

TRAVAIL DE BACHELOR

MÉMOIRE

---

# **Conception d'un système temps réel LoRa pour compétitions sportives**

---

*Auteur :*

Léonard BISE

*Conseiller :*

Pierre BRESSY

Informatique Embarquée (ISEC)

Mars à Septembre 2018

## Travail de Bachelor

# Préambule

## Résumé



# Table des matières

<b>Table des figures</b>	<b>vi</b>
<b>Liste des tableaux</b>	<b>vii</b>
<b>1 Introduction</b>	<b>1</b>
<b>2 Vue d'ensemble du système</b>	<b>3</b>
2.1 Les interactions . . . . .	4
2.2 La couche radio LoRa . . . . .	4
<b>3 Description du capteur</b>	<b>5</b>
3.1 Le matériel . . . . .	5
3.2 Le système d'exploitation Zephyr . . . . .	6
3.3 Les drivers . . . . .	8
3.3.1 Driver $I^2C$ ATSAMD21G18 . . . . .	8
3.3.2 Driver UBloxEVA8M . . . . .	9
3.3.3 Driver LSM303AGR . . . . .	10
3.3.4 Driver RN2483 . . . . .	10
3.3.5 Driver LEDs . . . . .	10
3.4 Le logiciel embarqué . . . . .	11
3.5 Le boîtier . . . . .	11
<b>4 Description de la passerelle</b>	<b>13</b>
<b>5 Description de la base de données</b>	<b>15</b>

<b>6 Description de l'application mobile</b>	<b>17</b>
<b>7 Test phase #1</b>	<b>19</b>
7.1 Scénarios . . . . .	20
7.2 Résultats . . . . .	20
7.2.1 Test sur piste . . . . .	21
7.2.2 Test de distance . . . . .	21
7.3 Conclusion test phase #1 . . . . .	24
<b>8 Test phase #2</b>	<b>25</b>
<b>9 Test phase #3</b>	<b>27</b>
<b>10 Considérations pour le développement d'un produit</b>	<b>29</b>
<b>11 Conclusion</b>	<b>31</b>
<b>12 Dossier de gestion</b>	<b>33</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>35</b>

## Table des figures

3.1 Schéma block du capteur SODAQ One . . . . .	6
3.2 Architecture système du système d'exploitation Zephyr - <a href="http://www.zephyrproject.org">http://www.zephyrproject.org</a>	7
3.3 Schéma d'un bus $I^2C$ . . . . .	8
3.4 Les messages $I^2C$ . . . . .	9
3.5 Diagramme de class du driver $I^2C$ . . . . .	9
3.6 Diagramme de class du driver UBloxEVA8M . . . . .	11
7.1 Format du paquet test1 . . . . .	19
7.2 Positions GPS des tests piste . . . . .	22
7.3 Positions GPS des tests distance . . . . .	23



## Liste des tableaux

3.1 Caractéristiques de la carte SODAQ One v3 . . . . .	6
7.1 Résultats des tests phase 1 - Piste . . . . .	21
7.2 Résultats des tests phase 1 - Distance . . . . .	21



## 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.



## 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 3.

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 4.

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 5 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 6.

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 10 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 ?? montre les interactions existantes entre les acteurs du système.

## FIGURE

## 2.2 La couche radio LoRa

## 3 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 aux passerelles. 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
- Accéléromètre : Ce module sera utilisé pour connaître le nombre de pas effectués par le sportif ce qui permettra de calculer sa cadence de course
- 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
- Radio LoRa : C'est au moyen de cet élément que le capteur transmettra les paquets de données à la passerelle

### 3.1 Le matériel

Lors de la pré-étude du projet, trois différentes cartes avaient été étudiée 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 3.1.

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".

#### 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 3.1 présente les différents modules et leurs connections avec le micro-contrôleur.

