



République Tunisienne
Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique
Université de Tunis El Manar
Faculté des Sciences de Tunis
Département des Sciences de l'informatique



RAPPORT DE PROJET DE FIN D ETUDES

*Présenté en vue de l'obtention du
Diplôme de Licence en Informatique IOT3*

Par

Masmoudi Mahdi

Développement d'un dispositif antivol avec Accéléromètre et communication LoRaWAN



Organisme d'accueil : Be Wireless

Encadré par : Kamel Elchaieb Supervisé

Supervisé par : Jacer Ben Hamouda

Président de jury : Mm. Asma Amdouni

Rapporteur : Mr Chiheb-Ameur Abid

Section ▪ N° S02032

Année Universitaire :2023-2024

J'autorise l'étudiant à faire le dépôt de son rapport de stage en vue d'une soutenance.

Encadrant professionnel, **Monsieur Jacer Ben Hamouda**

Signature et cachet

J'autorise l'étudiant à faire le dépôt de son rapport de stage en vue d'une soutenance.

Encadrant académique, **Monsieur Kamel Echaieb**

Signature

Je Dédie ce projet :

*À ma chère mère ,
À mon cher père*

*Qui n'ont jamais cessé,de formuler des prières a mon égard ,de me soutenir et de
m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs.*

À mes chères Amis,

Pour leur aides et supports dans les moments difficiles.

*À toute ma famille,mon frère ,ma sœur , mes grands mères ,mes
oncles ,mes tentes et mes cousins.*

Puisse Dieu vous donne santé,bonheur,courage et surtout réussite.

Mahdi Masmoudi

Remerciements

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce projet de fin d'études.

Tout d'abord, nous remercions chaleureusement Mr Kamel Echaieb, notre encadrant académique, pour son soutien constant, ses conseils avisés et son dévouement tout au long de ce parcours. Votre expertise et votre bienveillance ont été des éléments clés de la réussite de ce projet.

Nous souhaitons également remercier Mr.Jacer Ben Hamouda, notre encadrant au sein de la start-up, pour son accompagnement et ses orientations précieuses. Votre expérience et vos encouragements ont grandement facilité notre progression.

Un grand merci à toute l'équipe de Be wireless.

Enfin, nous adressons nos sincères remerciements aux membres du jury pour le temps consacré à évaluer notre travail et pour leurs précieux commentaires et suggestions qui contribueront à notre développement professionnel et personnel.

Table des matières

Introduction générale	1
1 Contexte général	2
1.1 Cadre Du Projet	3
1.2 Organisme d'accueil [1]	3
1.2.1 Les solutions de BWS	4
1.2.2 Les produits de BWS	5
1.3 Problématique	5
1.4 Solution	6
1.5 Choix méthodologique	6
1.6 Diagramme de GANTT théorique	7
2 Analyse et spécification des besoins et conception	9
2.1 Travail Demandé	10
2.2 Identification des besoins	10
2.2.1 Besoins fonctionnels	10
2.2.2 Besoins non fonctionnels	10
2.3 Choix Des Technologies	11
2.3.1 Choix De la Prtocol De Communication	11
2.3.2 Choix Des Technologies De Communication	12
2.3.3 Choix de Système D'exploitation	13
2.3.4 Choix de Microcontrôleur	13
2.3.5 Solution proposée :	14
2.4 Conception	14
2.4.1 Comportements du système	14
2.4.2 Diagramme de cas d'utilisation	14
2.4.3 Diagramme des séquences	15
2.4.4 diagramme de sequence globale	16
2.4.5 diagramme de sequence entre la carte et l'accelerometer	16

2.4.6	diagramme de sequence entre le module lora et le Gateway	17
2.4.7	Diagramme d'activité	17
3	Environnement technique	19
3.1	Materielles Utilisés	20
3.1.1	CMWX1ZZABZ-078 :	20
3.1.2	STM32L082KZ :[2]	21
3.1.3	Lis2dw12 :[3]	22
3.1.4	Module LoRaWAN :	23
3.1.5	Émetteur-récepteur SX1276 :[4]	24
3.2	Étude des technologies adoptées	24
3.2.1	Présentation LoraWan	24
3.2.2	Qu'est-ce que LoRa et LoRaWAN ? :	24
3.2.3	Fonctionnement de LoRa et LoRaWAN :	25
3.2.4	Lora :	25
3.2.5	Lora Wan :	25
3.2.6	Connexion microcontrôleur - accéléromètre	27
3.2.7	PRESNTATION I ² C	27
3.2.8	FONCTIONNEMENT I ² C[5]	27
3.2.9	Connexion microcontrôleur - Module LoraWan	27
3.2.10	PRESNTATION SPI	28
3.2.11	Fonctionnement SPI[6]	28
4	Réalisation	30
4.1	Choix techniques	31
4.1.1	Environnement logiciel	31
4.1.2	IAR	31
4.1.3	Langage C	31
4.1.4	STM32CubeMX	32
4.1.5	Git	32
4.1.6	Lucidchart	33
4.2	Travail réalisé	34

4.2.1	Configuration I ² C	34
4.2.2	Configuration de capteur	34
4.2.3	Affichage des résultats	34
4.2.4	Implémentation de l'algorithme	35
4.2.5	Transmission des données via lora	35
Conclusion générale		38
Bibliographie		40
Annexes		41
	Annexe	41

Table des figures

1.1	Logo Be Wireless	3
1.2	Produits be wireless	5
1.3	Diagramme De Gantt	8
2.1	Diagramme de cas d'utilisation	15
2.2	Diagramme de sequence globale	16
2.3	Diagramme de sequence entre le module lora et l'accelerometer	16
2.4	Diagramme de sequence entre le module lora et le Gateway	17
2.5	Diagramme d'activité de système	18
3.1	CMWX1ZZABZ-078	21
3.2	STM32L082KZ	22
3.3	Lis2dw12h	23
3.4	Schéma de la carte lora	23
3.5	Émetteur - Récepteur SX1276	24
3.6	Modulation Lora	25
3.7	Architecture LoraWan	26
3.8	FONCTIONNEMENT DE i ² c	27
3.9	Philosophie du bus SPI	28
3.10	FONCTIONNEMENT DE SPI	29
4.1	IAR	31
4.2	langage c	32
4.3	stm32 cubemx	32
4.4	git	33
4.5	Lucidchart	33
4.6	configuration de l'i ² c	34
4.7	Affichage des données lors du débogage	35
4.8	Capture d'écran de la message d'alerte reçu par le Gateway	37
4.9	Architecture Lora	37

Annexe	41
------------------	----

Liste des tableaux

2.1	Comparaison des Protocoles de Communication	11
2.2	Comparaison des Technologies de Communication	12
2.3	Comparaison des Systèmes d’Exploitation Temps Réel	12
2.4	Comparaison des Familles de Microcontrôleurs STM32	13

Liste des abréviations

—	BWS	=	B andwidth S haring
—	EDI	=	E lectronic D ata I nterchange
—	FSK	=	F requency S hift K eying
—	I²C	=	I nter- I ntegrated C ircuit
—	I2S	=	I nter- I ntegrated S ound
—	IAR	=	IAR - Integrated Development Environment for Embedded Systems
—	IOT	=	I nternet of T hings
—	LORAWAN	=	LORAWAN - Long Range Wide Area Network
—	LPUART	=	L ow- P ower U ART
—	M2M	=	M achine- t o- M achine
—	MISO	=	M aster I n S lave O ut
—	MOSI	=	M aster O ut S lave I n
—	NB-IOT	=	N arrow B and I nternet of T hings
—	RF	=	R adio F requency
—	RX	=	R ecieve
—	SCK	=	S erial C lock
—	SCL	=	S erial C lock L ine
—	SDA	=	S erial D ata L ine
—	SPI	=	S erial P eripheral I nterface
—	SS	=	S lave S elect
—	TX	=	T ransmit
—	UART	=	U niversal A synchronous R eciever T ransmitter
—	UML	=	U nified M odeling L anguage

Introduction générale

Les objets connectés jouent un rôle croissant dans notre vie quotidienne et industrielle, nécessitant des solutions de sécurité robustes pour garantir leur fonctionnement optimal. Parmi ces dispositifs, les appareils BWS IoT extérieurs, développés par (BWS), sont particulièrement vulnérables aux vols et aux manipulations non autorisées. Ce projet de fin d'études vise à répondre à cette problématique en développant un système antivol innovant pour ces appareils.

BWS est une entreprise spécialisée dans le développement de solutions IoT, offrant une large gamme de produits destinés à diverses applications industrielles et commerciales. Leur expertise en matière de connectivité sans fil et de gestion des données permet de proposer des dispositifs robustes et fiables. Cependant, la sécurité des appareils IoT reste un défi majeur, surtout dans des environnements exposés où les risques de vol et de vandalisme sont élevés.

Ce rapport présente le travail effectué dans le cadre de mon projet de fin d'études. Ce projet, axé sur la sécurité des objets connectés (IoT), vise à développer un dispositif antivol innovant pour les appareils de BWS. BWS est une entreprise spécialisée dans les solutions IoT, fournissant des dispositifs de surveillance et de traçabilité pour diverses applications industrielles. L'objectif principal de ce projet est de concevoir un dispositif antivol basé sur un microcontrôleur STM32, capable de détecter les mouvements non autorisés et d'envoyer des alertes en temps réel.

Ce rapport détaille les différentes phases du projet, de la spécification des besoins à la conception, en passant par le développement du micrologiciel et les tests de validation. Chaque étape sera expliquée en détail, mettant en évidence les choix techniques, les défis rencontrés et les solutions mises en œuvre. Une attention particulière sera accordée à la documentation du projet, incluant le code source, les références API et les manuels d'utilisation, pour assurer la pérennité du projet et faciliter sa maintenance et son évolution ultérieure.

En conclusion, ce projet de fin d'études est une opportunité précieuse pour appliquer les connaissances acquises au cours de mon cursus universitaire. Il me permettra de développer mes compétences en conception matérielle et logicielle, ainsi que ma compréhension des défis liés à la sécurité des objets connectés.

CONTEXTE GÉNÉRAL

Plan

1	Cadre Du Projet	3
2	Organisme d'accueil [1]	3
3	Problématique	5
4	Solution	6
5	Choix méthodologique	6
6	Diagramme de GANTT théorique	7

Introduction

Dans ce premier chapitre, nous exposerons le contexte général du projet. Nous commencerons par présenter l'entreprise d'accueil, Be Wireless Solutions (BWS). Nous présenterons ensuite l'énoncé du problème. Avant de clôturer ce chapitre, nous étalerons le cadre de travail que nous avons utilisé durant le projet ainsi que la planification du travail.

1.1 Cadre Du Projet

Le projet consiste à développer un dispositif antivol utilisant un microcontrôleur STM32 pour surveiller le mouvement d'un objet via un accéléromètre. L'appareil détecte les mouvements non autorisés et communique avec les passerelles LoRaWAN pour envoyer des alertes.

1.2 Organisme d'accueil [1]

La société Be Wireless Solutions (BWS) a été créée en 2016, après avoir obtenu la licence IOT en 2017 et label start-up en 2019. BWS s'est affirmée en tant que leader en Tunisie dans le domaine du développement de solutions IOT axées sur l'économie des ressources. Ces solutions incluent : **Les capteurs sans fil** : pour la collecte de données et le contrôle à distance des objets connectés. **Une offre de connectivité** : installation et exploitation d'un réseau IOT (LoRa).

Applications métiers : web et mobile pour surveiller en temps réel et à distance les objets connectés. BWS fournit des systèmes intégrés et connectés pour économiser les ressources dans divers domaines : industrie, agriculture, énergie, transport et villes intelligentes.

La figure 4.9 présente le logo de Be Wireless.



