la chaîne de communication complète du système.

10 Test phase #2

11 Test phase #3

12 Considérations pour le développement d'un produit

13 Conclusion

14 Annexes

TODO: Doxygen

15 Dossier de gestion

Bibliographie

- [1] *EVA-8M u-blox 8 GNSS module Data Sheet*, Ubx-16009928 - r03 ed., UBlox, July 2016.
- [2] U-Blox, *u-blox 8 / u-blox M8 - Receiver Description Including Protocol Specification*, ubx-13003221 - r15 ed., March 2018.
- [3] *RN2483 LoRa Technology Module Command Reference User's Guide*, Ds40001784b revision b ed., Microchip Technology Inc., March 2015.
- [4] T. L. Foundation, "Zephyr project rtos." [Online]. Available : <http://www.zephyrproject.org>
- [5] *SAMD21 Family Datasheet*, Ds40001882c rev. c ed., Microchip Technology Inc., June 2018.
- [6] *AT11628 : SAM D21 SERCOM I2C Configuration*, 42631st ed., Atmel, December 2015.
- [7] *LSM303AGR Accelerometer/Magnetometer Datasheet*, Docid027765 rev 9 ed., ST, September 2016.
- [8] Semtech, "Basic communication protocol between lora gateway and server." [Online]. Available : https://github.com/Lora-net/packet_forwarder/blob/master/PROTOCOL.TXT
- [9] C. H. J. L. S. Semtech, Thomas Telkamp, "Single channel lorawan gateway." [Online]. Available : https://github.com/hallard/single_chan_pkt_fwd

Authentification

TODO: signer

Le soussigné, Léonard Bise, atteste par la présente avoir réalisé seul ce travail et n'avoir utilisé aucune autre source que celle expressément mentionnées, si ce n'est les connaissances acquises durant ses études et son expérience acquise dans une activité professionnelle.

Neuchâtel, TODO: date

L. Bise