

Titre: Suivi et localisation des marchandises en temps réel à partir des camions de transport sur longue distance
Title: camions de transport sur longue distance

Auteur: Zoran Malidzan
Author:

Date: 2018

Type: Mémoire ou thèse / Dissertation or Thesis

Référence: Malidzan, Z. (2018). Suivi et localisation des marchandises en temps réel à partir des camions de transport sur longue distance [Mémoire de maîtrise, École Polytechnique de Montréal]. PolyPublie. <https://publications.polymtl.ca/3125/>
Citation:

Document en libre accès dans PolyPublie

Open Access document in PolyPublie

URL de PolyPublie: <https://publications.polymtl.ca/3125/>
PolyPublie URL:

Directeurs de recherche: Chahe Nerguizian, & Tarek Djerafi
Advisors:

Programme: génie électrique
Program:

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

SUIVI ET LOCALISATION DES MARCHANDISES EN TEMPS RÉEL À PARTIR DES
CAMIONS DE TRANSPORT SUR LONGUE DISTANCE

ZORAN MALIDZAN

DÉPARTEMENT DE GÉNIE ÉLECTRIQUE

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

MÉMOIRE PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION
DU DIPLÔME DE MAÎTRISE ÈS SCIENCES APPLIQUÉES
(GÉNIE ÉLECTRIQUE)

AVRIL 2018

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Ce mémoire intitulé:

SUIVI ET LOCALISATION DES MARCHANDISES EN TEMPS RÉEL À PARTIR DES
CAMIONS DE TRANSPORT SUR LONGUE DISTANCE

Présenté par : MALIDZAN Zoran

en vue de l'obtention du diplôme de : Maîtrise ès sciences appliquées

a été dûment accepté par le jury d'examen constitué de :

M. AKYEL Cevdet, Ph. D., président

M. NERGUIZIAN Chahé, Ph. D., membre et directeur de recherche

M. DJERAIFI Tarek, Ph. D., membre et codirecteur de recherche

M. CARDINAL Christian, Ph. D., membre

REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à mon directeur de recherche M. Chahé Nerguizman et mon codirecteur de recherche M. Tarek Djerafi. Je les remercie de m'avoir encadré, orienté, aidé et conseillé.

De plus, je remercie les autres membres du jury pour avoir accepté d'évaluer et pour l'intérêt qu'ils ont bien voulu porter à ce travail : M. Cevdet Akyel et M. Christian Cardinal. Qu'ils trouvent ici l'expression de ma haute gratitude.

Enfin, je tiens aussi à remercier ma famille qui m'a soutenu et encouragé tout au long de ma démarche.

RÉSUMÉ

La méthode actuelle de suivi et localisation des marchandises durant le transport par camion comporte certaines lacunes telles que la perte de marchandises et un retard imprévisible sur le délai de livraison. Dans cette recherche provenant d'un besoin industriel, un système permettant de localiser en temps réel différentes marchandises appartenant à différents clients à partir des camions de transport sur longue distance est proposé. Elle a été divisée en trois principales parties pour une investigation en parallèle : développement d'un principe de détection de la présence des marchandises à l'intérieur du camion par un dispositif, développement d'un principe de transfert de données entre ce dispositif de localisation cellulaire et l'extérieur du camion et application d'un algorithme de localisation pour le suivi des marchandises en temps réel. Pour la détection de la présence des marchandises à l'intérieur du camion, davantage de dispositifs cellulaires de localisation, des transmetteurs et récepteurs (modulation par déplacement d'amplitude) ASK de 433 MHZ ou la technologie RFID peuvent être utilisés. Des transmetteurs sans-fil peuvent être installés sur chacune des marchandises et transmettre l'information de présence au dispositif de localisation. Pour le transfert de données entre le dispositif cellulaire étudié et l'extérieur, les technologies LTE, GSM, HSPA et UMTS sont utilisées. Un circuit d'amplification de signal a été développé pour la sensibilité de réception et compenser l'atténuation du signal causée par la remorque qui agit comme une cage de Faraday. Pour la localisation du dispositif, le principe de triangulation et le principe de détection de l'identification des cellules sont utilisés. Les résultats actuels montrent qu'on peut atteindre l'objectif de fabrication d'un prototype et que le système peut localiser chacune des palettes la plupart du temps avec une précision inférieure à 1km par les méthodes de l'identification de la cellule et de la triangulation de tours cellulaire. La moyenne sur les distances entre le dispositif et les méthodes de localisation obtenues par le calcul est d'environ 560m dans un environnement urbain.

ABSTRACT

The current method for tracking and positioning of goods during truck transportation has some gaps such as loss of goods and an unpredictable delay in delivery time. In this research coming from an industrial need, a method for real-time tracking and localization of different goods in long-distance transportation trucks, which belong to different customers is proposed. It was divided in three parts to be investigated in parallel; development of a method for detection of the presence of goods inside trucks, development of a method for data transfer between the localization device and the outside of the truck and development of a localization algorithm for tracking of goods in real time. For the detection of the presence of the goods inside the truck, more cellular localization devices can be used or one or more in combination with 433 MHz (amplitude-shift keying) ASK transceivers and receivers or (radio frequency identification) RFID technology. Wireless transceivers could be found on each good and they would send their presence data to the localization device. For data transfer between the studied localization device and the outside of the truck; LTE, GSM, HSPA and UMTS technologies are used. A signal amplification circuit was developed to improve the sensibility of the device and compensate the attenuation caused by the signal loss caused by the passage through the truck's metallic trailer acting as a closed box or as a Faraday cage. For the localization of the device, the method of cell localization, the triangulation and the GPS technology are studied. The actual results show that we can achieve the purpose of building a device prototype and that most of the time, we are able to localize each good with precision lower than 1km for cell identification and triangulation. The average distance between the device and the location methods obtained by measures is about 560m in an urban area.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	III
RÉSUMÉ.....	IV
ABSTRACT	V
TABLE DES MATIÈRES	VI
LISTE DES TABLEAUX.....	IX
LISTE DES FIGURES.....	X
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS	XIII
LISTE DES ANNEXES.....	XV
CHAPITRE 1 INTRODUCTION.....	1
1.1 Développement du système de localisation	3
1.1.1 Premier modèle (un transmetteur sans-fil sur chacune des marchandises ou des palettes)	4
1.1.2 Deuxième modèle (un dispositif de localisation par client).....	5
1.2 Structure du mémoire	5
CHAPITRE 2 CHOIX ET CONCEPTION D'UN MODULE ÉLECTRONIQUE POUR LA COMMUNICATION CELLULAIRE	6
2.1 Choix du dispositif pour l'étude	6
2.1.1 Fréquences de communication entre le modem et la station de base	8
2.2 Algorithme de localisation pour le suivi des marchandises en temps réel	9
2.2.1 Localisation par l'identification de la cellule	10
2.2.2 Localisation à l'aide de la triangulation (cellules voisines)	18
2.2.3 Localisation GPS.....	21
2.3 Étude pour la conception d'un prototype de faible coût	22
2.4 Obtenir et envoyer la localisation sous forme de données	23

2.5	Senseurs utiles	24
2.6	Résumé du chapitre et méthodologie pour les tests	27
CHAPITRE 3 TECHNOLOGIE DE LOCALISATION DES MARCHANDISES POUR L'INTÉRIEUR DU CAMION		28
3.1	Technologie RFID.....	28
3.1.1	Choix de la fréquence pour la technologie RFID.....	30
3.1.2	Partage de l'information à l'intérieur du camion	31
3.1.3	Lecture et propagation près des matériaux.....	33
3.1.4	Antennes utilisées pour la méthode avec la technologie RFID et mesures.....	33
3.2	Technologie transmetteur/récepteur ASK	36
3.3	Modules nRF24L01	42
3.4	Résumé du chapitre et méthodologie pour les tests	44
CHAPITRE 4 BILAN DE LIAISON POUR FIN DE LOCALISATION.....		45
4.1	Phénomènes qui affectent la transmission et la réception de signal	45
4.2	Propagation et calculs de puissance	47
4.2.1	Modèle de Hata	47
4.2.2	Modèle du COST 231	48
4.3	Caractéristique des stations de base	49
4.4	Comparaison de la fréquence sur la bande 4 avec celle sur la bande 17.....	49
4.4.1	Comparaison de l'atténuation sur les 2 bandes	49
4.4.2	Bilan linéaire de la station de base au dispositif cellulaire	49
4.4.3	Bilan linéaire du dispositif de localisation cellulaire à la station de base	50
4.4.4	Comparaison de signal lors du passage à travers les fentes de la remorque	51
4.5	Circuit d'amélioration de la sensibilité du dispositif	52
4.5.1	Circuit d'amplification en mode 'réception de signal'	53