FIGURE 1.1 : Logo Be Wireless

1.2.1 Les solutions de BWS

BWS développe des solutions qui permettent la surveillance en temps réel et à distance des objets connectés : des frigos, des machines, des compteurs d'eau, des véhicules, des espaces verts et agricoles (poulailler, serre, ruche, clapier), et même une ville pour économiser les ressources. Parmi les produits offerts par BWS, on pourra citer les plus connus et demandés à savoir :

Solution de suivi de la chaîne du froid :

Une solution de suivi de la chaîne du froid de vos marchandises, qu'elles soient stockées ou en transit, en temps réel, à distance, personnalisée, paramétrable et sans fil. Vous êtes alors instantanément alerté et vous pouvez savoir exactement quand et où la chaîne du froid a été fracturée.

Solution de transport intelligent : Une solution personnalisable, intégrée et simple d'utilisation pour le suivi des véhicules.

- Solution de gestion de l'énergie :

Une solution d'optimisation de la gestion de l'énergie par le suivi instantané et la télé-relève des consommations énergétiques et la détection des équipements énergivores.

- Solution de suivi de la consommation d'eau :

Une solution pour optimiser la consommation d'eau grâce à la télé-relève en temps réel de la consommation d'eau et à la détection des fuites et la fraude. La solution appliquée aux compteurs mécaniques sans modifications ni investissements supplémentaires.

- Solution « smart cities » :

La solution « smart cities » vous propose des solutions pour remettre la technologie au cœur de votre smart city et améliorer le quotidien de tous, à travers :

- Des services intelligents "utiles" pour ses citoyens.
- Applications conviviales pour les agents de la ville et les citoyens.
- Meilleur partage d'informations sur la ville.
- Une connectivité IOT permanente et un Wifi extérieur offerts à toute la ville.

- Solution agriculture intelligente :

La solution agriculture intelligente vous permet de gérer à distance et en temps réel l'ensemble de votre espace agricole grâce à :

- La gestion de la température, de l'humidité et de la luminosité des espaces agricoles (poulaillers, serres, ruches et clapiers).
- Surveillance de l'humidité du sol et gestion de l'irrigation (automatique ou manuelle). Les solutions

BWS sont sans fil, connectées, évolutives, personnalisables, faciles à installer, et surtout économiques.

1.2.2 Les produits de BWS

Les produits BWS, illustrés dans la figure (1.2), sont totalement tunisiens et produits localement. Ce sont des produits sans fil, faciles à installer et économiques. BWS dispose d'une large gamme de produits :

- * Capteurs pour le contrôle à distance des objets connectés.
- * Capteurs pour la collecte de données des objets connectés.
- * Passerelles IOT pour la distribution du réseau LoRa permettant le transfert des données du capteur vers le serveur pour accéder à l'application par la suite.

Les produits de BWS sont représentés dans la figure (1.2) ci-dessous :



FIGURE 1.2 : Produits be wireless

1.3 Problématique

La sécurisation des appareils BWS IOT contre le vol est une préoccupation majeure pour les utilisateurs et les propriétaires de ces dispositifs. Les appareils BWS IOT, tels que les capteurs environnementaux, les caméras de sécurité et les systèmes de suivi, sont souvent installés dans des endroits à accès ouvert, exposés aux risques de vol et d'intrusion. Par conséquent, il est crucial de mettre en place un système antivol efficace pour prévenir les pertes matérielles, protéger les données sensibles et assurer la continuité des opérations.

La problématique centrale réside dans la détection précoce des mouvements non autorisés et la notification rapide aux utilisateurs en cas d'intrusion. Les dispositifs antivol actuels, comme les alarmes traditionnelles, ne sont pas adaptés aux besoins spécifiques des appareils BWS IOT . Ces appareils nécessitent une solution sur mesure qui intègre des fonctionnalités avancées de détection de mouvement, de communication à longue distance et de localisation géographique.

Une autre contrainte est l'optimisation de la consommation d'énergie. Les dispositifs BWS IOT sont fréquemment alimentés par des piles et doivent être utilisés pendant de longues périodes sans avoir besoin de remplacer régulièrement les piles. Ainsi, il est nécessaire de concevoir le système antivol de manière à réduire la consommation d'énergie lorsqu'aucun mouvement n'est détecté, tout en restant pleinement fonctionnel et réactif en cas d'intrusion. En résumé, la problématique à résoudre consiste à développer un dispositif antivol spécifiquement adapté aux appareils BWS IOT, en intégrant des fonctionnalités avancées de détection de mouvement, de communication à longue distance et de localisation géographique. Ce dispositif doit être capable de détecter les mouvements non autorisés, d'envoyer des alertes rapides aux utilisateurs tout en optimisant la consommation d'énergie pour assurer un fonctionnement prolongé et fiable.

1.4 Solution

Dans notre approche pour prévenir les vols des appareils BWS IOT, nous avons inclus un capteur d'accélération, un microcontrôleur STM32 et le module LoRaWAN. Les mouvements non autorisés seront détectés par le capteur d'accélération, tandis que le microcontrôleur STM32 assurera l'acquisition des données, l'analyse des mouvements et la communication avec les passerelles via LoRaWAN. La mise en place de cette solution permettra de repérer les intrusions en temps réel et d'envoyer des notifications pour une intervention immédiate.

1.5 Choix méthodologique

Nous avons choisi d'adopter une méthodologie agile pour garantir le succès de notre projet. La méthodologie agile offre une approche flexible et itérative qui correspond parfaitement aux défis et aux besoins changeants d'un projet de recherche. Nous avons commencé par définir clairement les objectifs et les exigences du projet, puis nous avons divisé le travail en itérations ou en fonctionnalités à livrer. Nous avons utilisé des cycles de développement courts, généralement de deux à quatre semaines, pour réaliser chaque itération, en s'assurant de suivre les principes fondamentaux de l'agilité tels que la communication régulière avec mon encadrant et les parties prenantes, l'adaptation aux nouveaux besoins et la rétroaction continue. Grâce à l'approche agile nous avons pu rapidement itérer et apporter des ajustements lorsque cela était nécessaire. Nous avons également pu bénéficier d'une plus grande flexibilité pour explorer de nouvelles idées et pour répondre aux éventuels changements

de direction du projet. Les revues régulières avec mon encadrant m'ont permis de recevoir des commentaires précieux et d'apporter des améliorations continues à mon travail. L'approche agile a également favorisé la collaboration et l'engagement de mon équipe de recherche, en nous permettant de travailler de manière plus collaborative, d'identifier les problèmes rapidement et de trouver des solutions efficaces. En résumé, l'utilisation de la méthodologie agile dans le cadre de mon projet de fin d'études m'a offert une approche structurée, flexible et itérative pour atteindre mes objectifs. Elle a facilité la communication, l'adaptation aux changements et l'amélioration continue de mon travail. Grâce à cette approche, j'ai pu aborder mon projet de manière plus efficace et obtenir des résultats de haute qualité.

1.6 Diagramme de GANTT théorique

Le diagramme de Gantt est un outil de gestion de projet largement utilisé qui permet de visualiser les différentes tâches et leur planification dans le temps.

Il se présente sous la forme d'un graphique à barres horizontales où chaque barre représente une tâche et sa durée prévue. Le diagramme de Gantt permet de voir les dépendances entre les tâches, les échéances et les ressources nécessaires.

En utilisant un diagramme de Gantt, on peut facilement identifier les tâches critiques et les jalons importants du projet. Il permet également de suivre l'avancement du projet en comparant les tâches prévues avec les tâches réellement réalisées.

Cela facilite la gestion du temps, la coordination des équipes et la prise de décisions pour respecter les délais.

Grâce à sa représentation visuelle claire et intuitive, le diagramme de Gantt est un outil précieux pour planifier, organiser et suivre les projets de manière efficace.

Il permet de visualiser l'ensemble du projet et de communiquer facilement les informations clés à toutes les parties prenantes, favorisant ainsi la collaboration et la coordination entre les membres de l'équipe du projet.

comme le montre dans la figure 1.3

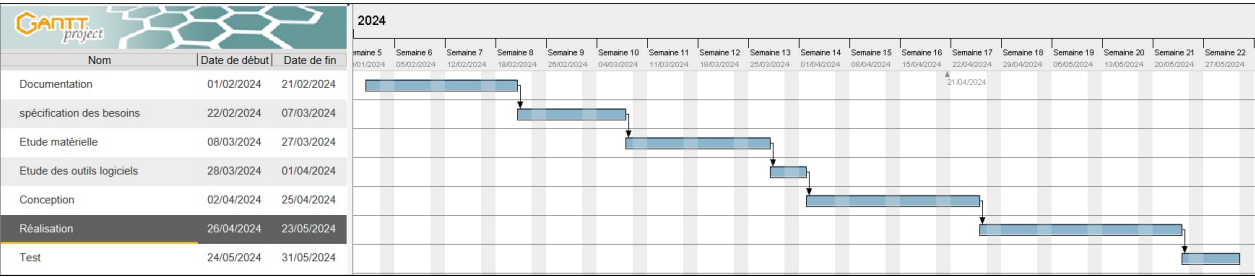


FIGURE 1.3 : Diagramme De Gantt

Conclusion

Dans ce premier chapitre, nous avons présenté une introduction générale sur le contexte du projet. Nous avons commencé par présenter l’organisme d’accueil et ses activités. Puis, nous avons étalé la problématique. Nous avons réservé la dernière partie du chapitre pour décrire le cadre de travail de conduite du projet de développement et la répartition des tâches de projet.

ANALYSE ET SPÉCIFICATION DES BESOINS ET CONCEPTION

Plan

1	Travail Demandé	10
2	Identification des besoins	10
3	Choix Des Technologies	11
4	Conception	14

Introduction

Ce chapitre traite des sujets fondamentaux, notamment les choix technologiques, la conception UML et l'analyse du cahier des charges.

2.1 Travail Demandé

L'objectif du projet est de concevoir un système de détection de vol pour les dispositifs BWS IoT, en exploitant un microcontrôleur STM32 et une communication LoRaWAN. Un accéléromètre permettra au dispositif de repérer les mouvements non autorisés et de communiquer avec les passerelles LoRaWAN afin d'envoyer des alertes.

2.2 Identification des besoins

2.2.1 Besoins fonctionnels

Les besoins fonctionnels décrivent les fonctionnalités spécifiques que le système doit fournir pour répondre aux exigences des utilisateurs et du projet. Pour ce projet, les besoins fonctionnels incluent :

1.Détection de mouvement suspect : Le système doit être capable de détecter les mouvements suspects à l'aide du capteur d'accélération intégré.

2.Envoi d'alertes en temps réel : Lorsqu'un mouvement suspect est détecté, le système doit envoyer des alertes en temps réel aux parties concernées.

3.Enregistrement des données de mouvement : Le système doit enregistrer les données de mouvement pour une analyse ultérieure.

2.2.2 Besoins non fonctionnels

Les besoins non fonctionnels décrivent les critères de performance et de qualité que le système doit respecter pour être efficace et fiable. Pour ce projet, les besoins non fonctionnels incluent :

1.Fiabilité : Le système doit être fiable et capable de fonctionner sans interruption sur de longues périodes.

2.Scalabilité : Le système doit être capable de gérer une augmentation du nombre de dispositifs connectés sans perte de performance.

3.Facilité d'installation : Le système doit être facile à installer et à configurer pour les utilisateurs

finaux.

4. Robustesse : Les capteurs et dispositifs doivent être robustes et résistants aux conditions environnementales variées.