TABLE 3.1 – 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

Ajouter debug SEGGER

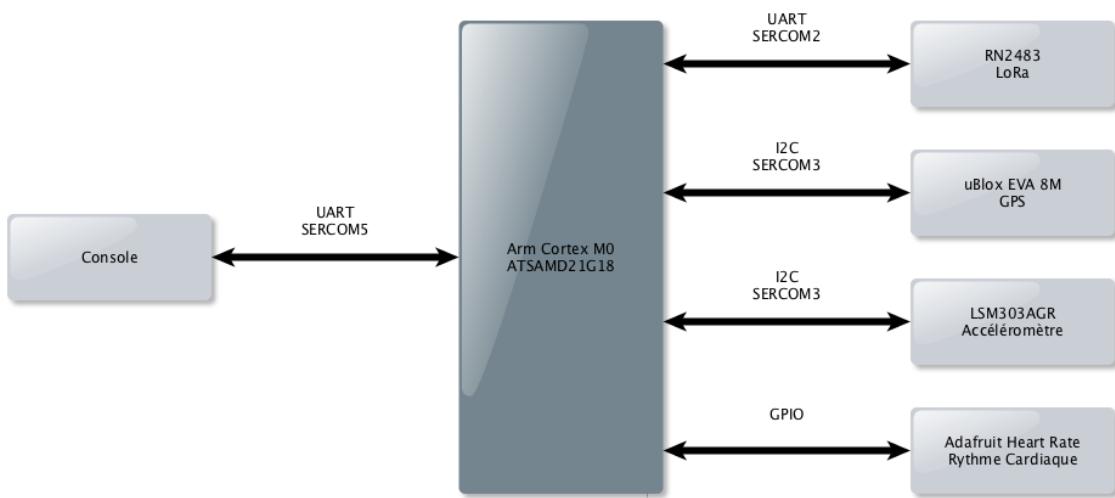


FIGURE 3.1 – Schéma block du capteur SODAQ One

### 3.2 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 projets 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 configurations pour différentes cartes du marché existent.

Ce RTOS est également très facile à configurer pour ses propres besoins au moyen de fichiers de configuration où 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. [1]

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 driver I<sup>2</sup>C a été réalisé car il n'en n'existe aucun au moment où j'ai commencé le travail de Bachelor. Ce driver est utilisé afin de pouvoir communiquer avec les modules GPS et accéléromètre. Les drivers développés dans le cadre du travail de diplôme sont décrit en détail dans la section 3.3.

La figure 3.2 présente l'architecture système du système d'exploitation temps-réel Zephyr.

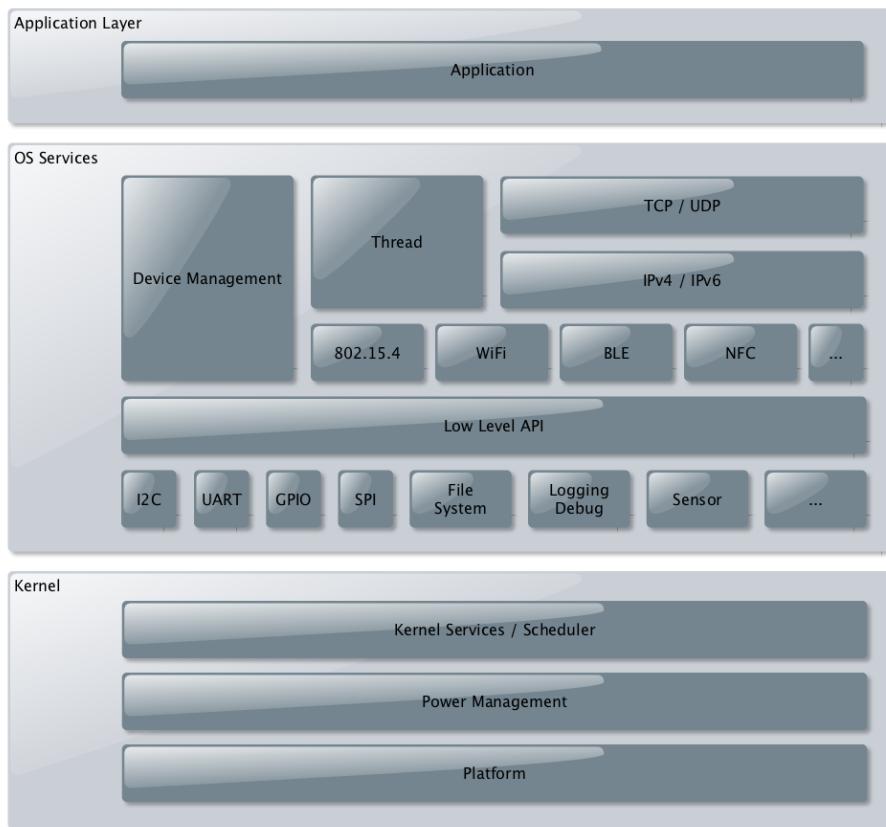


FIGURE 3.2 – Architecture système du système d'exploitation Zephyr - <http://www.zephyrproject.org>

### 3.3 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

#### 3.3.1 Driver $I^2C$ ATSAMD21G18

TODO Ajouter data sheet SAMD21 dans biblio + réf

$I^2C$  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.