4.5.2	Circuit d'amplification en mode 'transmission de signal'	54
4.5.3	Circuit de contrôle des sorties pour les commutateurs RF	55
4.5.4	Protocole pour l'amplification	55
4.5.5	Conception des commutateurs RF.....	57
4.6	Comparaison avec le signal GPS	61
4.7	Résumé du chapitre et méthodologie pour les tests	62
CHAPITRE 5 RÉSULTATS DES TESTS EXPÉRIMENTAUX		63
5.1	Résultat de la première partie de tests dans le camion.....	63
5.1.1	Discussion et décision prise suite aux premiers résultats dans le camion.....	65
5.2	Résultats de la deuxième partie de tests dans le camion	66
5.2.1	Tests de la puissance du signal de l'antenne lorsque le camion était statique	66
5.2.2	Tests et résultats lorsque le camion était en mouvement	68
5.2.3	Précision de localisation.....	69
5.2.4	Test et résultat avec un senseur de température connecté au modem	71
5.2.5	Technologie transmetteur/récepteur ASK avec le modem.....	71
5.3	Résultats et mesures pour la technologie RFID	72
5.3.2	Conclusion sur la technologie RFID	75
CHAPITRE 6 CONCLUSION		76
6.1	Recommandations pour le futur travail	77
BIBLIOGRAPHIE		78
ANNEXES.....		81

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1: Antennes utilisées pour le test avec la carte de développement.....	7
Tableau 2.2: Évaluation de la puissance du signal de l'antenne (en réception).....	13
Tableau 2.3: Latitude et longitude en fonction des identifiants LAC et CELL	20
Tableau 3.1: Propriétés des fréquences RFID (système passif)	30
Tableau 4.1: Tensions de contrôle de l'entrée en fonction de l'état du chemin du signal	57
Tableau 4.2: Liste du matériel utilisé pour la conception du commutateur	57
Tableau 5.1: Éloignement entre endroit de mesures et résultats du modem pour les 2 méthodes .	70
Tableau 5.5.2: Liste du matériel utilisé pour l'amplification.....	73

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1: Exemple de transfert des marchandises durant le transport par des camions de transport sur longue-distance	2
Figure 1.2: Système avec plusieurs transmetteurs et un dispositif de localisation	4
Figure 1.3: Système avec un dispositif de localisation associé à chacune des palettes	5
Figure 2.1: Dispositif de suivi de bagages Lug Loc.....	6
Figure 2.2: Dispositif de suivi de bagages Trakdot.....	6
Figure 2.3: Système de suivi PT30.....	6
Figure 2.4: (<i>Asset Tracker</i>) Dispositif de suivi des marchandises de NimbeLink	6
Figure 2.5: Kit de développement et modem de NimbeLink	7
Figure 2.6: Disposition du modem avec la carte de développement.....	12
Figure 2.7: Obtention des identifiants LAC et CELL avec le logiciel Tera Term	14
Figure 2.8: Détermination de la localisation de la station détectée par le dispositif sur OpenCellID	15
Figure 2.9: Agrandissement de la région sur un plan plus grand	16
Figure 2.10: Couverture de la région LAC = 25066	16
Figure 2.11: Disposition: Modem, carte de développement, l'Arduino et l'alimentation	17
Figure 2.12: Détermination de la bande à partir de EARFCN	19
Figure 2.13: Localisation à partir de Google Maps.....	21
Figure 2.14: Fichier "cell_towers.csv"	23
Figure 2.15: Capteur de température et d'humidité DHT11	25
Figure 2.16: Connexion : Modem, NL-SWDK, Arduino et DHT11 ensemble	25
Figure 2.17: Capteur de détection de mouvement PIR	26
Figure 2.18: Accéléromètre ADX335 pour Arduino	27
Figure 2.19: Photorésistance	27

Figure 3.1: Composantes de base d'un système RFID	28
Figure 3.2: Kit de développement M5E-C	29
Figure 3.3: Diagramme pour un dispositif de localisation final a) avec 4 antennes RFID b) avec une antenne RFID et un servomoteur.....	29
Figure 3.4: Communication entre le lecteur et l'étiquette dans un système mono-statique passif	31
Figure 3.5: Antenne fendue CPW a) initiale (HFSS) b) réduite et fabriquée	34
Figure 3.6: a) Bande passante de l'antenne	35
Figure 3.7: Rapport d'ondes stationnaires (ROS)	35
Figure 3.8: Diagramme de rayonnement pour l'antenne.....	36
Figure 3.9: Transmetteur et récepteur ASK de 433MHz.....	36
Figure 3.10: Diagramme simplifié de la détection de la présence des marchandises combinée avec la technologie cellulaire	37
Figure 3.11: Diagramme de connexion de l'Arduino avec le module transmetteur de 433 MHz pour la transmission de signal vers le dispositif de localisation	38
Figure 3.12: Diagramme de connexion de l'Arduino avec le module récepteur de 433 MHz	39
Figure 3.13: Simulation des chemins de propagation pour les modules transmetteur/récepteur ASK avec des murs métalliques (canettes de Pepsi) d'une hauteur de 1.2 m	40
Figure 3.14: Plan de plancher pour représenter les murs métalliques.....	40
Figure 3.15: Simulation des chemins de propagation pour les modules transmetteur/récepteur ASK avec des murs métalliques d'une hauteur de 1.2 m	41
Figure 3.16: Simulation des chemins de propagation pour les modules transmetteur/récepteur ASK avec des murs métalliques d'une hauteur de 1.5 m	42
Figure 3.17: Module nRF24L01 a) version avec l'antenne externe b) version avec une antenne intégrée sur la carte	43
Figure 3.18: Simulation des chemins de propagation avec des modules nRF24L01 et des murs métalliques d'une hauteur de 1.5 m à l'intérieur du camion	43

Figure 4.1: Diagramme basique du circuit en mode réception	53
Figure 4.2: Diagramme du circuit en mode réception.....	53
Figure 4.3: Diagramme basique du circuit en mode d'émission.....	54
Figure 4.4: Diagramme du circuit en mode d'émission	54
Figure 4.5: Circuit utilisé pour le contrôle des broches A et B (de la Figure 4.4) de chacun des commutateurs avec les puces 74HCT04	55
Figure 4.6: Diagramme de la boucle 'loop' du code Arduino utilisé pour le test de localisation..	56
Figure 4.7: Circuit pour le commutateur : a) diagramme ADS b) circuit imprimé.....	57
Figure 4.8: Circuit d'amplification	58
Figure 4.9: Coefficient de transmission S_{12} mesurée sur l'analyseur de réseau	59
Figure 4.10: Perte d'insertion (<i>Insertion loss</i>) théorique	59
Figure 4.11: Coefficient de réflexion S_{11} mesurée à l'aide de l'analyseur de réseau.....	60
Figure 4.12: Perte de retour (<i>Return loss</i>) en fonction de la fréquence théorique	60
Figure 5.1: Schéma basique du premier test dans le camion	64
Figure 5.2: Mesure du signal à côté de la remorque en mode statique	66
Figure 5.3: Mesure du signal à l'intérieur de la remorque en mode statique.....	67
Figure 5.4: Transmission de l'information lorsque le camion est en mouvement	68
Figure 5.5: Position du dispositif durant le test en mouvement avec le camion réfrigéré	68
Figure 5.6: Schéma basique d'un système permettant d'envoyer plusieurs informations en même temps	72
Figure 5.7: Spectre de puissance capté par l'antenne de gain 2 dB à une distance de 12m du lecteur (900 MHz– 930 MHz).....	73
Figure 5.8: Diagramme pour l'installation des amplificateurs avec le lecteur.....	74

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

1G, 2G, 3G, 4G : Première, deuxième, troisième et quatrième génération

dBi	décibel-isotopique
dBm	décibel-milliwatt
ADS	logiciel ‘Advanced design system’
ALÉNA	Accord du libre-échange nord-américain
ASK	‘Amplitude shift keying’ - Modulation par déplacement d’amplitude (MDA)
AWS	‘Advanced wireless service’ – Service avancé sans-fil
BS	‘Base station’ - Station de base
CPW	‘Coplanar waveguide’ – Guide d’ondes coplanaire
eNB	‘Evolved Node B’ – Enode B
E-UTRA	‘Evolved Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) Terrestrial Radio Acces
CELL	Identifiant de la cellule qui permet la localisation ensemble avec LAC
FCC	‘Federal Communication Comission’ - Commission fédérale des communications
GERAN	‘GSM Edge Radio Access Network’ – Réseau d'accès radio GSM
GFSK	Modulation par déplacement de fréquence
GPS	Global Positioning System – Système mondial de positionnement
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	‘Global System for Mobile Communications’ = seconde génération du réseau cellulaire
HF	Haute fréquence
HFSS	logiciel ‘High frequency Electromagnetic Field Simulation’
HSPA	‘High Speed Packet Access plus’
LAC	Code de la région qui permet d’identifier la localisation de la cellule avec CELL