2.3 Choix Des Technologies

TABLEAU 2.1 : Comparaison des Protocoles de Communication

Comparaison	I ² C	SPI	UART
Communication entre le microcontrôleur et le capteur	Protocole série synchrone	Protocole série synchrone	Protocole série asynchrone
Lignes de signal	SDA (transmission bidirectionnelle) et SCL	SCK, MOSI, MISO et SS	TX et RX
Avantages	Facilité d'implémentation, support de plusieurs capteurs sur le même bus	Communication full-duplex à haute vitesse, support de nombreux périphériques	Simplicité d'utilisation, large support dans l'industrie
Limitations	Distance limitée, débit de transmission plus faible	Nécessite plus de broches sur le microcontrôleur	Communication point à point entre deux dispositifs

2.3.1 Choix De la Prtocolle De Communication

I²C : Cette technologie a été choisie en raison de sa simplicité d'utilisation . Le protocole I²C ne nécessite que deux lignes de données, ce qui réduit le nombre de broches nécessaires sur le microcontrôleur. Il est largement pris en charge par différents capteurs et offre une communication bidirectionnelle, ce qui en fait un choix efficace et pratique pour interagir avec l'accéléromètre.

TABLEAU 2.2 : Comparaison des Technologies de Communication

Comparaison	LoRaWAN	Wi-Fi	Sigfox	NB-IoT
Technique de communication entre la carte et le gateway	Réseau sans fil à longue portée et faible consommation	Réseau local sans fil pour la connectivité Internet	Réseau à faible débit et longue portée	Technologie cellulaire basse consommation d'énergie
Avantages	Couverture étendue, faible consommation d'énergie	Haute vitesse de transmission, large disponibilité	Couverture étendue, faible consommation d'énergie	Connectivité à longue portée, faible consommation d'énergie
Limitations	Débit de transmission plus faible, infrastructure spécifique requise	Portée limitée, consommation d'énergie plus élevée	Débit de transmission limité, faible capacité de données	Infrastructure spécifique requise, coût potentiellement plus élevé

2.3.2 Choix Des Technologies De Communication

LoRaWAN : LoRaWAN a été sélectionné pour sa capacité à offrir une grande portée, une faible consommation d'énergie et sa pertinence pour les applications IoT nécessitant un faible débit de données sur de longues distances. Il assure une connectivité fiable sur des distances importantes, même dans des environnements complexes, ce qui en fait un choix adapté aux déploiements IoT nécessitant une large couverture et une utilisation efficace de l'énergie.

TABLEAU 2.3 : Comparaison des Systèmes d'Exploitation Temps Réel

Comparaison	FreeRTOS	Micrium OS
Gestion des tâches	Système d'exploitation en temps réel open-source	Système d'exploitation en temps réel commercial
Caractéristiques	Planification préemptive des tâches, gestion des priorités, communication inter-tâches	Planification préemptive, gestion des événements, synchronisation et communication inter-tâches
Avantages	Léger, bien documenté, support étendu dans l'industrie	Fonctionnalités avancées, fiabilité élevée, performance optimale
Limitations	Certaines fonctionnalités peuvent nécessiter une licence commerciale	Licence commerciale requise pour certaines fonctionnalités

2.3.3 Choix de Système D'exploitation

FreeRTOS : FreeRTOS a été choisi comme solution de gestion des tâches en raison de sa légèreté, de son statut open-source, de sa documentation étendue et de ses fonctionnalités robustes. Il permet de diviser le code en tâches indépendantes, d'exécuter ces tâches de manière concurrente et d'optimiser l'utilisation des ressources. FreeRTOS propose également des fonctionnalités de planification, de synchronisation et de communication inter-tâches, ce qui en fait un excellent choix pour la construction de systèmes multitâches et pour assurer la réactivité du système.

TABLEAU 2.4 : Comparaison des Familles de Microcontrôleurs STM32

Comparaison	Famille STM32 F	Famille STM32 L	Famille STM32 H	Famille STM32 G
Caractéristiques	Puissance de calcul élevée, fréquences d'horloge élevées, grande capacité de mémoire, nombreux périphériques intégrés	Faible consommation d'énergie, large gamme de fonctionnalités intégrées, connectivité sans fil, modes de faible consommation d'énergie	Puissance de calcul élevée, fréquences d'horloge élevées, grande capacité de mémoire, nombreux périphériques intégrés, connectivité étendue	Bon équilibre performances/conso d'énergie/coût, fonctionnalités intégrées, différentes options de mémoire et de connectivité
Avantages	Hautes performances, grande flexibilité	Autonomie prolongée de la batterie, optimisé pour les applications basse consommation	Hautes performances, adapté au traitement du signal, audio, vidéo, etc.	Polyvalent, adapté à une large gamme d'applications générales
Limitations	Consommation d'énergie plus élevée, coût potentiellement plus élevé	Puissance de calcul relativement inférieure par rapport à d'autres familles	Consommation d'énergie plus élevée, coût potentiellement plus élevé	Peut ne pas offrir des performances aussi élevées que les familles F ou H dans des applications spécifiques

2.3.4 Choix de Microcontrôleur

Famille STM32 L (Low Power) : La famille STM32 L a été choisie pour sa faible consommation d'énergie, ses fonctionnalités intégrées et son support communautaire étendu. Ces microcontrôleurs sont conçus pour offrir une efficacité énergétique optimale, ce qui les rend adaptés aux applications IoT nécessitant une autonomie prolongée de la batterie. De plus, la famille STM32 L offre une large gamme de périphériques et de capacités de traitement qui répondent aux besoins du projet.

2.3.5 Solution proposée :

2.4 Conception

2.4.1 Comportements du système

Dans cette section, nous exposons la conception approfondie du projet.

Nous utiliserons des diagrammes de cas d'utilisation pour illustrer le comportement et les différentes utilisations du système à développer, en présentant les différents acteurs. De plus, nous utiliserons des diagrammes de séquence pour décrire les différentes étapes.

La dynamique de notre système et les échanges entre les objets dans un ordre séquentiel

2.4.2 Diagramme de cas d'utilisation

Après avoir obtenu les exigences fonctionnelles de notre application, nous pouvons maintenant présenter les fonctionnalités recueillies à travers un schéma de cas d'utilisation, comme illustré dans la Figure 3.4. En effet, le schéma de cas d'utilisation permet de visualiser de manière intuitive le système et les divers acteurs qui y interagissent. Il s'agit d'interagir entre le système et son environnement externe, sans s'intéresser à la manière dont le système va réellement accomplir les fonctionnalités décrites. comme le montre dans la figure 2.1

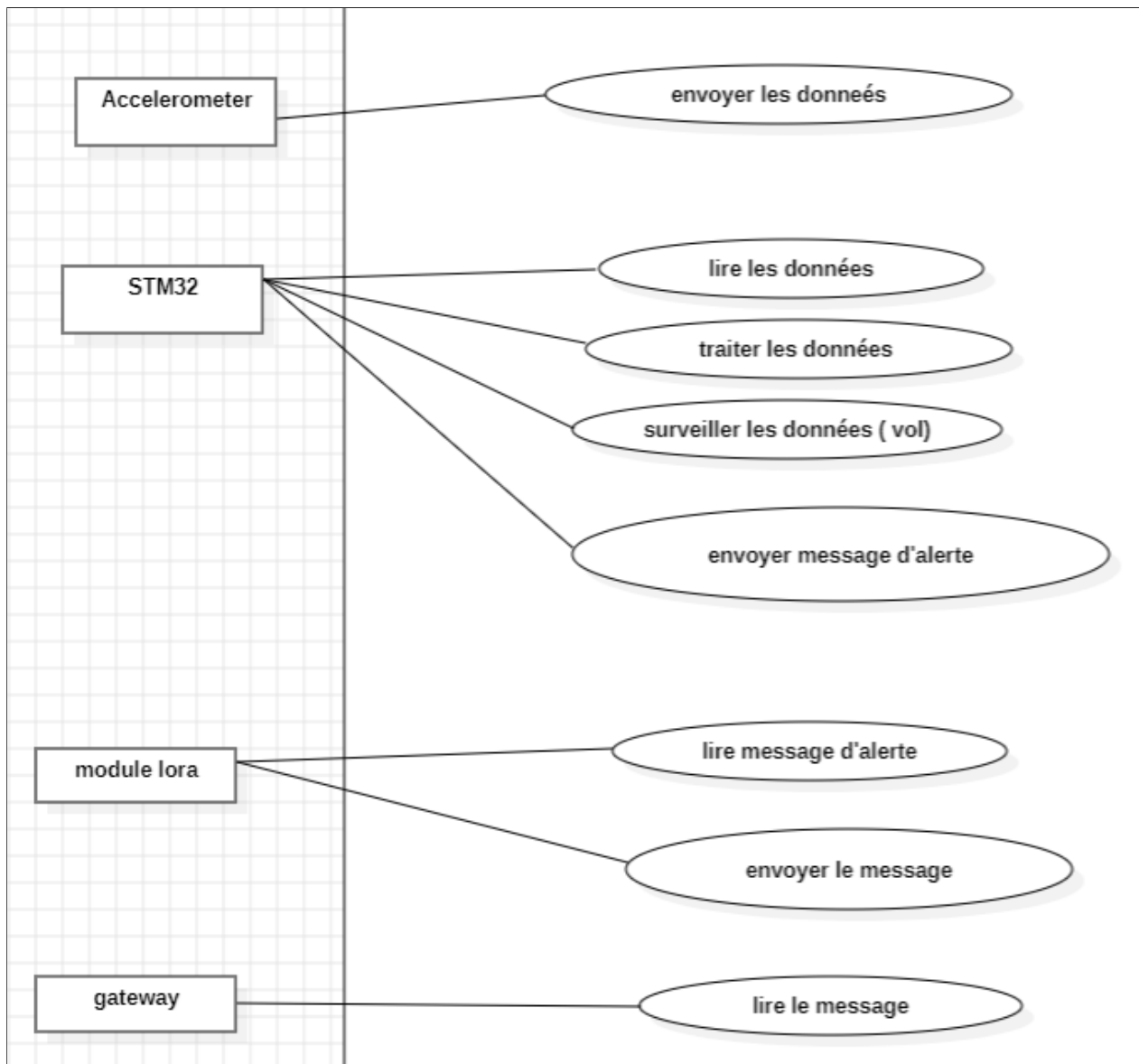


FIGURE 2.1 : Diagramme de cas d'utilisation

2.4.3 Diagramme des séquences

Le diagramme de séquence est un diagramme comportemental (dynamique) et plus spécifiquement un diagramme d'interaction. Il nous donne la possibilité de visualiser les interactions entre les divers objets et acteurs du système au fil du temps. C'est pourquoi nous l'avons sélectionné pour représenter les interactions entre les divers éléments de notre système en premier lieu. La représentation graphique présente le schéma de séquence global de notre système.

