

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

Table des figures	vi
Liste des tableaux	vii
1 Introduction	1
2 Vue d'ensemble du système	3
2.1 Les interactions	4
2.2 La couche radio LoRa	4
3 Description du capteur	5
3.1 Le matériel	5
3.2 Le système d'exploitation Zephyr	6
3.3 Le logiciel embarqué	6
3.4 Le boîtier	6
4 Description de la passerelle	7
5 Description de la base de données	9
6 Description de l'application mobile	11
7 Test phase #1	13
7.1 Scénarios	14
7.2 Résultats	14
7.2.1 Test sur piste	15
7.2.2 Test de distance	15

7.3 Conclusion test phase #1	18
8 Test phase #2	19
9 Test phase #3	21
10 Considérations pour le développement d'un produit	23
11 Conclusion	25
12 Dossier de gestion	27
Bibliographie	29

Table des figures

3.1 Schéma block du capteur SODAQ One	6
7.1 Format du paquet test1	13
7.2 Positions GPS des tests piste	16
7.3 Positions GPS des tests distance	17

Liste des tableaux

3.1 Caractéristiques de la carte SODAQ One v3	5
7.1 Résultats des tests phase 1 - Piste	15
7.2 Résultats des tests phase 1 - Distance	15

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 leur position actuelle 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.

Enfin 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.

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
- Accéléromètre : Ce module sera utilisé pour connaître le nombre de pas effectué par le sportif ce qui permettra de calculer sa cadence
- 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

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 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 sera également connecté pendant la phase de debug ce qui permettra d'afficher des messages.

Pour rappel, les caractéristiques du SODAQ One sont décrit dans la table 3.1.

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

Aux modules de base, comme expliqué précédemment, il faudra rajouter un module qui per-

mettra 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.