LF	‘Low frequency’ – Faible fréquence
LOS	‘Line of sight’ – Trajet direct entre l’émetteur et le récepteur
LNA	‘Low noise amplifier’ – Amplificateur faible bruit
LTE	‘Long Term Evolution’ – Évolution longue terme
MCC	‘Mobile Country Code’ – Code mobile de pays
MNC	‘Mobile Network Code’ – Code réseau mobile
MS	‘Mobile Station’ – Station mobile
MEMS	‘Microelectromechanical systems’-Systèmes micro-électromécaniques
PSC	‘Physical cell identity’ – Identité de cellule physique
RF	‘Radio frequency’ – Fréquence radio
RFID	‘Radio-frequency identification’ – Radio-identification
RSRP	‘Reference Signals Received Power’ - Puissance reçue des signaux de référence
RX	Récepteur
SMS	‘Short Message Service’ – service de messagerie SMS
TX	Émetteur
UE	‘User equipment’ – Équipement ou terminal d’usager ou d’utilisateur
UHF	‘Ultra high frequency’ – Ultra haute fréquence
UMTS	‘Universal Mobile Telecommunications System’
UTRAN	‘Universal Terrestrial Radio Access Network’
VHF	Very high frequency – Très haute fréquence
ROS	Rapport d’ondes stationnaires

LISTE DES ANNEXES

Annexe A – Localisation selon les mesures obtenues pour le test du camion en mouvement81

Annexe B – Mesures de précision sur les méthodes de localisation82

CHAPITRE 1 INTRODUCTION

Depuis l'adoption de l'accord de libre-échange nord-américain (ALÉNA) en 1994, le transport de marchandises sur longue distance a augmenté considérablement. Cependant, il y a encore des lacunes dans la branche de transport par camions telles que la perte de marchandises, un retard sur le délai de livraison imprévisible et une difficulté pour le client et le fournisseur de savoir où elles se trouvent pendant le transport. Cela est dû principalement à cause de la présence de nombreux participants dans la boucle de transport et parce qu'il y a différents types de propriétaires de marchandises et adresses de livraison.

Les fournisseurs qui possèdent leurs propres chauffeurs contrôlent majoritairement les marchandises en installant un dispositif de localisation sur le toit pour le suivi et la localisation. Pour ces fournisseurs, il y a une localisation pour le camion. Par contre, ils ne peuvent pas savoir si toutes les marchandises sont à l'intérieur durant tout le trajet. Cependant, cette recherche est surtout orientée vers le développement d'un système de localisation pour les fournisseurs qui ne possèdent pas leurs propres chauffeurs et camions de livraison et qui sont intéressés de localiser des marchandises qui sont dans le camion et non seulement le camion. Dans ce cas, il faut installer des dispositifs de localisation à l'intérieur de la remorque du camion sur les marchandises. Pour les clients, avec le moyen actuel, il n'est pas possible de savoir où se trouvent leurs marchandises durant la livraison et pour les fournisseurs, le moyen utilisé est d'appeler le chauffeur pour connaître la localisation. Cependant, il n'est pas pratique pour le chauffeur de répondre ou vérifier lorsqu'il conduit ou pour le fournisseur de faire plusieurs appels au chauffeur pour obtenir une localisation des marchandises.

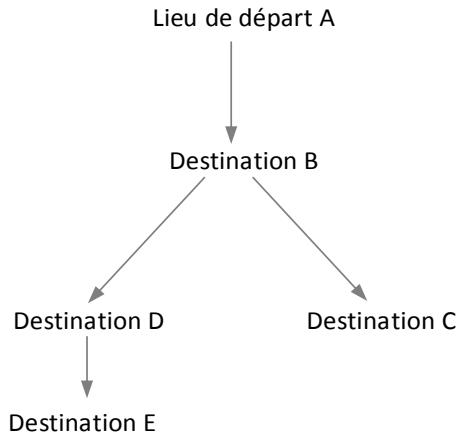


Figure 1.1: Exemple de transfert des marchandises durant le transport par des camions de transport sur longue-distance

La Figure 1.1 représente un exemple de transfert de marchandises à partir d'un camion de transport sur longue distance. En tenant compte des cas ci-dessous, le client devrait être en mesure de localiser ses marchandises:

- Par exemple, à la destination B, certaines marchandises peuvent être transférées dans un autre camion. Même après ce transfert, chacun des clients devrait être en mesure de localiser les leurs.
- Avec la méthode actuelle, l'industrie n'est pas capable de détecter les vols de marchandise sans le chauffeur. Elle aimeraient être au courant lorsque cela se produit et pouvoir vérifier à distance, la présence des marchandises dans le camion.
- S'il y a un retard sur la livraison prévue, le client pourrait être informé pour éviter de se déplacer en avance sur le lieu de la livraison.

Les avancements scientifiques et technologiques permettent de rendre les dispositifs plus compacts et plus efficaces en termes d'énergie et de fonctionnalités. L'objectif de cette recherche est d'implémenter la possibilité de créer un dispositif pouvant localiser et suivre en temps réel différentes marchandises appartenant à différents clients avec une précision de localisation acceptable à partir des camions de transport longue distance. Ces camions peuvent emprunter différents chemins à chaque trajet et les marchandises peuvent échanger de camions durant la livraison.

1.1 Développement du système de localisation

Le développement du système de localisation a été séparé en 3 parties à étudier en parallèle : Premièrement A) communication entre le dispositif de localisation et l'extérieur du camion. Deuxièmement, B) application d'un algorithme de localisation pour le suivi des marchandises en temps réel. Troisièmement C) collecte de l'information de la présence des marchandises à l'aide de modules transmetteurs et récepteurs à l'intérieur du camion.

Dans l'industrie concernée, deux types de camions sont utilisés, fourgon sec (*dry freight van*) et camion réfrigéré (*refrigerated freight van*). La majorité du temps, l'industrie utilise le fourgon sec pour la livraison. Le fourgon sec permet une meilleure propagation pour les signaux vers l'extérieur que le camion réfrigéré. Cela est dû parce que le camion réfrigéré comporte le toit, le plancher et les murs en aluminium, tandis que le fourgon sec comporte un plancher métallique avec certaines parties en bois et certaines fois un toit en plastique. Puisque l'aluminium ne laisse pas passer les signaux et les réfléchit, le camion réfrigéré est plus isolé et fermé en termes de rayonnement électromagnétique. Les deux types de camions mesurent environ 16 m de longueur et se déplacent à une certaine vitesse. Une étude sera faite pour déterminer s'il est possible de communiquer avec l'extérieur du camion et s'il faudrait amplifier les signaux car le comportement de la remorque du camion sur les signaux peut être vu de manière semblable à celui d'une cage de Faraday.

Pour l'intérieur de la remorque du camion, deux pistes sont étudiées; la première consiste à l'utilisation de la technologie d'identification par radiofréquence (RFID) et la deuxième consiste à l'utilisation de modules transmetteurs qui seraient installées sur chaque marchandise ou palette.

De plus, deux modèles de communication "marchandise–équipement terminal" sont étudiés dans cette recherche ; un premier modèle comprenant un transmetteur sans-fil sur chacune des palettes et un dispositif de localisation qui permet de gérer les informations qui proviennent d'eux et un deuxième modèle comprenant un dispositif de localisation sur chacune des palettes.

1.1.1 Premier modèle (un transmetteur sans-fil sur chacune des marchandises ou des palettes)

Dans le premier modèle, un transmetteur se trouve accroché sur chacune des marchandises tel que montré sur la Figure 1.2. Durant le trajet, le dispositif de localisation reçoit l'information des transmetteurs sans-fil et la transmet à une station de base pour permettre aux propriétaires de savoir si leurs marchandises sont dans le camion et leurs coordonnées. Chaque marchandise contient un module qui permet de communiquer sa présence à un dispositif de localisation cellulaire durant le transport. L'avantage de ces modules est de savoir que lorsqu'une partie des marchandises est transférée dans un autre camion, le client sait si chacune d'entre elles est transférée. Les transmetteurs qui sont collés sur les palettes envoient l'information à un ou à quelques dispositifs de localisation selon le nombre de clients. Ces dispositifs transmettent ensuite l'information aux stations de base compatibles. Ces stations retransmettent cette information dans un réseau cellulaire pour informer le client. La fréquence pour la communication à l'intérieur (Fréquence module) est différente des fréquences de communication utilisées pour l'extérieur du camion (Fréquences cellulaires). Les ‘Fréquences cellulaires’ de la figure représentent plusieurs fréquences car les technologies cellulaires utilisent très souvent plus qu'une bande de fréquence. Un codage devrait donc être implémenté pour ces types de communication; à l'intérieur et avec l'extérieur du camion pour permettre la différenciation des palettes. Actuellement, il n'existe pas un système qui fait ce travail sur le marché au meilleur de la connaissance.