2.4.4 diagramme de sequence globale

Le diagramme de séquence globale représente l'interaction générale entre les différents composants du système. comme le montre dans la figure 2.2

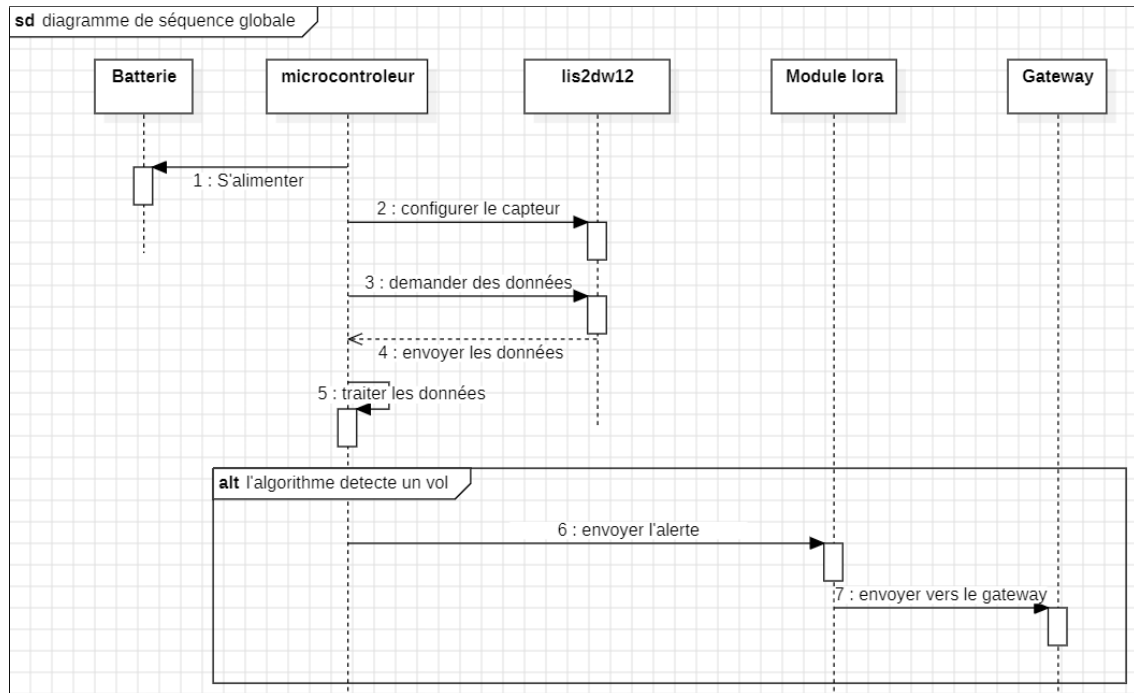


FIGURE 2.2 : Diagramme de sequence globale

2.4.5 diagramme de sequence entre la carte et l'accelerometer

Le diagramme de séquence entre la carte et l'accéléromètre détaille les étapes de configuration du capteur par la carte. comme le montre dans la figure 2.3

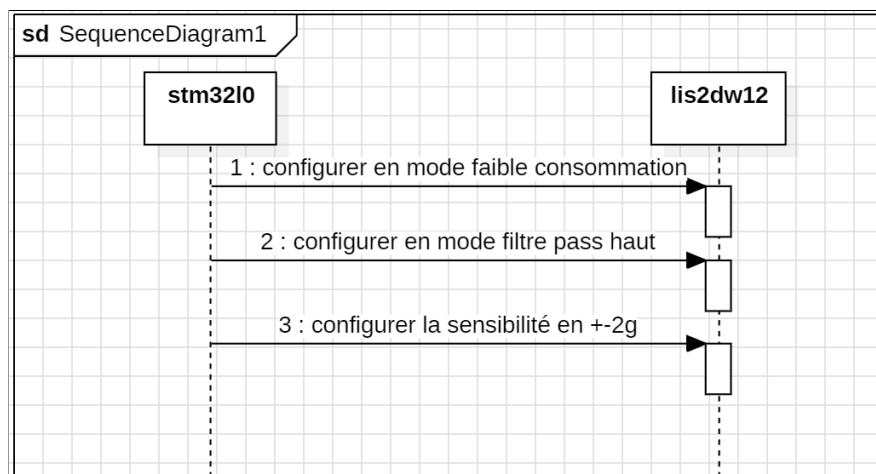


FIGURE 2.3 : Diagramme de sequence entre le module lora et l'accelerometer

2.4.6 diagramme de sequence entre le module lora et le Gateway

Le diagramme de séquence entre le module lora et le Gateway montre comment le module lora transmet les données au Gateway après avoir demandé une jointure. comme le montre dans la figure 2.4

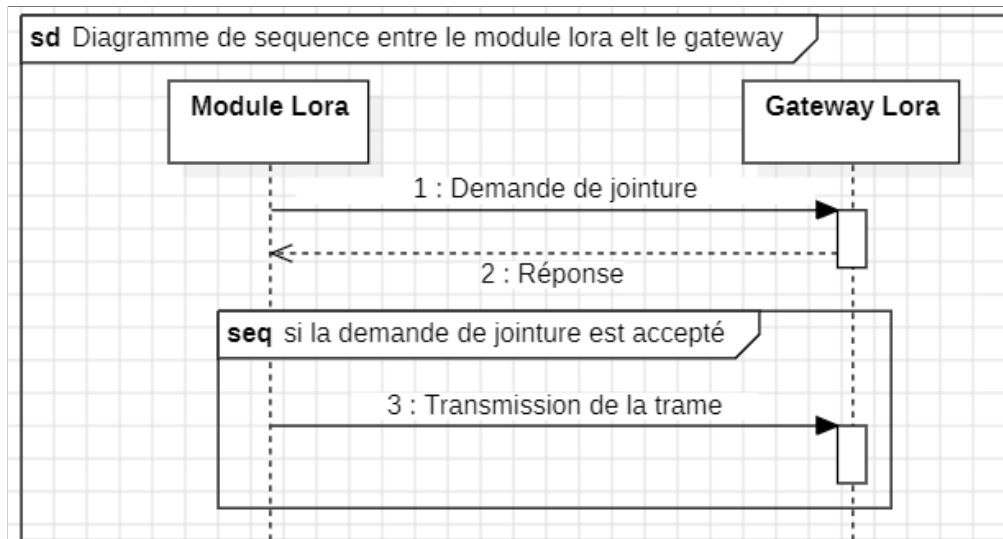


FIGURE 2.4 : Diagramme de sequence entre le module lora et le Gateway

2.4.7 Diagramme d'activité

Le diagramme d'activité est un modèle comportemental d'UML qui permet de représenter les événements qui se produisent en fonction des états du système et de concevoir des comportements parallélisables. On utilise également le diagramme d'activité pour décrire un flux de travail. comme le montre dans la figure 2.5

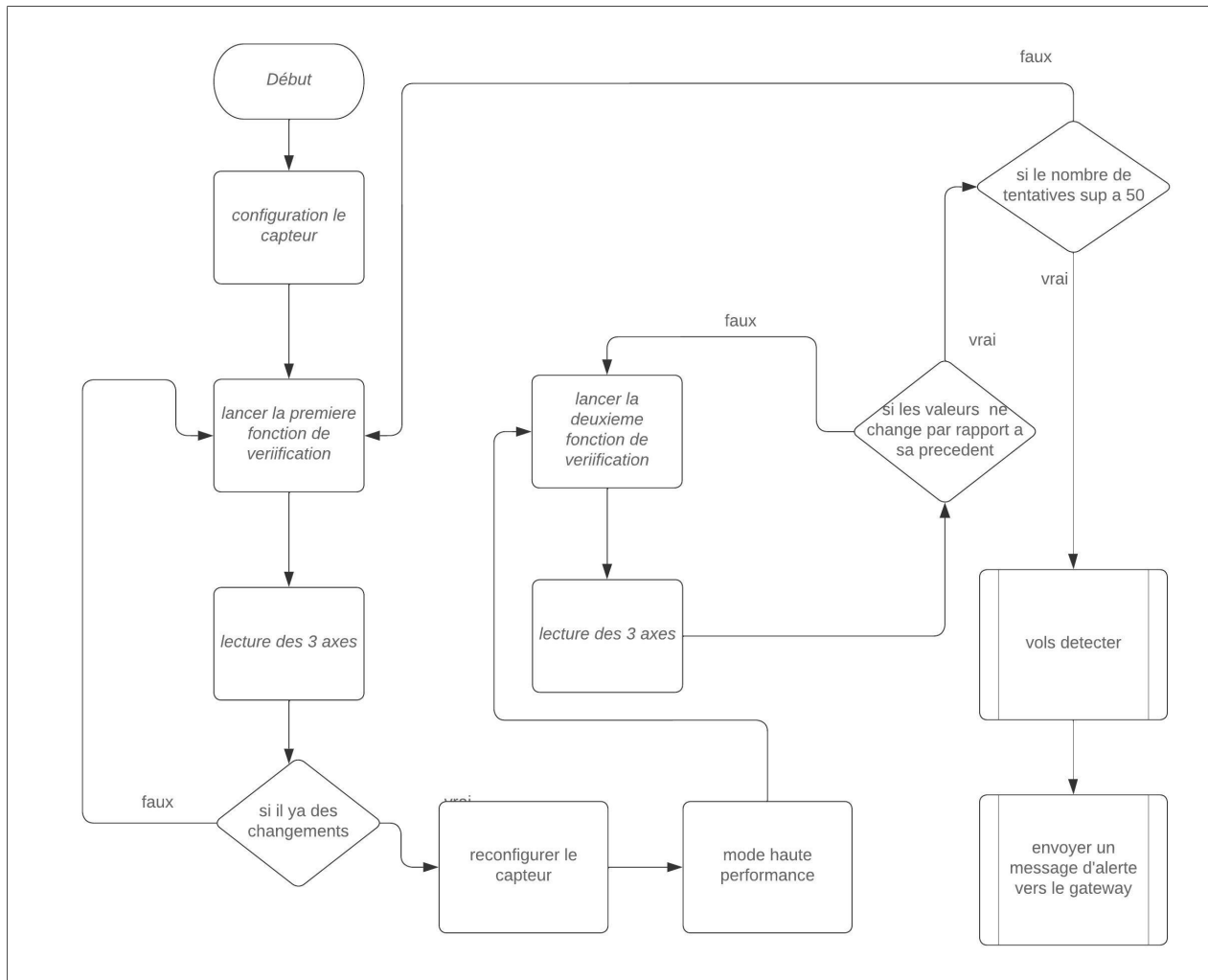


FIGURE 2.5 : Diagramme d'activité de système

Conclusion

En conclusion, ce chapitre nous a permis d'explorer de manière approfondie les concepts clés des choix technologiques, de la conception UML et de l'analyse du cahier des charges dans le développement de systèmes informatiques. Nous avons compris l'importance de prendre des décisions éclairées en matière de technologies, en tenant compte des performances, de la flexibilité et de la maintenance du système.

ENVIRONNEMENT TECHNIQUE

Plan

1	Matériels Utilisés	20
2	Étude des technologies adoptées	24

Introduction

Dans ce chapitre, on va s'intéresser à nos choix durant la réalisation de notre système, passant du choix des matérielles, aux choix des technologies dédiés aux applications IoT. Ainsi, nous définirons les notions préalables nécessaires à la compréhension et à la réalisation de notre projet.

3.1 Matérielles Utilisés

3.1.1 CMWX1ZZABZ-078 :

L'élément clé de notre produit est un appareil sans fil personnalisé adapté à une telle tâche. Être L'équipe Wireless Solutions a conçu et développé l'appareil en veillant rigoureusement à ce qu'il satisfasse aux besoins de notre projet. L'appareil est doté d'un cœur STM32L0xx intégré, qui garantit que le traitement est robuste et économe en énergie en termes de surveillance et de traitement des données des capteurs fourniture de services, tous deux essentiels au fonctionnement prolongé de l'appareil. au coeur de l'appareil se trouve un module Cambro-mazantly réalisé en type ABZ (CMWX1ZZABZ-078) qui permet la communication LoRaWAN longue portée et à faible problème nécessaire à notre déploiement scénario. Ce module collabore avec l'émetteur-récepteur SX1276. Cette combinaison fournit le robustesse pour une transmission fiable des données, même dans les situations les plus difficiles. L'accéléromètre intégré LIS2DW12 est l'une des caractéristiques de notre appareil qui le rend extrêmement multifonctionnel et multitâche, et c'est un excellent choix pour les applications de détection de mouvement. La création de cas d'utilisation interactifs améliore les chances, comme les activités déclenchées par le mouvement ou simplement la possibilité de suivre les activités. La figure 10 ci-dessous montre la conception physique de notre appareil, qui est compact et ergonomique. la figure 3.1 présente la carte CMWX1ZZABZ-078.