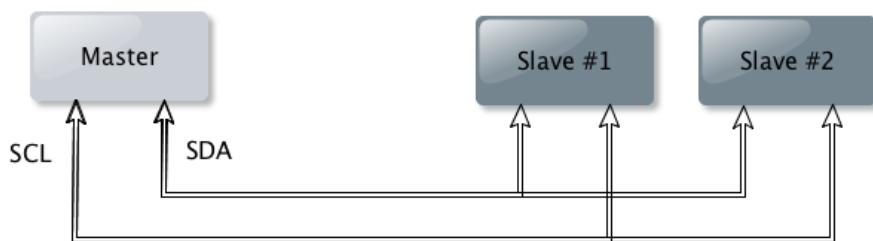


FIGURE 3.3 – Schéma d'un bus  $I^2C$

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 l'adresse de l'esclave à qui est destiné le message, suivi de l'opération, lecture ou écriture. Les données sont ensuite placées sur le bus par le maître dans le cas d'une écriture ou par l'esclave lors d'une lecture. Une chose importante lorsque le maître a terminé le processus de lecture, il doit envoyer un message de type NACK suivi d'un STOP afin d'informer l'esclave de la fin du transfert. La figure 3.4 propose les deux types de messages qu'il existe.

Le driver  $I^2C$  est responsable du pilotage d'un des 5 SERCOM que propose le micro-contrôleur, ce sont des modules qui peuvent être configurés afin de proposer une interface de type UART,

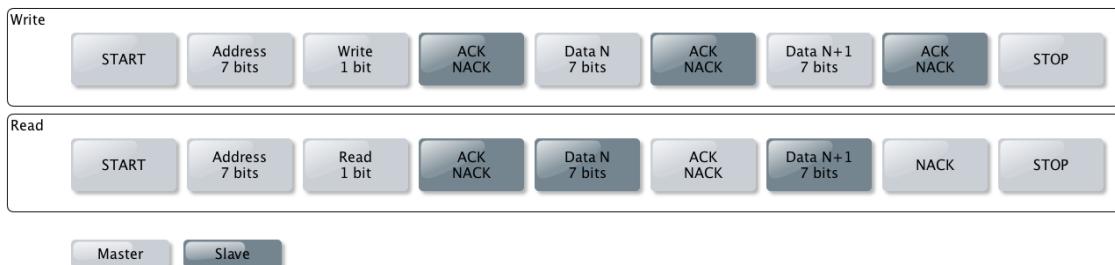


FIGURE 3.4 – Les messages  $I^2C$

$I^2C$  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 3.5 présente le diagramme de classe du driver  $I^2C$ .

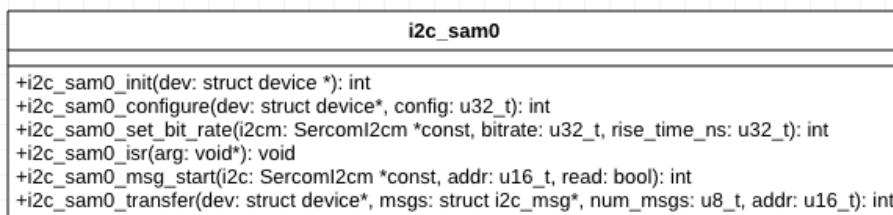


FIGURE 3.5 – Diagramme de class du driver  $I^2C$

### 3.3.2 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 au chapitre ???. TODO Chapitre GPS module link

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 mes-

sages 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 uniquement le 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, un seul message est utilisé c'est le UBX-NAV-PVT, la liste suivante présente un résumé des informations contenues 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

### TODO

En basant sur le driver  $I^2C$  décrit à la section précédente il va permettre l'initialisation, la configuration et la récupération des messages GPS du composant. Il utilise un thread qui va périodiquement

La figure 3.6 présente le diagramme de classe du driver UBloxEVA8M.