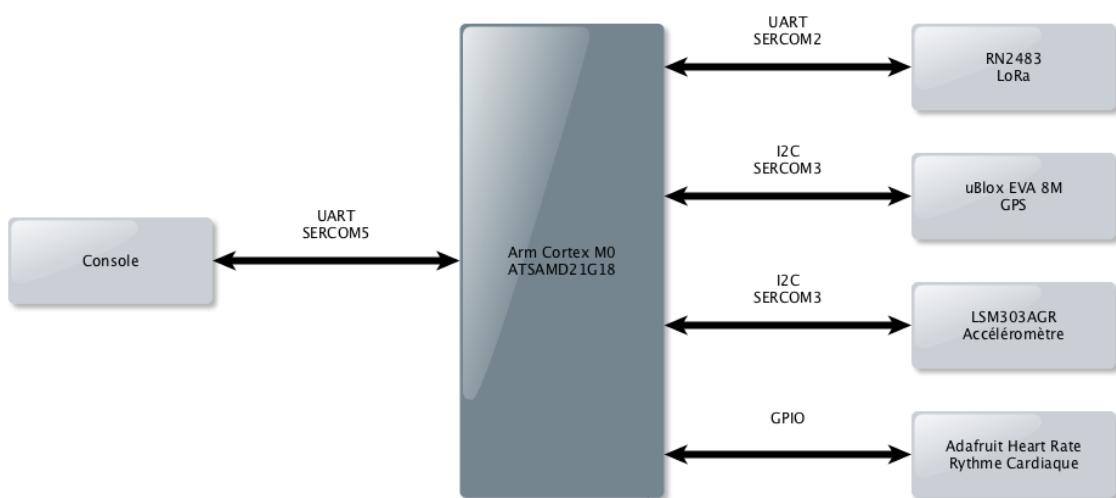


FIGURE 3.1 – Schéma block du capteur SODAQ One

3.2 Le système d'exploitation Zephyr

TODO

3.3 Le logiciel embarqué

TODO

3.4 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

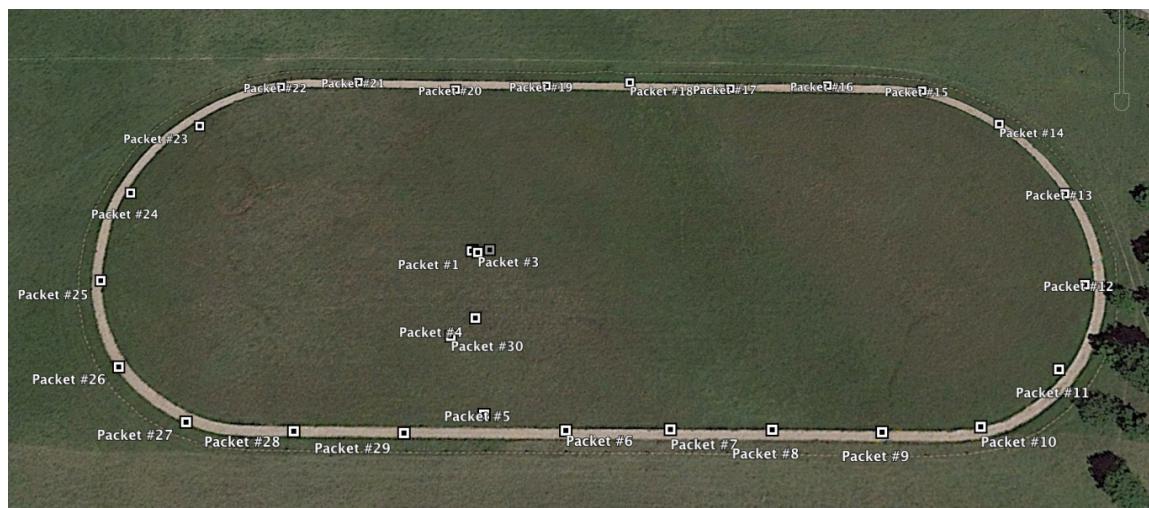
Tests Distance		Planeyse 13.07.2018				
Nom	Configuration	HDOP Moy	Nb Sat Moy	Nb reçu	Nb perdu	% perdu
Test #3	SF7 - PWR -0.6 dBm	1.37	7.88	32	10	23.8%
Test #4	SF12 - PWR -0.6 dBm	0.93	9.32	37	1	2.6%

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.

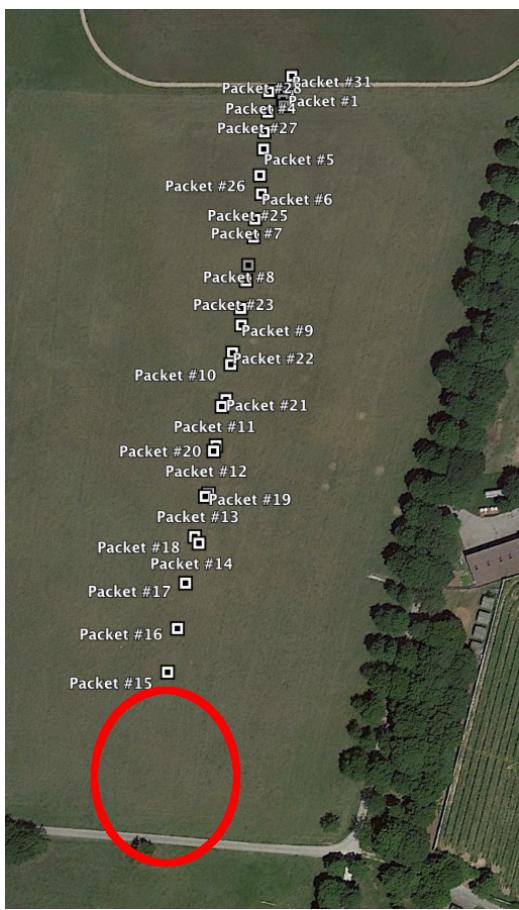


(a) Test #1

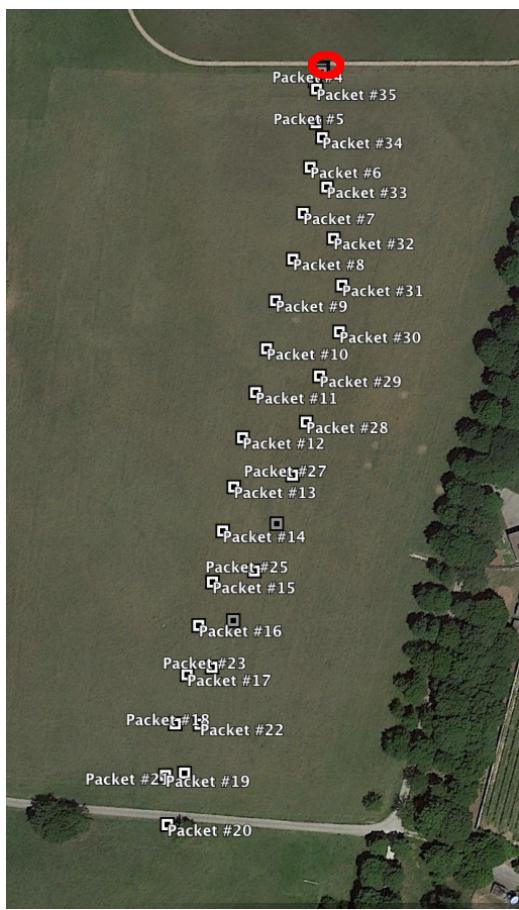


(b) Test #2

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

Authentification