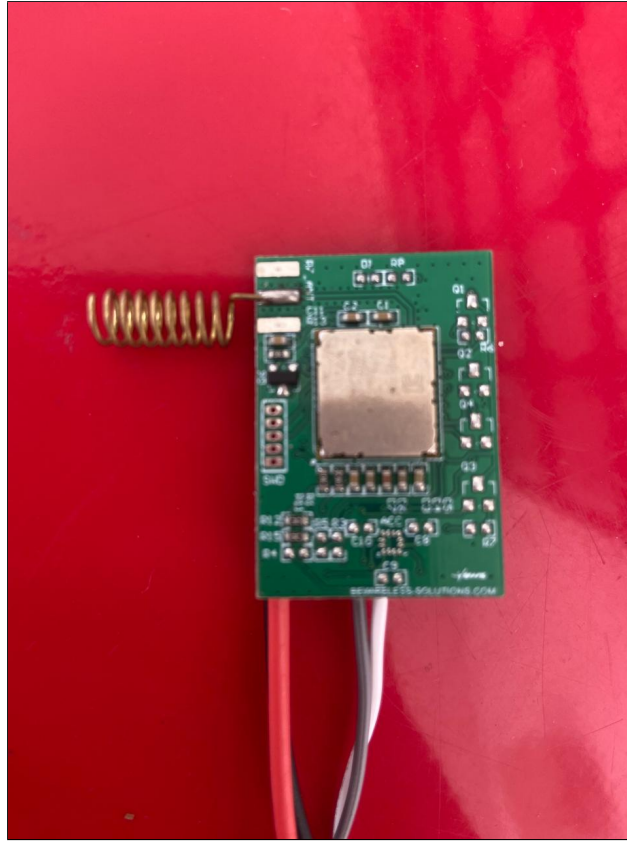


FIGURE 3.1 : CMWX1ZZABZ-078

3.1.2 STM32L082KZ :[2]

Les microcontrôleurs STM32L082xx à très faible consommation intègrent la puissance de connectivité du bus série universel (USB 2.0 sans cristal) avec le cœur RISC 32 bits Arm Cortex-M0+ hautes performances fonctionnant à une fréquence de 32 MHz, une unité de protection de la mémoire (MPU), mémoires intégrées à haute vitesse (jusqu'à 192 Ko de mémoire programme Flash, 6 Ko de données EEPROM et 20 Ko de RAM) ainsi qu'une large gamme d'E/S et de périphériques améliorés.

Les dispositifs STM32L082xx offrent une efficacité énergétique élevée pour une large gamme de performances. Ceci est réalisé grâce à un large choix de sources d'horloge internes et externes, une adaptation de tension interne et plusieurs modes basse consommation.

De plus, les appareils STM32L082xx intègrent des interfaces de communication standard et avancées : jusqu'à trois I2C, deux SPI, un I2S, quatre USART, un UART basse consommation (LPUART) et un USB sans cristal. Les appareils offrent jusqu'à 19 canaux de détection capacitive pour ajouter simplement une fonctionnalité de détection tactile à n'importe quelle application.

Le STM32L082xx comprend également une horloge en temps réel et un ensemble de registres de sauvegarde qui restent alimentés en mode veille. la figure 3.2 présente le microcontrôleur.



FIGURE 3.2 : STM32L082KZ

3.1.3 Lis2dw12 :[3]

Le LIS2DW12 est un accéléromètre linéaire à trois axes ultra-basse consommation et haute performance appartenant à la famille "femto" qui s'appuie sur les processus de fabrication robustes et matures déjà utilisés pour la production d'accéléromètres micro-usinés.

Caractéristiques

- Consommation d'énergie ultra-faible : 50 nA en mode veille, moins de 1 μ A en mode basse consommation active
- Bruit très faible : jusqu'à 1,3 mg RMS en mode basse consommation
- Modes de fonctionnement multiples avec plusieurs largeurs de bande
- Android détection stationnaire, détection de mouvement
- Tension d'alimentation, 1,62 V à 3,6 V
- Alimentation indépendante de l'OI
- $\pm 2g/\pm 4g/\pm 8g/\pm 16g$ pleine échelle • Interface de sortie numérique I²C/SPI à grande vitesse
- Conversion unique des données à la demande
- Sortie de données 16 bits la figure 3.3 présente l'accéléromètre.



FIGURE 3.3 : Lis2dw12h

3.1.4 Module LoRaWAN :

Le module ABZ est particulièrement bien adapté aux applications IoT et M2M qui nécessitent communication longue portée et faible consommation d'énergie. Il prend en charge le protocole LoRaWAN, le rendant compatible avec les réseaux LoRaWAN existants et offre une gamme d'interfaces pour faciliter l'intégration avec divers microcontrôleurs et capteurs. Dans l'ensemble, le module ABZ LoRa est un périphérique analogiques et numériques. La gamme de produits STM32L est ouverte à différents cas d'utilisation solution polyvalente et fiable pour les applications qui nécessitent une communication longue portée avec une faible consommation d'énergie, tels que l'IoT, les appareils portables et les systèmes embarqués hors tension. Dans la figure 11 ci-dessous, voici un exemple de consommation d'énergie, ce qui le rend idéal pour notre projet. Ici dans la figure 12 nous avons une description du cœur de notre appareil principal : la figure 3.4 présente le schéma de la carte .

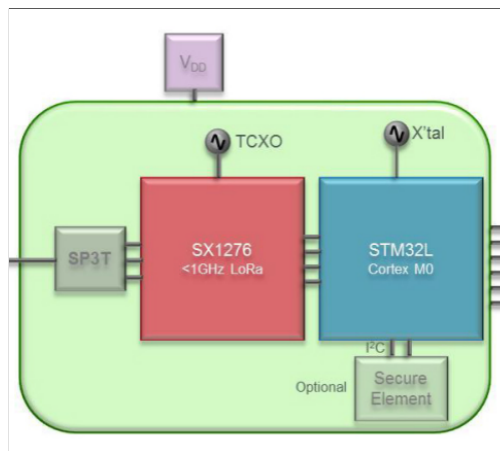


FIGURE 3.4 : Schéma de la carte lora

3.1.5 Émetteur-récepteur SX1276 :[4]

L'émetteur-récepteur LoRa Semtech SX1276 est un chipset radio intégrant les fonctions de modulation et démodulation LoRa, ainsi que les fonctions de communication sans fil pour les bandes de fréquences ISM (Industrial, Scientific and Medical) dans la plage de fréquences de 137 MHz à 1020 MHz. Le SX1276 offre une plage de communication LoRa allant jusqu'à 15 km en champ libre, avec une puissance d'émission maximale de +20 dBm. la figure 3.5 présente l'Émetteur Récepteur.

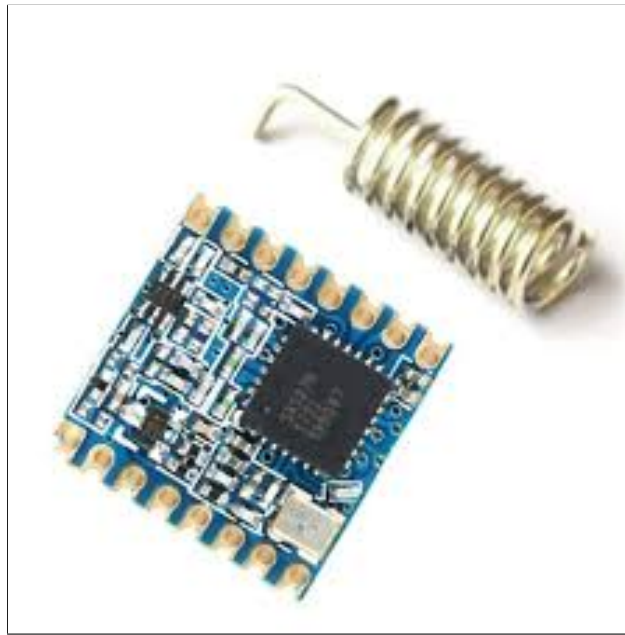


FIGURE 3.5 : Émetteur - Récepteur SX1276

3.2 Étude des technologies adoptées

3.2.1 Présentation LoraWan

3.2.2 Qu'est-ce que LoRa et LoRaWAN ? :

LoRa est une technique de modulation radio qui manipule les ondes radio pour coder des informations en utilisant un format multi-symboles gazouillé. Il peut faire référence aux systèmes supportant cette modulation ou le réseau de communication IoT. LoRaWAN est un protocole de réseau étendu à faible consommation conçu sur LoRa. Il connecte sans fil les appareils à Internet et gère la communication entre nœuds finaux et passerelles réseau.

3.2.3 Fonctionnement de LoRa et LoRaWAN :

3.2.4 Lora :

LoRa utilise une méthode appelée étalement du spectre. Le but reste cependant le même : pouvoir transmettre en même temps, sur le même canal. Le protocole LoRa utilise sept des « codes » appelés Spreading Factors [SF6, SF7, SF8, SF9, SF10, SF11 et SF12], qui autorisent sept transmissions simultanées sur le même canal. Le signal émis par la modulation LoRa est un symbole dont la forme de base est représentée ci-dessous. Son nom (Chirp) vient du fait que ce symbole est utilisé dans la technologie Radar. la figure 3.6 présente la modulation lora.

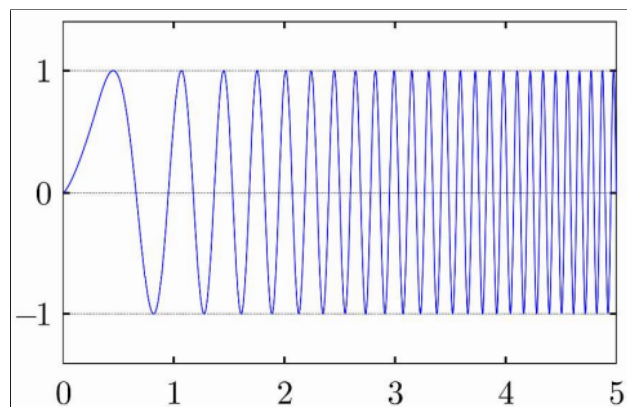


FIGURE 3.6 : Modulation Lora

La fréquence de départ est la fréquence centrale du canal moins la moitié de la bande passante et la fréquence finale est la fréquence centrale du canal plus la moitié de la bande passante. En conclusion, La modulation LoRa offre une solution robuste et efficace pour la communication longue portée dans l'IoT applications. En utilisant le schéma de modulation Chirp Spread Spectrum, LoRa permet une transmission de données sur de longues distances tout en maintenant une faible consommation d'énergie. C'est Une technique de modulation unique, associée à son adaptabilité à diverses bandes passantes, rend LoRa un choix idéal pour les applications IoT nécessitant une connectivité fiable et longue portée.

3.2.5 Lora Wan :

LoRa est la technologie qui permet la communication à longue portée, tandis que LoRaWAN est le protocole qui régit la manière dont les appareils communiquent sur ce réseau. Nous avons ici le architecture du LoRaWAN qui est composée de :

- **Appareils LoRa** : les appareils LoRa sont des appareils physiques équipés de la technologie LoRa qui transmettent et reçoivent des données sur les réseaux LoRaWAN.
- **Passerelles LoRa** : les passerelles LoRa sont des appareils qui reçoivent et transmettent des données entre LoRa appareils et un réseau LoRaWAN, servant de pont entre les appareils finaux et le serveur réseau.
- **Serveur réseau** : un serveur réseau dans LoRaWAN est un composant central qui gère la communication entre les appareils et les applications LoRa. Il gère le routage des messages, la sécurité et la configuration du réseau.
- **Serveur d'applications** : un serveur d'applications dans LoRaWAN est responsable du traitement et stocker les données reçues des appareils LoRa. Il gère la logique spécifique à l'application, telle que l'analyse des données, le stockage et l'intégration avec d'autres systèmes ou services.
- **Application utilisateur** : le logiciel ou le programme qui s'exécute sur l'appareil ou le système de l'utilisateur final, en utilisant les données reçues des appareils LoRa via le réseau LoRaWAN. Cette application peut effectuer diverses tâches, telles que l'analyse des données, la visualisation ou les actions de contrôle basées sur les données reçues.