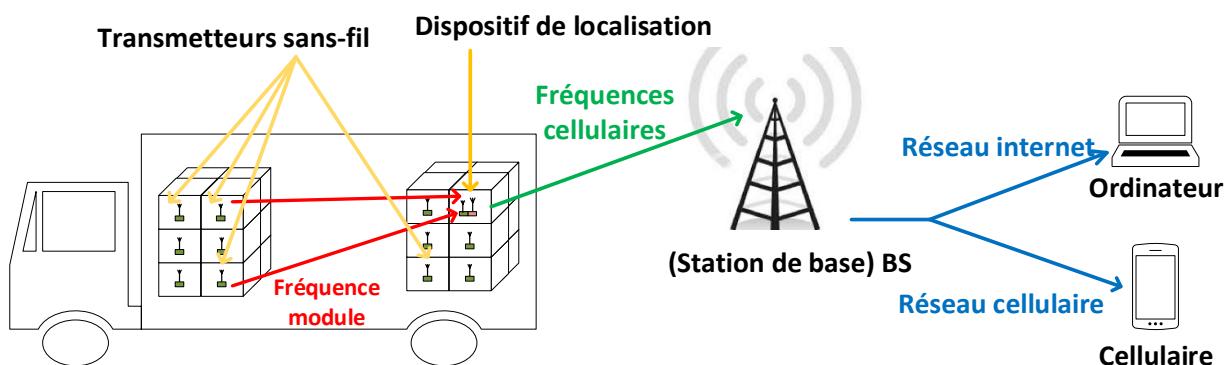


Figure 1.2: Système avec plusieurs transmetteurs et un dispositif de localisation

1.1.2 Deuxième modèle (un dispositif de localisation par client)

Contrairement au premier modèle, dans celui-ci (Figure 1.3), il y a un dispositif de localisation accroché sur chacune des palettes et il transmet l'information directement à la station sans passer par un autre module. Donc, il n'y a pas de communication entre les modules qui se trouvent à l'intérieur du camion. Ce modèle serait suffisant pour l'industrie puisque le dispositif de localisation est plus prioritaire qu'un système avec des transmetteurs. Il existe quelques modèles similaires sur le marché tel que Trakdot, LugLoc et PT300.

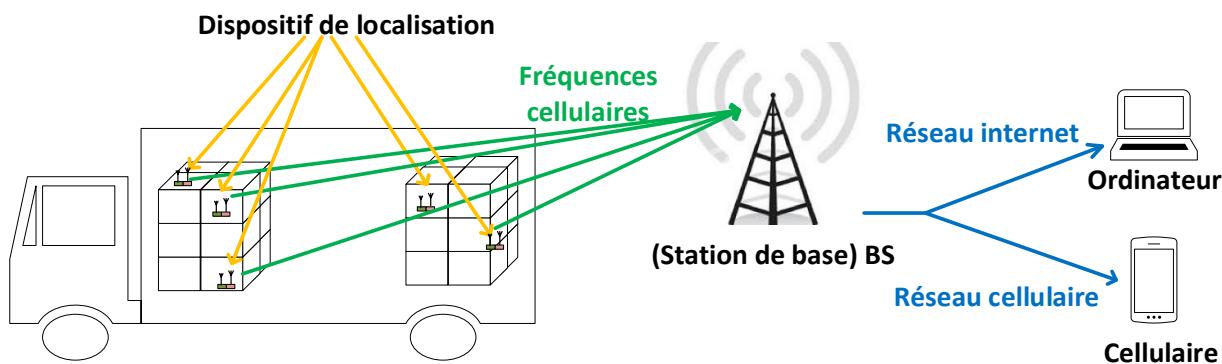


Figure 1.3: Système avec un dispositif de localisation associé à chacune des palettes

1.2 Structure du mémoire

Ce mémoire est organisé tel qui suit : Le chapitre 2 présente les technologies utilisées actuellement pour la localisation et le choix d'un module électronique pour la communication cellulaire. Le chapitre 3 fournit une description des technologies qui pourraient être utiles pour la détection de la présence des palettes dans le camion. Le chapitre 4 explique le bilan de liaison pour fin de localisation. Le chapitre 5 présente les résultats expérimentaux des technologies présentées. Le chapitre 6 est la conclusion de ce mémoire et il présente un résumé et les recommandations pour un futur travail.

CHAPITRE 2 CHOIX ET CONCEPTION D'UN MODULE ÉLECTRONIQUE POUR LA COMMUNICATION CELLULAIRE

Pour suivre et localiser des marchandises, il faut ajouter un module électronique au dispositif qui détecte la présence des marchandises à l'intérieur du camion. Ce module permet de faire sortir le signal à l'extérieur du camion et de le transférer à une station de base.

2.1 Choix du dispositif pour l'étude



Figure 2.1: Dispositif de suivi de bagages

Lug Loc



Figure 2.3: Système de suivi PT300



Figure 2.2: Dispositif de suivi de bagages

Trakdot



Figure 2.4: (*Asset Tracker*) Dispositif de suivi des marchandises de NimbeLink

Sur les Figures 2.1 à 2.4 se trouvent quelques exemples de dispositifs de suivi utilisées actuellement par les industries; Trakdot, Lug Loc, PT300 et dispositif de suivi de NimbeLink. Le dispositif Trakdot et Lug Loc utilisent les bandes GSM et GPRS pour la localisation. PT300 utilise la technologie GPS et CDMA1XRTT. Le dispositif de suivi de NimbeLink utilise la technologie LTE, GPS, GNSS, GLONAS et BeiDou. La technologie GPS fonctionne seulement en réception

et elle ne peut pas être utilisée pour envoyer des informations sans-fil. Pour envoyer, il faut l'utiliser en combinaison avec une autre technologie telle que la technologie cellulaire.

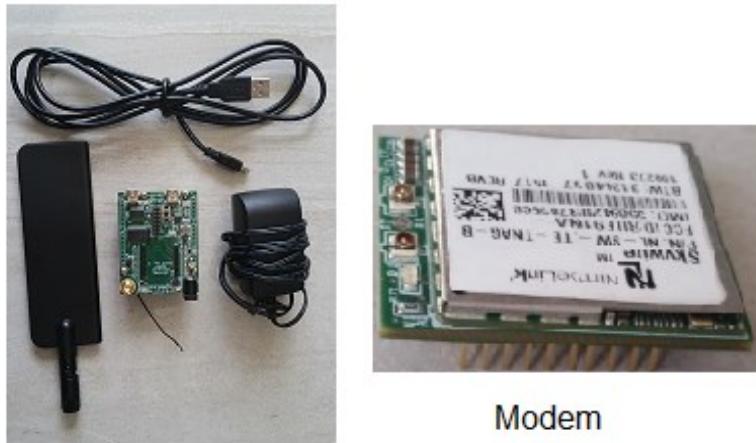


Figure 2.5: Kit de développement sans les cartes SIM et modem de NimbeLink

Le kit de développement NimbeLink montré sur la Figure 2.5 est programmable par les utilisateurs et plus facile à décoder. Il peut être connecté un Arduino Leonardo et programmé avec le langage Arduino et les commandes AT. De plus, puisqu'il est possible de le connecter à un microcontrôleur ou un avec Arduino, certains senseurs et modules peuvent être programmés par les utilisateurs et utilisés en combinaison, ce qui n'est pas le cas avec les dispositifs des Figures 2.1 à 2.4. Le kit comprend une carte de développement (NL-SWDK), une carte SIM, un câble USB et une antenne. Cette antenne peut être utilisée comme une antenne cellulaire primaire, diversité et GPS. Pour rendre l'installation plus compacte, elle peut être remplacée par une antenne flexible, compacte et légère. Cette antenne est l'antenne cellulaire LTE embarquée d'Ethertronics.

Tableau 2.1: Antennes utilisées pour le test avec la carte de développement

Ultra-Wideband 4G LTE Antenna	Part No. TG.30.8113
Antenne cellulaire LTE embarquée d'Ethertronics	Part No.1002289

Cependant, cette antenne compacte comporte le désavantage de ne pas posséder la localisation GPS et la propriété d'être une antenne diversité. L'antenne diversité fonctionne dans le mode de réception et permet d'améliorer la robustesse, la fiabilité dans le chemin de réception.

Il existe plusieurs sortes de modems qui peuvent être utilisés avec cette carte de développement et ils s'achètent séparément. Un modem est nécessaire pour la localisation cellulaire. Le modem TNAG-B (NL-SW-LTE-TNAG-B) a été choisi car il utilise le service 4G et car il est certifié avec le service (fournisseur) canadien Rogers Communications. Les services 2G et 3G vont disparaître du marché dans un avenir très proche. Aux États-Unis, les principaux fournisseurs de service tels qu'AT&T ont commencé à éteindre le réseau 2G. En conséquence, ce facteur pourrait décourager les industries d'opter pour un dispositif de localisation fonctionnant avec la technologie 2G. Le réseau 4G ou LTE est le réseau le plus nouveau et le plus utilisé actuellement. Il va durer encore pour plusieurs années. De plus, en plus de pouvoir communiquer dans le sens inverse, c'est à dire à travers la technologie 3G et 2G, il comporte plusieurs avantages comparativement aux technologies 2G et 3G telles que la vitesse de transmission, une haute qualité de service, l'utilisation flexible des bandes fréquentielles disponibles, une faible latence et une très bonne rapidité.