#### 3.3.3 Driver LSM303AGR

#### 3.3.4 Driver RN2483

#### 3.3.5 Driver LEDs

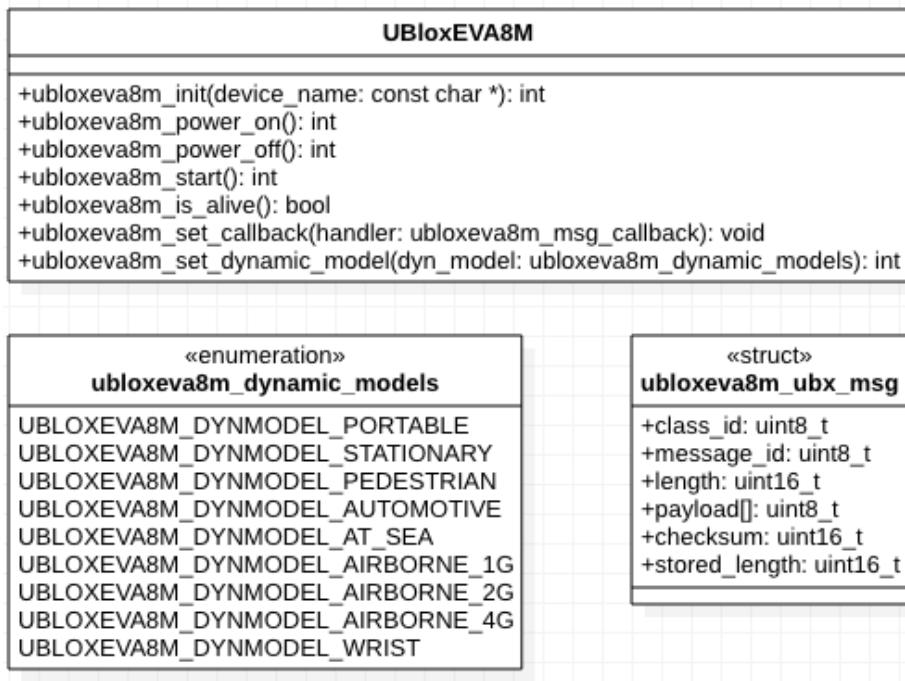


FIGURE 3.6 – Diagramme de class du driver UBloxEVA8M

### 3.4 Le logiciel embarqué

TODO

### 3.5 Le boîtier

TODO



## 4 Description de la passerelle



## 5 Description de la base de données



## 6 Description de l'application mobile



## 7 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 7.1.

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 7.1 – 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.

## 7.1 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 jauge 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.

## 7.2 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.

### 7.2.1 Test sur piste

TABLE 7.1 – 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 7.2a et 7.2b permettent de visualiser les positions GPS reçu 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 rouge, 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.

### 7.2.2 Test de distance

TABLE 7.2 – Résultats des tests phase 1 - Distance

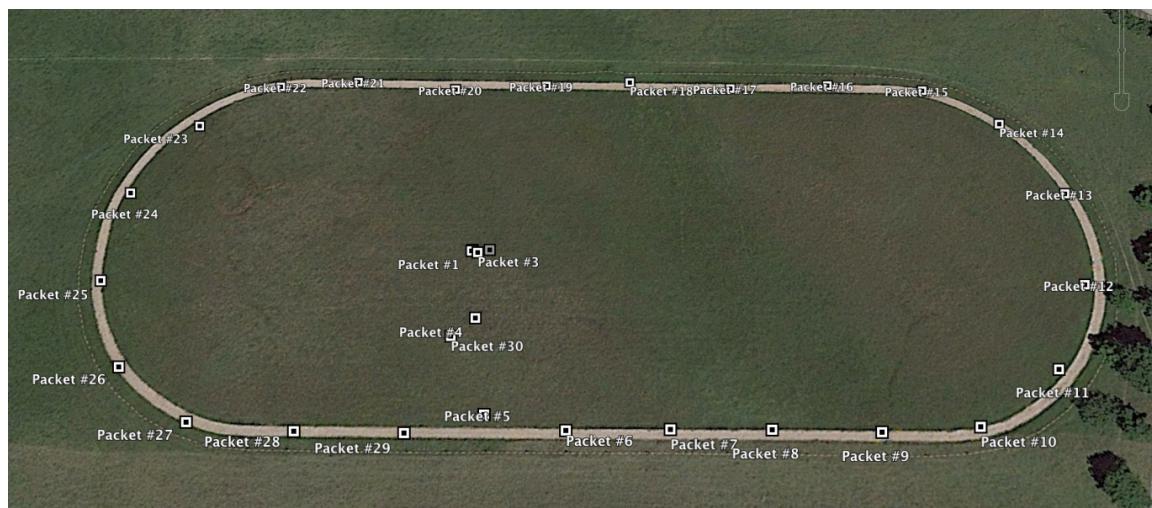
Tests Distance		Planeyse 13.07.2018				
Nom	Configuration	HDOP Moy	Nb Sat Moy	Nb reçu	Nb perdu	% perdu
Test #3	SF7 - PWR -0.6 dBm	1.37	7.88	32	10	23.8%
Test #4	SF12 - PWR -0.6 dBm	0.93	9.32	37	1	2.6%

Les figures 7.3a et 7.3b permettent de visualiser les positions GPS reçu 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.