Voici une figure qui représente l'architecture de LoRaWAN :

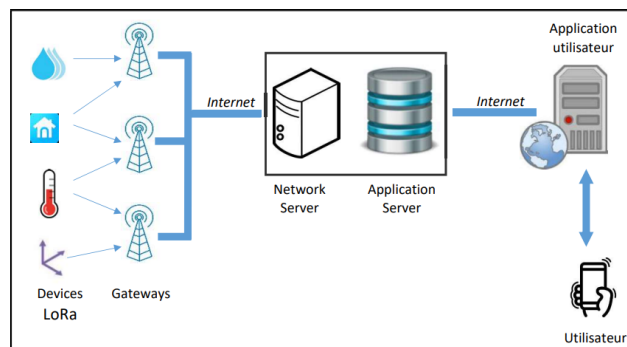


FIGURE 3.7 : Architecture LoraWan

Comme le montre la figure 3.7, les composants expliqués précédemment fonctionnent tous ensemble et dans cet ordre.

un réseau LoRaWAN, qui sera similaire à la manière dont notre système antivol fonctionnera lorsqu'il vient à l'envoi de données.

3.2.6 Connexion microcontrôleur - accéléromètre

Cette section étudie la connexion entre le microcontrôleur STM32 et l'accéléromètre en utilisant l'interface I2C.

Elle examine les avantages de cette interface, tels que sa simplicité de câblage et sa capacité à connecter plusieurs périphériques.

Les spécifications techniques de l'accéléromètre sont également analysées pour garantir une intégration correcte avec le microcontrôleur

3.2.7 PRÉSENTATION I²C

Le protocole I2C est un protocole destiné à permettre à plusieurs circuits intégrés numériques (« puces ») numériques « périphériques » de communiquer avec une ou plusieurs puces « contrôleurs ». Comme l'interface périphérique série (SPI), elle est uniquement destinée aux communications à courte distance au sein d'un seul appareil. Comme les interfaces série asynchrones (telles que RS-232 ou UART), il ne nécessite que deux fils de signal pour échanger des informations.

3.2.8 FONCTIONNEMENT I²C[5]

Fonctionnement du protocole de communication I2C : Il utilise seulement 2 lignes bidirectionnelles à drain ouvert pour la communication de données appelées SDA et SCL. Ces deux lignes sont tirées haut.

Données série (SDA) – Le transfert de données s'effectue via cette broche. Horloge série (SCL) – Elle transporte le signal d'horloge. la figure 3.8 présente le bus i²c.

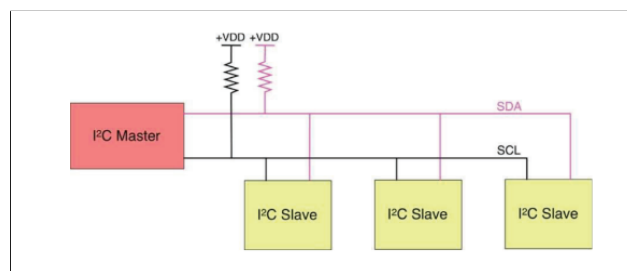


FIGURE 3.8 : FONCTIONNEMENT DE i²c

3.2.9 Connexion microcontrôleur - Module LoraWan

Nous explorons la connexion entre le microcontrôleur STM32 et le module LoRaWAN en utilisant l'interface SPI .

Nous examinons les avantages de cette interface, tels que sa vitesse de transmission élevée et sa capacité de communication bidirectionnelle.

Les spécifications techniques du module LoRaWAN sont prises en compte pour assurer une intégration correcte avec le microcontrôleur.

3.2.10 PRÉSENTATION SPI

SPI : Contrôleur de bus série fonctionnant selon un protocole inventé par Motorola.

Un bus série de ce type permet la connexion, de type maître-esclave, de plusieurs circuits disposant d'interfaces compatibles avec trois fils de liaisons. la figure 3.9 présente une description sur le protocole spi.

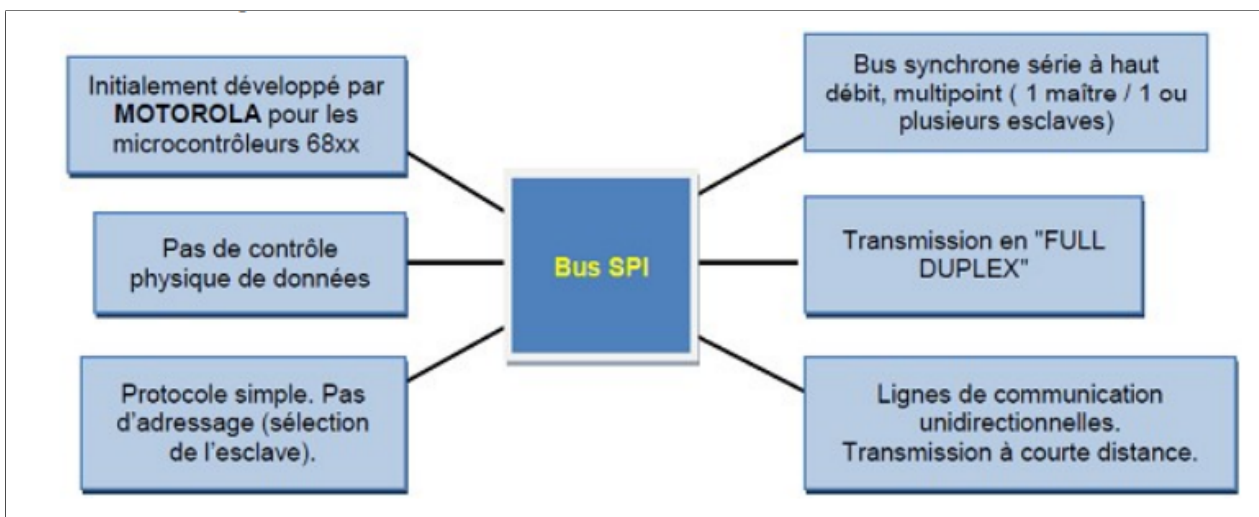


FIGURE 3.9 : Philosophie du bus SPI

3.2.11 Fonctionnement SPI[6]

SPI. Contrôleur de bus série fonctionnant selon un protocole inventé par Motorola.

Un bus série de ce type permet la connexion, de type maître-esclave, de plusieurs circuits disposant d'interfaces compatibles avec trois fils de liaisons.

SPI a des lignes labellisés :

1. « MOSI »
2. « MISO »
3. « SCK »

Ces trois lignes sont connectées à leurs lignes respectives sur un ou plusieurs esclaves.

4. Les esclaves sont identifiées grâce au signal de leur ligne SS . Autres nommages possibles : SDO et SDI . la figure 3.10 présente le bus spi.

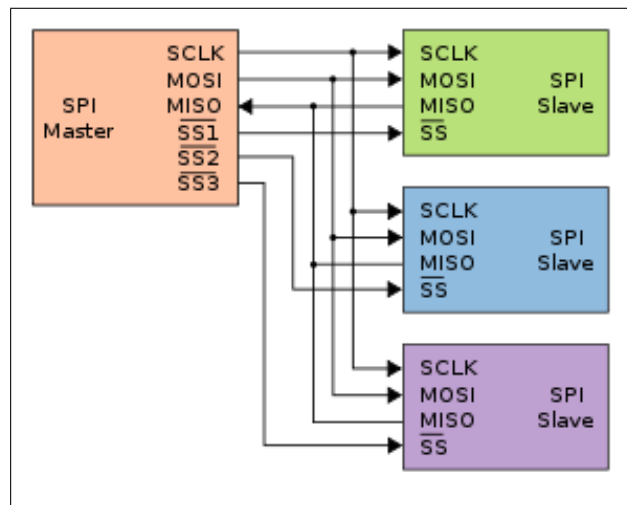


FIGURE 3.10 : FONCTIONNEMENT DE SPI

RÉALISATION

Plan

1	Choix techniques	31
2	Travail réalisé	34

Introduction

Ce chapitre décrit la mise en œuvre de la conception que nous avons détaillée dans les chapitres précédents tout en tenant compte des exigences spécifiées. Nous exposons les choix que nous avons faits en matière de développement et d'outils techniques.

4.1 Choix techniques

4.1.1 Environnement logiciel

4.1.2 IAR

IAR est un environnement de développement intégré (EDI) largement utilisé pour programmer et déboguer des microcontrôleurs. Il fournit des fonctionnalités avancées telles que la compilation, le débogage, la gestion de projet et l'analyse statique du code. IAR est spécialement conçu pour les systèmes embarqués et offre une prise en charge complète des microcontrôleurs STM32, permettant aux développeurs de créer et de déployer des applications efficacement. la figure 4.1 présente le logo de IAR Workbench.

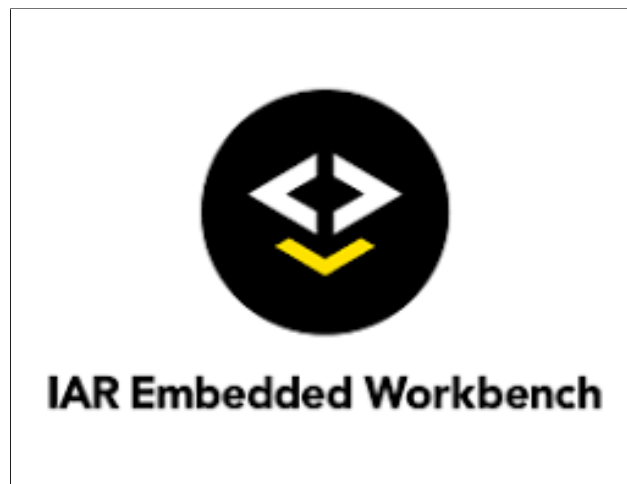


FIGURE 4.1 : IAR

4.1.3 Langage C

Le langage C est un langage de programmation largement utilisé dans le développement de logiciels embarqués. Il est reconnu pour sa simplicité, sa portabilité et sa performance. Avec une syntaxe claire et des fonctionnalités de bas niveau, le langage C permet aux développeurs de contrôler directement

le matériel du microcontrôleur et d'optimiser l'utilisation des ressources. la figure 4.2 présente le logo de la langage c.



FIGURE 4.2 : langage c

4.1.4 STM32CubeMX

STM32CubeMX est un outil de configuration graphique fourni par STMicroelectronics pour faciliter le développement de logiciels pour les microcontrôleurs STM32. Il permet de générer automatiquement le code d'initialisation pour les périphériques STM32, en configurant les broches, les horloges, les interruptions et d'autres paramètres système. STM32CubeMX simplifie la mise en place initiale du projet et accélère le processus de développement. la figure 4.3 présente le logo de la logiciel stm32cubemx.



FIGURE 4.3 : stm32 cubemx

4.1.5 Git

Git est un système de contrôle de version largement utilisé pour la gestion du code source. Il permet aux développeurs de collaborer efficacement sur un projet, de suivre les modifications du code, de

gérer les branches et les fusionnements, et de revenir à des versions antérieures si nécessaire. Git facilite également le partage du code et la gestion des modifications entre les membres de l'équipe de développement. la figure 4.4 présente le logo de git.



FIGURE 4.4 : git

4.1.6 Lucidchart

Lucidchart est un outil de création de diagrammes en ligne qui permet de concevoir des diagrammes de façon collaborative. Il offre une variété de modèles prédéfinis pour créer des diagrammes de flux, des diagrammes de cas d'utilisation, des diagrammes de séquence et d'autres types de diagrammes couramment utilisés dans le développement logiciel. Lucidchart facilite la visualisation et la communication des concepts et des processus. la figure 4.5 présente le logo de Lucidchart.