2.1.1 Fréquences de communication entre le modem et la station de base

Pour trouver les fréquences qui permettent la communication du modem à la station de base, c'est-à-dire les ‘fréquences cellulaires’ de la Figure 1.1 et de la Figure 1.2, il est nécessaire de faire une comparaison entre les bandes qui sont utilisées par le modem et les bandes qui sont utilisées par le service fournisseur.

2.1.1.1 Bandes utilisées par le modem TNAG-B

À l'intérieur de la fiche technique du modem TNAG-B, il est possible de voir que le modem transmet les signaux sur les fréquences et bandes ci-dessous:

Bandes LTE: B2(1900), B4 (1700/2100), B5(850), B17(700)

Bandes HSPA: B2(1900), B5(850)

Bandes GSM: 850, 1900

2.1.1.2 Bandes utilisées par le fournisseur de service Rogers communications

Les fréquences utilisées par le fournisseur de service Rogers communications [1] sont :

Pour LTE (4G) :

- Bande 4 : 1700/2100 MHz AWS 1
- Bande 7 : 2600 MHz
- B17 : 700 MHz bc

Pour UMTS (3G) :

- Bande 2 (1900 MHz PCS) et Bande 5 (850 MHz)

Pour GSM (2G) :

- 850 MHz et 1900 MHz PCS

2.1.1.3 Bandes communes entre le fournisseur de service Rogers communications et le modem TNAG-B

En comparant ces données, les bandes communes entre le réseau de Rogers communications et celles qui sont utilisées par le modem sont les fréquences de :

- la bande 17 (700 MHz), la bande 4 (1700/2100 MHz) pour LTE,
- la bande 2 (1900 MHz) et de la bande 5 (850 MHz) pour UMTS/HSPA
- la bande GSM pour les fréquences de 850 MHz et 1900 MHz.

Il n'est pas nécessaire d'avoir toutes ces bandes pour une communication cellulaire. Cependant, pour obtenir des meilleures vitesses et une meilleure qualité du signal, il est mieux d'avoir le plus de bandes communes entre le réseau de Rogers communications et le modem choisi.

2.2 Algorithme de localisation pour le suivi des marchandises en temps réel

Durant cette recherche, trois méthodes de localisation dynamique ; localisation par l'identification de la cellule, triangulation (identification des cellules voisines) et localisation GPS.

Avec la méthode de localisation par identification de la cellule et de la triangulation, des coordonnées des stations de base sont détectées à partir de certaines stations mobiles (MS). Les zones rurales qui comportent moins de tours cellulaires comportent des couvertures ou hexagones de localisation de taille plus large tandis que les zones urbaines montrent des hexagones de taille plus petite. En conséquence, pour les deux premières techniques, la précision des techniques basées sur le réseau dépend à la fois de la concentration des stations de base cellulaires et de l'environnement. Les environnements urbains atteignant la précision la plus élevée possible en raison du plus grand nombre de tours cellulaires et de la mise en œuvre des méthodes de chronométrage les plus courantes.

2.2.1 Localisation par l'identification de la cellule

La technologie de positionnement la plus basique disponible pour les systèmes cellulaires s'appelle ‘cell-ID’ (identification de cellule). Les stations mobiles communiquent à chaque instant avec une antenne relais qui couvre une cellule. Cette antenne représente une station de base et elle transmet son identifiant de cellule. Lors de la méthode de localisation par l'identification de la cellule, le dispositif va capter le plus fort signal de la région et utiliser ces informations pour la localisation.

Pour la localisation cellulaire, il est nécessaire d'avoir 4 identifiants au total. Deux de ces identifiants sont constants dans la majorité des cas, définis par la carte SIM et diffusés par les antennes-relais du réseau mobile. Ce sont les identifiants MCC ‘Mobile country code’ et MNC ‘Mobile Network Code’.

L'identifiant MCC est un code pays sur trois chiffres qui permet d'identifier les abonnés et ceux qui sont enregistrés sur les cartes SIM. Il est standardisé pour les réseaux de téléphonie mobile.

L'identifiant MNC est aussi présent dans les cartes SIM de tous les abonnés mobiles. Il permet aux stations de base (BS) des opérateurs dont les cellules radio sont utilisées d'identifier et d'authentifier les (stations mobiles) MS présentes dans leurs cellules radio. De plus, il permet de déterminer si cette MS ou dispositif est autorisé à accéder au réseau et avec quels droits.

À partir du site MCC-MNC [2], il est possible de déterminer les informations de MCC et de MNC utilisé pour la majorité des fournisseurs de service cellulaire. Pour le fournisseur Rogers

communications, les informations MNC (Rogers communications) = 720 et MCC (Canada) = 302 ont été déterminées. Cependant, pour la localisation, en plus de connaître les identifiants MCC et MNC, il faut deux autres identifiants. Ce sont les identifiants LAC et CELL et ils varient en fonction de la localisation du dispositif. Par exemple, lorsque le camion est en mouvement, ces deux identifiants vont changer couramment, tandis que les identifiants MCC et MNC ne changent pas. Ils sont présentés dans la section suivante à l'aide d'un exemple avec la carte de développement et le modem. Le kit peut être connecté et testé avec un Arduino Leonardo et sans lui. Cependant, pour la localisation en temps réel, l'utilisation de l'Arduino avec le kit est nécessaire. Cette méthode est présentée à la section 2.2.1.2 . La méthode sans Arduino est présentée à la section 2.2.1.1. Dans ce cas, le logiciel Tera Term est utilisé pour obtenir la réponse des commandes AT.

2.2.1.1 Test avec le kit (sans Arduino Leonardo)

Pour les tests avec le kit de développement NimbeLink, le logiciel Tera Term est requis. Les étapes peuvent varier selon la sorte de modem. Cependant, après la configuration initiale, en résumé, les étapes sont :

- 1-Insérer une carte SIM valide dans le modem
- 2-Placer le modem sur la carte de développement de NimbeLink.
- 3- Connecter l'antenne sur le port X1 si elle n'est pas déjà connectée.
- 4-Placer un cavalier sur le connecteur J6.
- 5- La connexion du dispositif par un câble à partir du port J14 au port USB de l'ordinateur.
- 6-Connecter une source de 12 V au connecteur J15.
- 7-Appuyer sur le bouton de réinitialisation entre 1 et 2 secondes.
- 8-Attendre 15 secondes pour la communication logicielle.
- 9- Ouvrir le logiciel Tera Term.



Figure 2.6: Disposition du modem avec la carte de développement

10-Dans ce logiciel, il faut ensuite configurer les paramètres tels que ci-dessous :

Baud Rate: 115,200 bps

Data: 8bit

Parity: none

Stop: 1bit

Flow Control: none

Ensuite, il est possible d'écrire les commandes AT dans la fenêtre de l'application. Il existe beaucoup de commandes AT avec différentes propriétés et la majorité d'entre elles se trouvent dans le manuel '*AT&T AT Commands Guide for the M14A2A LTE Module*' [3]. La commande de base permettant de vérifier la communication avec le terminal est 'AT'. Lorsqu'on entre cette commande :

AT

le terminal répond 'OK' si la carte a été configurée et branchée correctement.

OK

Il est aussi possible de tester la puissance du signal de l'antenne à l'aide de la commande (optionnel)

AT+CSQ

et le terminal va répondre :

+CSQ : xx,yy

où, xx représente la puissance du signal de l'antenne reçu par l'antenne dans une représentation linéaire et yy est le taux d'erreur par bit en pourcentage. Le Tableau 2.2 ci-dessous donne une représentation de cette qualité en fonction de la réponse obtenue :

Tableau 2.2: Évaluation de la puissance du signal de l'antenne (en réception)

Valeur de xx	Mesure de la puissance en réception (RSRP)
0-9	Marginal : -113 dBm à -95 dBm
10-14	OK : -93 dBm à -85 dB
15-19	Bon : -83 dBm à -75 dBm
20-30	Excellent : -73 dBm à -53 dBm
31	Excellent : -51 dB et plus grand
99	Inconnu ou non détectable

À partir de ce tableau, on peut voir qu'une dégradation ou augmentation d'une valeur de puissance du signal de l'antenne en représentation linéaire (xx) égale à un (=1) correspond à une dégradation ou augmentation d'une puissance de réception (RSRP) égale à 2dB.

Ensuite, on active le réseau d'enregistrement et de l'information dans le format qui permet d'obtenir les identifiants de cellule :

AT+CGREG=2

Après la réponse, on peut entrer la commande de localisation de la cellule :

AT+CGREG?