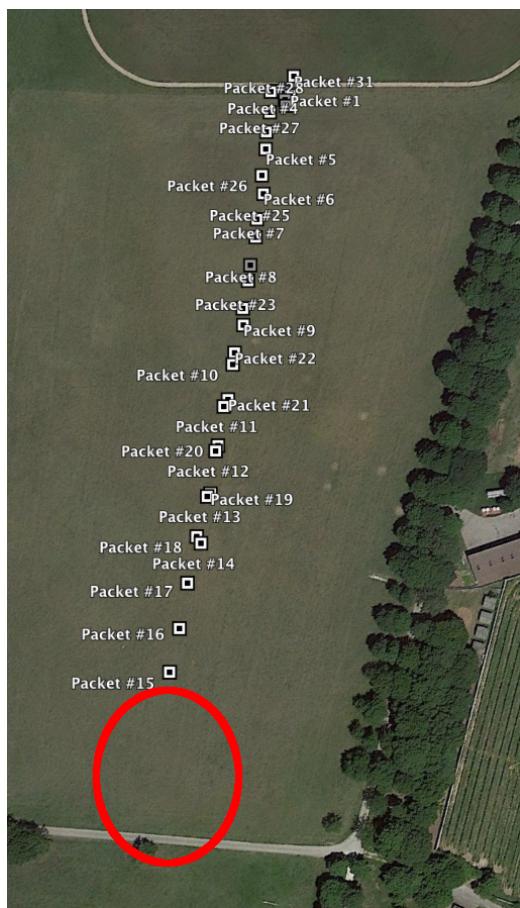


(a) Test #1

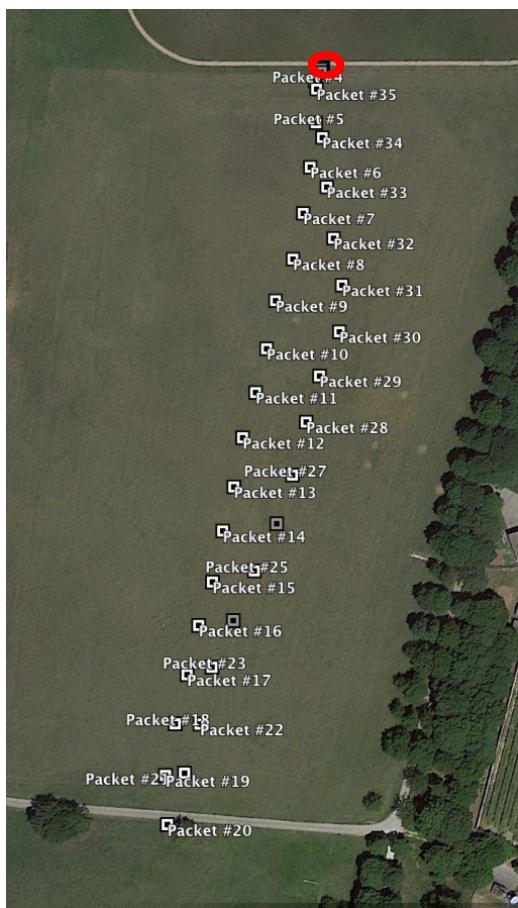


(b) Test #2

FIGURE 7.2 – 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 7.3 – Position GPS de chaque paquet reçu durant le test de distance - Images capturés grâce au logiciel © Google Earth

### 7.3 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.

## 8 Test phase #2



## 9 Test phase #3



## 10 Considérations pour le développement d'un produit



## 11 Conclusion



## 12 Dossier de gestion



## Bibliographie

- [1] T. L. Foundation, “Gps overview.”
- [2] U-Blox, *u-blox 8 / u-blox M8 - Receiver Description Including Protocol Specification*, ubx-13003221 - r15 ed., March 2018.

## Authentification