FIGURE 4.5 : Lucidchart

4.2 Travail réalisé

4.2.1 Configuration I²C

l'initialisation de L'i2c :

la figure 4.6 présente l'initialisation de i2c.

```
/* I2C_EXPBD SCL and SDA pins configuration -----  
GPIO_InitStruct.Pin    = I2CMems_SCL_PIN | I2CMems_SDA_PIN;  
GPIO_InitStruct.Mode    = GPIO_MODE_AF_OD;  
GPIO_InitStruct.Speed   = GPIO_SPEED_HIGH;  
  
GPIO_InitStruct.Pull    = GPIO_PULLUP;  
GPIO_InitStruct.Alternate = I2CMems_SCL_SDA_AF;  
  
HAL_GPIO_Init( I2CMems_GPIO_PORT, &GPIO_InitStruct );  
/* Enable the I2C_Mems peripheral clock */  
I2CMems_CLK_ENABLE();  
/* Force the I2C peripheral clock reset */  
I2CMems_FORCE_RESET();  
/* Release the I2C peripheral clock reset */  
I2CMems_RELEASE_RESET();  
  
hI2C1.Instance = I2C1;  
hI2C1.Init.Timing = I2C_TIMING;  
hI2C1.Init.OwnAddress1 = 0;  
hI2C1.Init.AddressingMode = I2C_ADDRESSINGMODE_7BIT;  
hI2C1.Init.DualAddressMode = I2C_DUALADDRESS_DISABLE;  
hI2C1.Init.OwnAddress2 = 0;  
hI2C1.Init.OwnAddress2Masks = I2C_OA2_NOMASK;  
hI2C1.Init.GeneralCallMode = I2C_GENERALCALL_DISABLE;  
hI2C1.Init.NoStretchMode = I2C_NOSTRETCH_DISABLE;  
HAL_I2CEx_ConfigAnalogFilter(&hI2C1, I2C_ANALOGFILTER_ENABLE);
```

FIGURE 4.6 : configuration de l'i2c

Nous avons choisi la pin PB9 la broche fournissant le signal d'horloge du bus i2c : I2C1 SDA et PB8 la broche fournissant le signal de données du bus i2c : I2C1 SCL

4.2.2 Configuration de capteur

Pour récupérer les données (axe x,y,z) mesurées par le capteur lis2dw12 dans la carte STM32L082KZ , nous devons configurer les registres selon la documentation du capteur Lis2dw12.(voir annexes).

4.2.3 Affichage des résultats

Afin de visualiser les données acquises par le capteur nous connectons notre carte au Pc. Comme le montre la figure 4.8 suivante, nous commençons par exposer l'affichage sur l'interface de débogage sur IAR qui contient les valeurs des Axes mesurées par le capteur Lis2dw12. la figure 4.7 présente le débogage.

Expression	Value	Location	Type
recieveTicks	0	0x2000'26fc	uint32
transmitTicks	0	0x2000'2700	uint32
stSYSTICK_Timer_Context.Work_Time	24'899	0x2000'26f4	uint32
uart_1	<struct>	0x2000'1c04	UART
stUART_Context.stUART_PxContext.u...	<array>" "	0x2000'1a6f	uint8
stUART_Context	<struct>	0x2000'19ec	stUA
Ax	7.111'713'41E+1	0x2000'26cc	float
Ay	7.265'608'22E+1	0x2000'26d0	float
Az	-3.291'850'89E+2	0x2000'26d4	float
test123	1	0x2000'2717	bool
<click to add>			

FIGURE 4.7 : Affichage des données lors du débogage

4.2.4 Implémentation de l'algorithme

L'algorithme de détection de vol repose sur l'analyse des données fournies par un accéléromètre, qui mesure les accélérations sur les trois axes (X, Y, Z). Il commence par lire les valeurs brutes de l'accéléromètre pour déterminer l'axe dominant, c'est-à-dire celui où l'accélération est la plus significative. Ensuite, il effectue une série de lectures sur une période définie et calcule la moyenne de ces lectures pour chaque axe. Ces valeurs moyennes sont ensuite multipliées par une constante de gravité pour convertir les lectures en unités physiques appropriées.

L'algorithme effectue une première vérification en comparant les valeurs d'accélération moyennes avec un seuil prédéfini. Si une des valeurs dépasse ce seuil, l'algorithme active une vérification secondaire, durant laquelle il surveille les variations des accélérations sur une période de temps plus longue pour confirmer l'activité suspecte. Si les changements d'accélération dépassent encore le seuil durant cette période, l'algorithme conclut qu'un mouvement anormal, potentiel indicateur de vol, a été détecté. Enfin, en cas de détection de vol confirmée, l'algorithme déclenche une alerte pour signaler l'incident. Cette approche, basée sur l'analyse des variations d'accélération, permet de distinguer les mouvements normaux des comportements potentiellement frauduleux avec une grande précision.

4.2.5 Transmission des données via lora

Dans cette partie, nous avons commencé par comprendre notre module LoRaWAN qui est le SX1276 après cela, nous avons trouvé un fichier source et un fichier d'en-tête pour notre module. Ensuite nous l'avons modifié pour obtenir ce nous avons besoin car le SX1276 a à la fois une communication FSK et une communication LoRA alors nous avons commencé programmer notre appareil principal

en utilisant l'algorithme d'avant, c'est-à-dire si un vol est se produisant, c'est là que notre fonction Sendalert commence à fonctionner. Dans notre alerte d'envoi, nous avons l'initialisation de notre module, qui va mettre le module sous tension, et le préparer à travail. Ensuite, nous configurons le module de transmission à l'aide de la fonction SetTxConfig , à l'intérieur nous définissons un tas de paramètres pour qu'il envoie à notre passerelle et qu'il envoie une alerte message à la passerelle à l'aide de la fonction SXSend . Pour notre passerelle, nous avons fait la même chose que plus tôt cette fois, nous avons défini le deuxième appareil comme récepteur à l'aide de la fonction SetRXConfig et pour le faire écouter, nous avons utilisé la fonction SetRX. Pour que l'appareil et la passerelle soient configurés, nous configurez ces paramètres :

- Fréquence RF= 868000000 Hz : C'est la fréquence de fonctionnement de la radio. Les deux appareils doivent être réglés sur la même fréquence pour pouvoir communiquer sur le même canal.
- Bande passante LoRa= 125 Hz : C'est la bande passante de la modulation LoRa. Il détermine la largeur du signal et affecte le débit et la portée des données.
- Facteur d'étalement LoRa = 7 : Ce paramètre détermine le facteur d'étalement utilisé dans le Modulation LoRa cela affecte la sensibilité et le débit de données de la communication.
- Taux de codage LoRa = 1 : affecte la capacité de correction d'erreurs du système.
- Longueur du préambule LoRa = 8 : il aide le récepteur à se synchroniser avec le signal entrant Pour tester cette partie de la communication, nous avons utilisé un UART (Universal Asynchronous Receiver-Protocole de communication émetteur).
- UART : définit un protocole, ou un ensemble de règles, pour l'échange de données série entre deux dispositifs. En utilisant un câble USB, nous avons connecté le récepteur au PC et en utilisant PUTTY, nous avons pu pour visualiser le message tel qu'il est reçu, ci-dessous dans la figure 4.8 nous avons le moniteur série fourni par MASTIC.

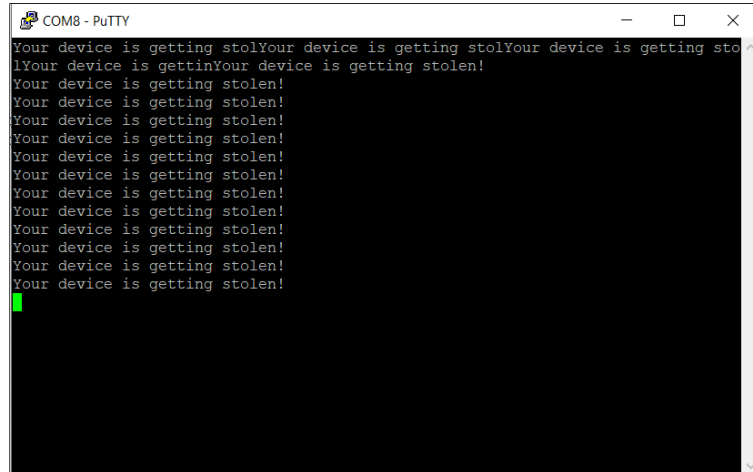


FIGURE 4.8 : Capture d'écran de la message d'alerte reçu par le Gateway

Nous avons ainsi testé notre communication LoRa si elle fonctionne réellement et envoyé un message complet. Ici nous avons dans la figure 4.9 une explication de la façon dont nous avons testé la communication.

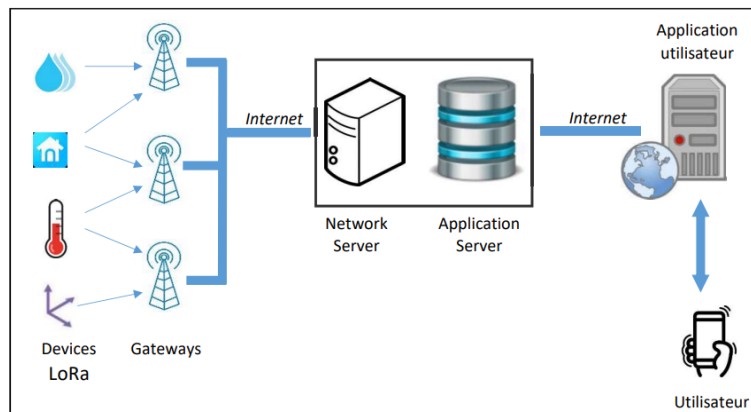


FIGURE 4.9 : Architecture Lora

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté tout ce dont nous avons besoin pour réaliser le projet notamment les environnements matériels et logiciels de développement et d'exécution, les Frameworks avec lesquels nous avons travaillé et les langages de programmation utilisés. Nous avons également présenté des imprime écrans des éléments développés.

Conclusion générale

Les objets connectés (IoT) jouent un rôle croissant dans notre vie quotidienne et industrielle, nécessitant des solutions de sécurité robustes pour garantir leur fonctionnement optimal. Ce projet de fin d'études s'est concentré sur le développement d'un dispositif antivol pour les appareils IoT extérieurs de Be Wireless Solutions (BWS). En intégrant des fonctionnalités de détection de mouvement, de communication sécurisée et de gestion énergétique optimisée, nous avons répondu à une problématique clé du domaine IoT.

Au cours de ce projet, nous avons suivi une méthodologie rigoureuse pour développer un dispositif basé sur un microcontrôleur STM32. L'analyse des besoins, la conception, le développement du micrologiciel et les tests de validation ont été réalisés avec soin. Le choix du microcontrôleur STM32L082KZ et de FreeRTOS comme système d'exploitation en temps réel a permis d'assurer des performances optimales et une gestion efficace des ressources.

Ce projet a permis d'atteindre plusieurs objectifs : développer un dispositif capable de détecter les mouvements non autorisés et d'envoyer des alertes en temps réel, intégrer des solutions techniques garantissant la sécurité et la fiabilité des communications, et optimiser la gestion de l'énergie pour prolonger la durée de vie des appareils en environnement extérieur. Cependant, certains défis ont été rencontrés, notamment en termes de robustesse des communications dans des environnements variés et de minimisation de la consommation énergétique sans compromettre la réactivité du dispositif.

Sur le plan personnel, ce projet m'a offert une expérience précieuse dans la résolution de problèmes techniques complexes et la prise de décisions éclairées. J'ai également acquis des compétences en travail d'équipe et en communication professionnelle grâce à la collaboration avec les membres de BWS. Les principales leçons tirées de cette expérience sont l'importance de la méthodologie et de la planification rigoureuse dans la réalisation de projets techniques, la nécessité d'une approche systématique pour identifier et surmonter les défis techniques, et la valeur de la collaboration et de l'échange d'idées dans le développement de solutions innovantes.

Enfin, ce projet ouvre des perspectives pour des améliorations futures, notamment en termes de robustesse des systèmes de communication et de gestion énergétique. La documentation complète

du projet, incluant le code source et les manuels d'utilisation, assure la pérennité du dispositif et facilite sa maintenance et son évolution ultérieure. En somme, ce projet de fin d'études a été une expérience gratifiante qui m'a permis d'approfondir mes compétences techniques et de me préparer au monde professionnel. Les connaissances et les compétences acquises seront précieuses dans ma future carrière, et je suis reconnaissant d'avoir eu l'opportunité de travailler sur ce projet.