La réponse obtenue aura le format [3]:

+CGREG:<n>,<stat>[,<lac>,<ci>[,<AcT>,<rac>]]

```

File Edit Setup Control Window Help
at
OK
at+csq
+CSQ: 22,3

OK
at+cgreg?
+CGREG: 0,1

OK
at+cgreg=2
OK
at+cgreg?
+CGREG: 2,1, "6100", "186AE01", 7,98

OK

```

Figure 2.7: Obtention des identifiants LAC et CELL avec le logiciel Tera Term

Cette réponse comporte les informations utiles pour la localisation de la cellule.

<n> : est fourni comme un nombre entier entre 0 et 3 et cela permet de savoir si l'activation au réseau a été effectuée.

<stat> : est fourni comme un nombre entier entre 0 à 10 et il permet de savoir l'état d'enregistrement au réseau.

<lac> : identifiant de la région LAC. Donné sous la forme d'une chaîne qui correspond à la région de localisation de deux octets ou la région de suivi en format hexadécimal.

<ci> : identifiant de la cellule, CELL. Donné sous forme d'une chaîne correspondant à GERAN, UTRAN ou E-UTRAN). GERAN est utilisé pour la technologie GSM, UTRAN pour la technologie 3G et E-UTRAN pour la technologie LTE.

<AcT> : entier, paramètre numérique qui indique le service de la technologie d'accès (GSM, UTRAN, EGPRS, HSDPA ou E-UTRAN)

<rac> : Zone de routage d'un bit en format hexadécimal

Les informations utiles pour la localisation sont LAC '**<lac>**' et CELL '**<ci>**'. Par exemple, en entrant la commande 'AT+CGREG?', on obtient la réponse :

+CGREG: 2,1, 61EA, C7B20,7

L'identifiant LAC correspond à 61AE et l'identifiant CELL corresponds à C7B20. Il est possible d'entrer ces informations sur un site internet tel que OpenCellID [4] pour déterminer la localisation de la cellule qui corresponds à la station de base détectée par le dispositif avec le plus fort signal. Ce site accepte les données en format décimal, tandis que le modem sort les identifiants LAC et CELL en format hexadécimal. En conséquence, il faut convertir les données hexadécimales obtenues par le dispositif en données décimales et les entrer ensuite. Par exemple, si la commande d'identification de cellule obtenue est CELL=C7B20. La valeur décimale est 13087233. L'identifiant LAC=61EA en hexadécimal est équivalent à LAC=25066 en décimal. Une fois que la valeur de 'mcc' (MCC), 'mnc' (MNC), 'lac' (LAC) et 'cid' (CELL) ont été entrés dans le site pour la requête de localisation d'une cellule ' 1 Cell – LTE', il faut appuyer sur le bouton soumettre pour un affichage sur la carte géographique. Un exemple visuel est montré sur la Figure 2.8. Une piste pour rendre ce processus de recherche automatique et indépendant du site OpenCellID est présentée à la section 2.4 de ce mémoire.

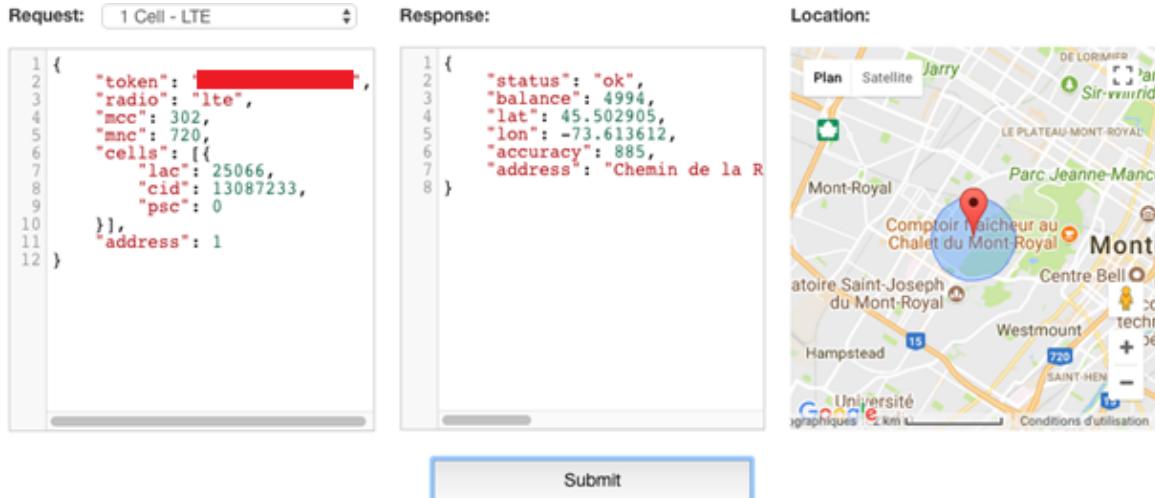


Figure 2.8: Détermination de la localisation de la station détectée par le dispositif sur OpenCellID

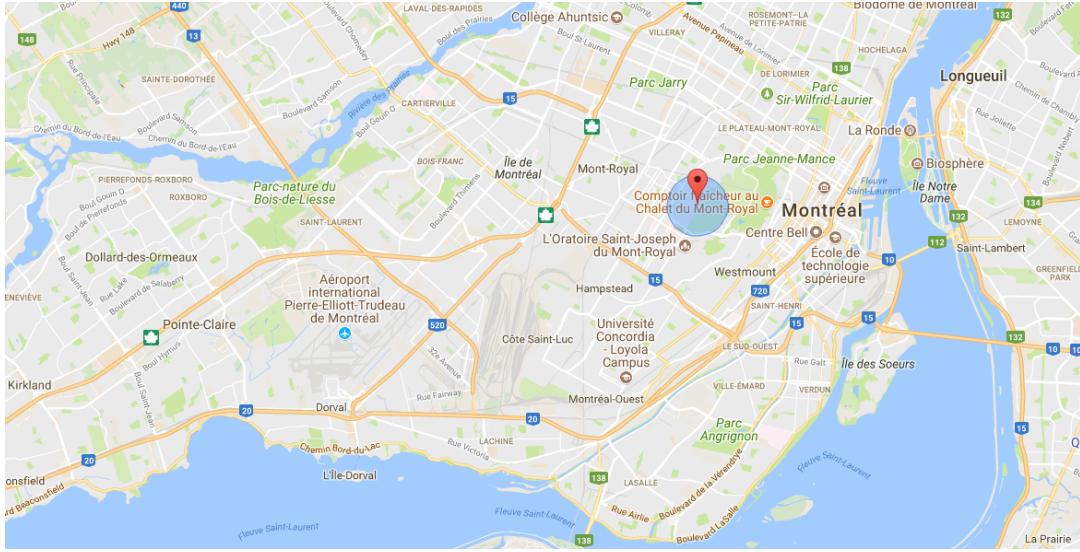


Figure 2.9: Agrandissement de la région sur un plan plus grand

À partir du site CellMapper [5] , il est possible de voir où se situent les régions de localisation LAC sur une carte graphique. À l'intérieur de cette région de localisation se trouvent plusieurs stations de base. La Figure 2.10 montre la région de couverture pour l'identifiant LAC =25066. Si le camion sort de cette région, l'identifiant LAC détecté par le dispositif va changer aussi. Ceci est utile pour comprendre à quel moment l'identifiant LAC va changer (couverture d'une région LAC).

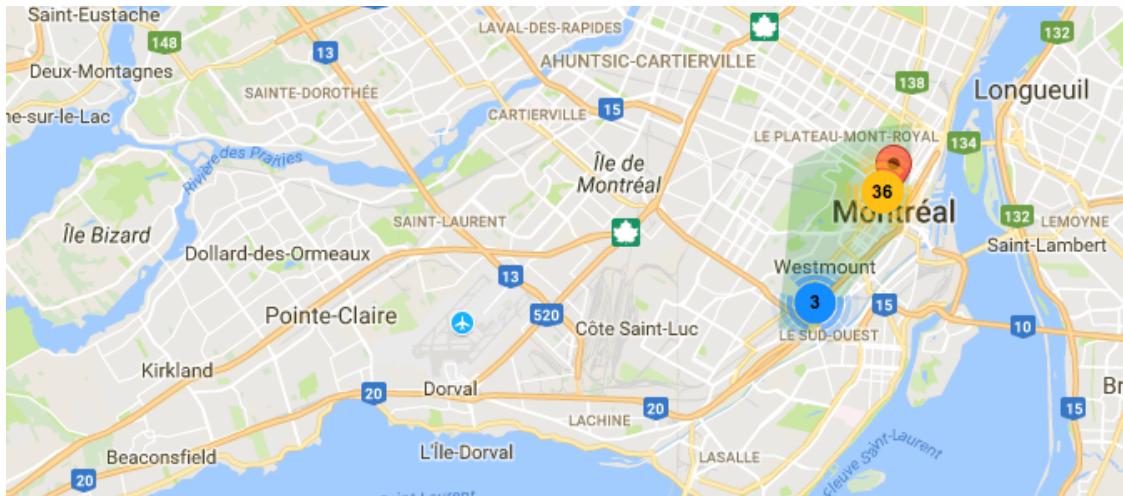


Figure 2.10: Couverture de la région LAC = 25066

2.2.1.2 Test du kit avec Arduino Leonardo

Durant la recherche, un code Arduino a été développé pour permettre de localiser la présence des marchandises à l'aide de messages SMS et il est fourni dans le disque qui vient avec ce mémoire. Lorsqu'il est téléversé dans la carte (Figure 2.11), il permet au modem de transmettre périodiquement les identifiants LAC et CELL de la station détectée. En résumé, comparativement à la procédure sans Arduino, il ne faut pas utiliser de cavalier sur J6, il faut placer la carte de développement NL-SWDK sur l'Arduino Leonardo et il faut connecter le câble bleu de l'Arduino au port USB de l'ordinateur. Ensuite, il faut ouvrir le fichier comportant le code Arduino avec Arduino IDE, sélectionner Arduino Leonardo parmi les options pour le type de carte et le bon port, télé verser le code de localisation développé durant cette recherche 'Code_localisation.ino', ouvrir le Moniteur série, attendre le chargement du code et débrancher le câble USB (si nécessaire).

Une conversion automatique des codes d'hexadécimal à décimal a été intégrée dans le code Arduino (fourni dans le disque) et par conséquent, il n'est pas nécessaire de la faire manuellement pour la commande 'AT+CGREG?'.

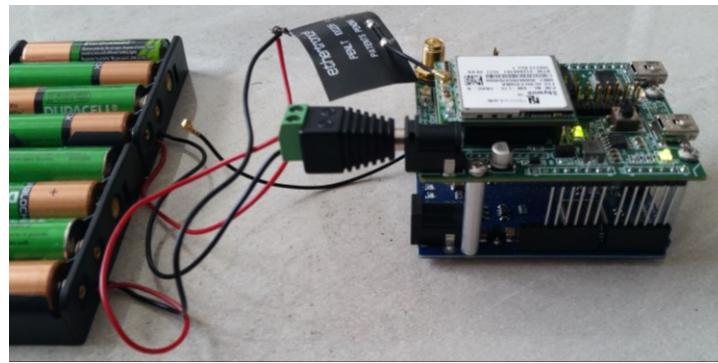


Figure 2.11: Disposition: Modem, carte de développement, l'Arduino et l'alimentation

2.2.2 Localisation à l'aide de la triangulation (cellules voisines)

Lors la localisation par la méthode de triangulation, en plus de détecter le signal le plus fort de la station de base compatible dans la région (identification de la cellule), le dispositif détecte et utilise le signal provenant des stations de base voisines qui sont compatibles. Si le dispositif détecte un certain nombre signaux de la même bande, cela permettrait d'être plus précis pour déterminer sa localisation. À l'aide d'un calcul géométrique, il est possible de déterminer la distance du dispositif cellulaire par rapport aux antennes relais voisines en fonction de l'intensité des signaux radioélectriques qu'il reçoit. Ces informations peuvent être transmises à un terminal externe qui calcule sa position géographique. Pour représenter la triangulation de manière graphique, un cercle peut être dessiné autour de chacune des cellules captées par le dispositif avec une taille qui correspond à l'intensité du signal de chacune des stations. Le point d'intersection de ces cercles donne la localisation du dispositif. Pour obtenir l'information des cellules adjacentes, il est possible d'utiliser la commande:-AT#CSURVC. Cette commande permet d'obtenir les identifiants LAC, le CELL, la puissance reçue (RSRP) et EARFCN de chacune des stations adjacentes.-Le format de la réponse est:

uarfcn: <uarfcn> rxLev: <rxLev> mcc: <mcc> mnc: <mnc> scr code:

<scrCode> cellId: <cellId> lac: <lac> cellStatus: <cellStatus> rscp:

<rscp> ecio: <ecio>

L'identifiant EARFCN (uarfcn) correspond à la bande qui est utilisée. Le site 'Niviuk' [6] permet de faire la conversion de l'identifiant EARFCN pour savoir de quelle bande provient le signal obtenu. Par exemple, à partir du site Niviuk, il est possible de voir que l'identifiant EARFCN de 2050 est associé aux données de la bande 4 et l'identifiant EARFCN 5765 correspond aux données de la bande 17.

EARFCN calculator

Earfcn	2050	>> Frequency					
Frequency (MHz)		>> Earfcn					
Frequency high (optional)							
Bandwidth check	No check	▼					
Band	Name	Bandwidth (MHz)	Mode	Earfcn DL	Downlink (MHz)	Earfcn UL	Uplink (MHz)
4	AWS-1	45	FDD	2050	2120.0	20050	1720.0

Figure 2.12: Détermination de la bande à partir de EARFCN

Il est aussi possible d'utiliser d'autres commandes AT qui sortent les informations des cellules voisines. Cependant, dans certaines sortes de modems, au lieu de sortir la puissance reçue (RSRP) avec les identifiants LAC et CELL, la commande sort la puissance reçue (RSRP) avec la valeur d'identité de cellule physique (PSC) et dans ce cas, il est plus difficile de retrouver la latitude et la longitude.

AT\$QCRSRP?

Format de la réponse de la commande AT\$QCRSRP :

\$QCRSRP:<psc><EARFCN><rsrp>..... où la partie <psc><EARFCN><rsrp>

où la partie après les deux points (:) se répète selon le nombre de bandes détectées.

La commande ‘AT\$QCRSRP?’ affiche les informations des cellules voisines avec l’identifiant PSC pour le modem TNAG-B. L’identifiant PSC ou PCI (physical cell id) correspond à l’identification physique d’une cellule. Il est défini par un numéro entre 0 et 503 et il peut représenter des cellules de différentes villes. Il est utilisé afin d'aider le mobile à séparer les informations des différents émetteurs et permet de déterminer la séquence de synchronisation primaire et secondaire. À partir du site CellMapper, il est possible de déterminer l’équivalent des identifiants LAC et CELL de chaque identifiant PSC et ensuite la latitude et la longitude du dispositif cellulaire. Pour ne pas faire le travail de conversion de PSC vers la combinaison d’identifiants LAC et CELL, la commande ‘AT#CSURVC’ a été utilisée.

En entrant les commandes AT permettant d’obtenir les informations des cellules voisines, le modem peut sortir un nombre différent de données dépendamment de la proximité des stations, de leur puissance de transmission de signal, de leur bande et du service fournisseur dans la région où

la commande est exécutée. La réponse peut aussi comporter des données de différentes bandes et de différentes technologies : GSM, HSPA, UMTS, LTE. Si le dispositif détecte un nombre X de stations voisines et que parmi ces X lignes, il y a M stations détectées de la même bande, le calcul de triangulation peut être fait pour obtenir la localisation du dispositif. Pour faciliter la compréhension du calcul de triangulation, les données des M lignes pour la localisation peuvent être représentées dans le Tableau 2.3 [7]:

Tableau 2.3: Latitude et longitude en fonction des identifiants LAC et CELL

Station	LAC	CELL	Latitude=tx_n	Longitude=ty_n	Signal RSRP = s_n	s_{rn}
1	LAC ₁	CELL1	tx ₁	ty ₁	s ₁	s _{r1}
2	LAC ₂	CELL2	tx ₂	ty ₂	s ₂	s _{r2}

M	LAC _M	CELLM	tx _M	ty _M	s _M	s _{rM}

Où n représente la station qui est détectée

tx_n est la latitude de la station de base détectée

ty_n est la longitude de la station de base détectée

s_n est la puissance reçue par le dispositif de la station de base n détectée

Les sections 4.2, 4.3 et 4.4 permettent de déterminer la puissance de réception. Le résultat dépend de la fréquence, de la distance, de la hauteur de la station de base et de la station mobile, de la puissance transmise par la station de base et des obstacles environnementaux.

Le ratio de signal pour chacune des stations de base peut être calculé sous la forme :

$$s_{rn} = \text{Ratio} = \text{Puissance de signal de la BS}/\text{Puissance totale combinée} \quad (2.1)$$

La puissance totale combinée est égale à la somme des M puissances de réception des signaux s_n.