Bibliographie

- [1] « Logo Be wireless. » (), adresse : <https://bewireless-solutions.com/>.
- [2] « STM32L082KZ. » (), adresse : <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32l082kz.html>.
- [3] « Lis2dw12. » (), adresse : <https://www.mouser.fr/datasheet/2/389/lis2dw12-1849760.pdf>.
- [4] « Sx1276. » (), adresse : <https://www.wattsense.com/fr-fr/blog/protocoles-de-communication/quest-ce-que-le-protocole-lorawan/>.
- [5] « I²c. » (), adresse : <https://cedric.cnam.fr/~puechm/ens/usrs26/cours7.pdf>.
- [6] « SPI. » (), adresse : <https://fr.slideshare.net/slideshow/spi-master-core-verification/21201175>.

Annexes

1. Calcul de l'accélération en g :

$$\text{Accélération (g)} = \frac{\text{Donnée brute}}{2^{n-1}} \text{Plage maximale (g)}$$

où n est le nombre de bits de résolution de l'accéléromètre.

2. Conversion en m/s^2 :

$$\text{Accélération (m/s}^2\text{)} = \text{Accélération (g)} \cdot 9.81$$

La figure 1 présente les ports de l'accéléromètre.

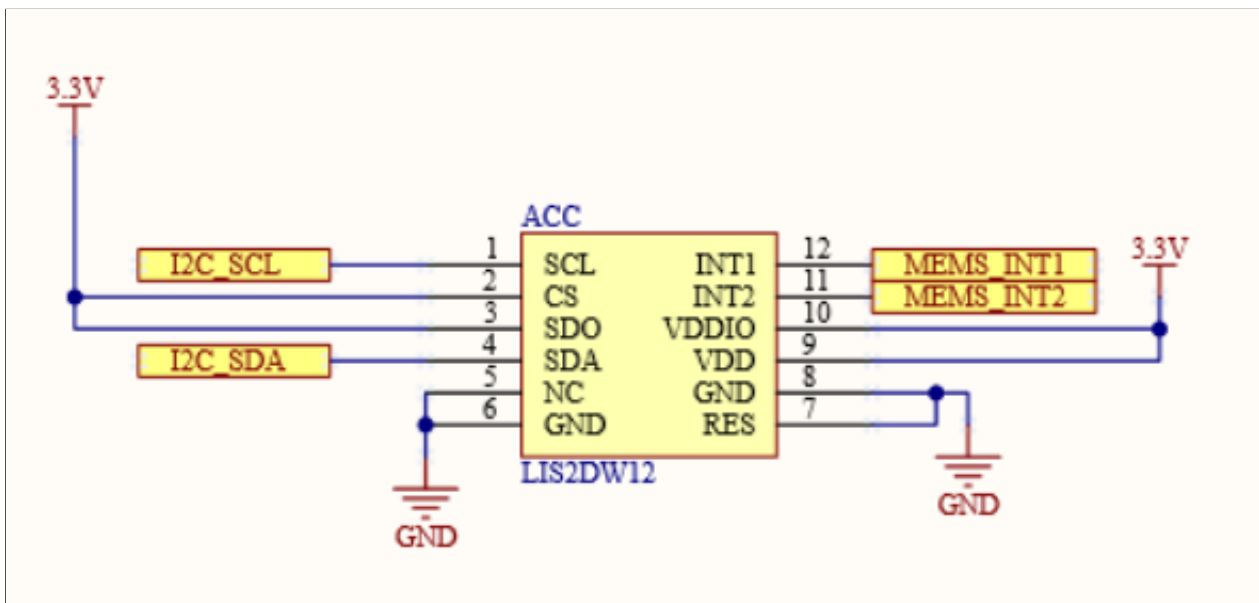


Figure annexe 1 : schema de l'accéléromètre

La figure 2 présente les pins connecte avec le microcontroleur.

La figure 3 présente le registre ctrl 1.



Figure annexe 2 : connexion i²c

ODR[3:0]	Sélection du débit de données de sortie et du mode (voir tableau 29. Configuration du débit de données)
MODE[1:0]	Sélection du mode (voir tableau 30. Sélection du mode)
LP_MODE[1:0]	Sélection du mode basse consommation (voir tableau 31. Sélection du mode basse consommation)

Figure annexe 3 : partie de registre de ctrl 1

La figure 3 présente une partie du registre ctrl1 pour définir le mode de consommation et la résolution.

MODE[1:0]	Mode et résolution
00	Mode basse consommation (résolution 12/14 bits)
01	Mode haute performance (résolution de 14 bits)
10	Mode de conversion de données unique à la demande (résolution 12/14 bits)
11	-

Figure annexe 4 : registre de ctrl 1

La figure 5 présente une partie du registre du registre ctrl 6 pour définir la sensibilité du capteur.

La figure 7 présente le schéma détaillé de l'accéléromètre.

La figure 8 présente le schéma détaillé de la carte CMWX1ZZABZ-078.

FS[1:0]	Sélection pleine échelle
00	$\pm 2 g$
01	$\pm 4 g$
10	$\pm 8 g$
11	$\pm 16 g$

Figure annexe 5 : partie de registre de ctrl 6

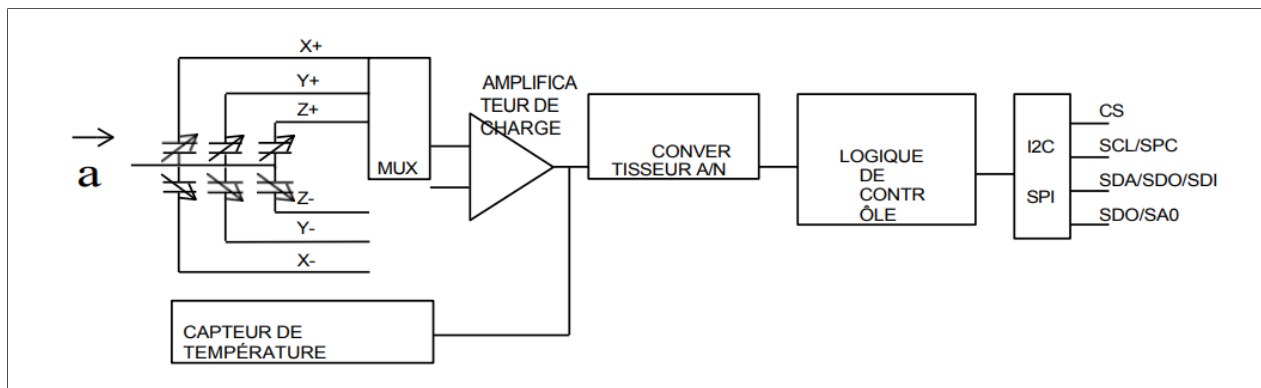


Figure annexe 7 : schéma détaillé de l'accéléromètre

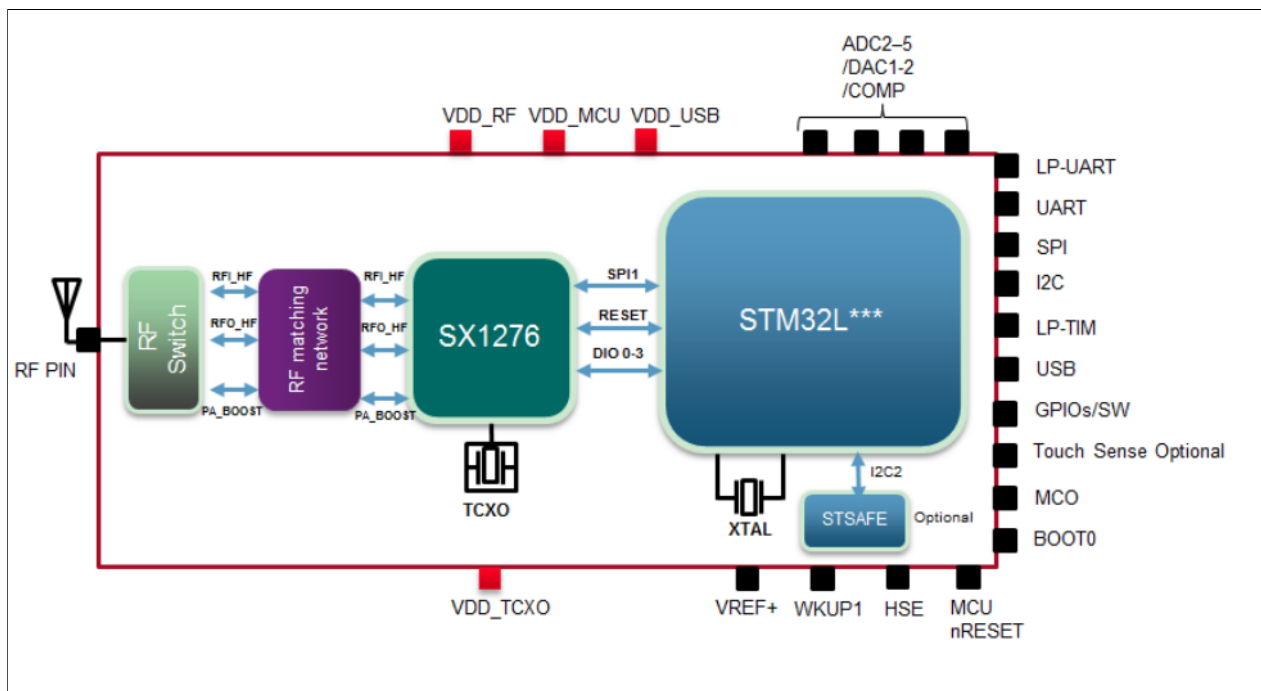


Figure annexe 7 : schéma de la carte CMWX1ZZABZ-078

هذه الوثيقة هي تقرير عن مشروع تخرج تم تنفيذه خلال فترة من ٥ فبراير إلى ٥ يونيو ٢٠٢٤. يقدم هذا التقرير مشروع تصميم وتطوير جهاز مبتكر لمكافحة السرقة للأجهزة المتصلة في شركة بي وايرلس سوليوشنز (طض). تم تنفيذ المشروع بهدف تلبية الاحتياجات المتزايدة في مجال أمان الأجهزة المتصلة وتطوير حل فعال وموثوق. من خلال هذا التقرير، سنصف مراحل المشروع المختلفة، بدءاً من تحديد الاحتياجات وصولاً إلى التحقق من صحة النظام، مع التركيز على التقنيات المستخدمة واختيارات التصميم والنتائج المحققة.

كلمات مفاتيح : جهاز مكافحة السرقة - الأجهزة المتصلة - وحدة تحكم صغيرة - لونغ رينج - اتصال عن بُعد بنطاق طويل - الأمان

Résumé

Ce document est un rapport de stage de projet de fin d'étude qui s'est déroulé du 5 Février au 5 Juin 2024. Il présente le projet de conception et développement d'un dispositif antivol innovant pour les objets connectés de l'entreprise Be Wireless Solutions (BWS). Le projet a été réalisé dans le but de répondre aux besoins croissants en matière de sécurité des objets connectés et de développer une solution efficace et fiable. À travers ce rapport, nous décrirons les différentes étapes du projet, de la spécification des besoins à la validation du système, en mettant l'accent sur les technologies utilisées, les choix de conception et les résultats obtenus.

Mots clés : Dispositif antivol - Objets connectés - Microcontrôleur - LoRa - Sécurité

Abstract

The project involves the design and development of an innovative anti-theft device for the connected objects of Be Wireless Solutions (BWS) company. The device is based on an STM32 microcontroller and utilizes LoRa technology to provide long-range connectivity with reduced power consumption. It can detect unauthorized movements and send real-time alerts. The project encompasses various phases, from requirement specification to system validation. The aim is to provide a secure and reliable device to meet the surveillance and traceability needs in various industrial applications.

Keywords : Anti-theft device - Connected devices - Microcontroller - LoRa (Long Range) - Security