Cela implique :

$$s_{rn} = \frac{s_n}{\sum_{i=1}^M s_i} \quad (2.2)$$

Ensuite, il est possible de calculer la latitude et la longitude à l'aide des équations suivantes [7]:

$$\text{Longitude} = \sum_{i=1}^M t_{xi} s_{ri} \quad (2.3)$$

$$\text{Latitude} = \sum_{i=1}^M t_{yi} s_{ri} \quad (2.4)$$

Après le calcul de la latitude et la longitude, il est possible d'entrer l'information sur le site '*Google Maps*' en utilisant la notation de degrés décimaux (DD) pour afficher la localisation du dispositif cellulaire sur la carte géographique. Il faut utiliser le point au lieu d'une virgule. Par exemple, au lieu d'entrer "41,40338, 2,17403", il faut utiliser le format : "41.40388, 2.17043".

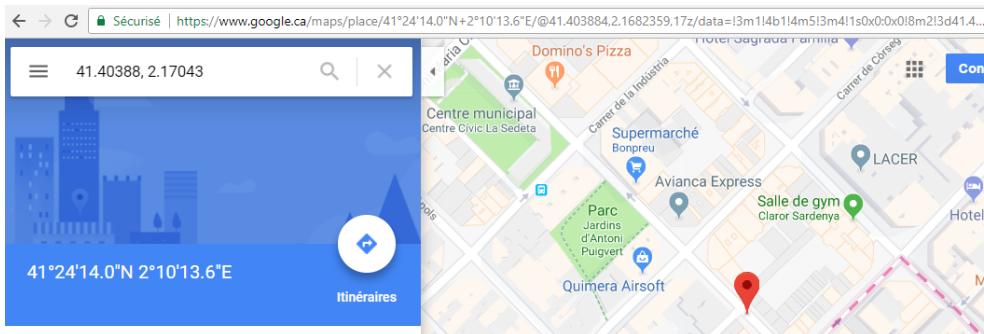


Figure 2.13: Localisation à partir de Google Maps

2.2.3 Localisation GPS

Le GPS (Global Positioning System) est la méthode de localisation la plus connue et aussi une des plus importantes méthodes de localisation mise en place aux applications civiles en 2000. Dans cette méthode, une constellation de satellites envoie des signaux vers les stations mobiles qui les captent et qui peuvent en déduire leur propre position à l'aide des mesures sur ces signaux. Le système de positionnement par satellite utilise la technique de temps d'arrivée (TOA). À l'aide d'au

moins 4 satellites, il détermine la position et la vitesse en trois dimensions relativement aux coordonnées globales et un temps précis selon le temps universel coordonné (UTC). C'est un système unilatéral où le récepteur cible calcule sa propre position en analysant les signaux spatialement distribués des émetteurs. Le récepteur GPS doit mesurer la distance à au moins trois émetteurs afin de calculer la latitude, la longitude et la hauteur. Quand la distance à un émetteur est connue, la position du récepteur repose sur une sphère dont le rayon est cette distance. L'intersection de trois sphères, chacune ayant comme rayon la distance de l'un des trois émetteurs, est un point dont les coordonnées sont celles de l'antenne de réception. Les systèmes tels que Glonass et Navstar (GPS) fournissent une couverture mondiale. De plus, les dispositifs GPS peuvent avoir une précision plus basse que 1m et leur précision s'améliore continuellement. Le modem comporte une précision GPS inférieure à 1.8m. Cependant, la précision GPS diminue près bâtiments et son signal est plus faible que le signal cellulaire à cause de l'utilisation d'une plus haute fréquence et d'une plus grande distance entre l'émetteur et le récepteur.

Il existe une procédure disponible et des commandes AT pour la localisation GPS à l'aide du modem. Pour cette localisation, l'antenne GPS se connecte dans le connecteur U.FL (X3) et une antenne cellulaire sur le connecteur U.FL (X1). Lorsqu'elles sont entrées, les commandes AT pour la localisation GPS sortent directement la latitude, la longitude et l'altitude. Pour ce cas, il ne faut pas passer par un terminal secondaire qui transforme des identifiants (LAC et CELL) en latitude et longitude. Si le signal passe à travers la remorque des camions avec un signal suffisamment bon, ce serait une méthode plus précise pour la localisation.

2.3 Étude pour la conception d'un prototype de faible coût

Durant cette recherche, la construction d'un prototype a été étudiée. Le système de localisation étudié lors de cette recherche est donc composé de la carte NL-SWDK, du modem TNAG-B et d'une carte Arduino Léonardo. Le modem TNAG-B coûte 211.5\$ [8] (avant taxes). La carte de développement NL-SWDK coûte 225.23\$ [9] (avant taxes). Un Arduino Léonardo coûte 28.33 \$ [10] (avant taxes). Donc, le cout total du matériel avant les taxes est de 465.06\$.

Le prix des composantes dans les magasins est souvent au moins 10 fois élevé que le prix réel de production. Par exemple, le prix total des composantes pour circuit commutateur de HMC221b qui a été fabriqué lors de cette recherche (présenté dans la section 4.5.5) a couté plus que 40 fois

moins cher (coût inférieur à 7 \$) que le prix du circuit auquel il se vend sur le site Digi-Key (401.35 \$) [11].

Un schématique de la carte NL-SWDK et de l'Arduino Leonardo sont déjà présents publiquement sur le site de la compagnie. Pour la construction d'une carte de développement plus compacte et de faible coût, il serait utile d'étudier les étapes suivantes :

1. Faire une étude pour savoir quelles composantes dans cette carte sont non-nécessaires pour la localisation en temps réel.
2. Sur la carte NL-SWDK se trouve un connecteur d'en-tête 8x2 male. Il peut être utilisé pour brancher un microcontrôleur. Cela pourrait réduire la taille d'un prototype et le coût de production.
3. Développer une propre carte de développement ou une carte Arduino plus miniature. Plusieurs fonctionnalités non utiles au système de localisation pourraient être retirées du système pour le rendre plus compact. La majorité des 28 broches de la carte n'ont pas été utilisées.
4. Fusionner le modem, la carte de développement et l'Arduino sur un même circuit. Il serait utile de partir avec une version basique du modem TNAG-B. Elle est disponible pour la commande chez la compagnie ‘Symmetry Electronics’ avec le numéro d’identification LE910NAG703T701.

2.4 Obtenir et envoyer la localisation sous forme de données

Un fichier qui contient les informations des tours cellulaires peut être téléchargé sur le site OpenCellID. Il porte le nom “cell_towers.csv”

	radio	mcc	net	area	cell	unit	lon	lat	range	samples	changeable	created	updated	averageSignal
grid	LTE	260		1	11012	2898178	0	22.50617980957	51.236801147461	1000	1	1	1458906401	1441507371
grid	LTE	260		1	11012	3017985	0	22.518539428711	51.22444152832	1000	1	1	1458906401	1438564870
grid	LTE	260		1	11012	3252227	0	22.536392211914	51.225814819335	1000	1	1	1458906401	1442288630
grid	LTE	260		1	11012	3277317	0	22.510299682617	51.235427856445	1000	1	1	1458906401	1441782463
grid	LTE	260		1	11012	3083778	0	22.540512084961	51.228561401367	1000	1	1	1458906401	1441972715

Figure 2.14: Fichier "cell_towers.csv"

Après le téléchargement, une recherche peut être effectuée manuellement sans connexion internet à l’intérieur du fichier. En précisant la valeur des identifiants de la station de base détecté, cela permet d’obtenir sa latitude et longitude. Le fichier peut être ouvert à l’aide d’une application telle que Power BI Desktop ou Excel. Il comporte des informations de 35 516 062 tours cellulaires tel que montré sur la Figure 2.14 . Cela comprend les tours cellulaires utilisant la technologie GSM,

UMTS et LTE. Sur chaque ligne de ce fichier se trouvent les identifiants : MCC, NET, AREA, CELL, latitude et longitude. ‘NET’ corresponds à MNC, ‘AREA’ du fichier est équivalent à LAC, ‘lon’ est équivalent à longitude et ‘lat’ est équivalent à latitude.

Un site internet propre à l’industrie peut être utilisé pour la lecture du fichier “cell_towers.csv” dans le but de servir le fournisseur et les clients. Un exemple pour transmettre des messages sur un site internet avec des commandes AT est disponible sur le site de la compagnie. Pour différencier les différents dispositifs lors du transport, chacun d’entre eux va comporter un modem réduit avec une identité internationale d’équipement mobile (IMEI) différente. Ils devront être enregistrés avant sur le site de la compagnie similairement aux dispositifs présentés à la section 2.1 : LugLoc, Trakdot et PT300. Tous les modems NimbeLink ont des IMEI différents. Dans le site internet, l’utilisateur devra identifier son dispositif à l’aide de son IMEI, un nom d’utilisateur et un mot de passe. Suite à la réception des identifiants LAC et CELL transmis par le dispositif de localisation, le site ferait une procédure pour afficher la localisation sur une carte géographique. Plus précisément, une des méthodologies possibles serait de programmer un site internet à l’aide du langage javascript en combinaison avec le langage Visual Basic (VBA) pour faire une recherche automatiquement dans le fichier CSV et sortir la réponse de latitude selon la méthode de l’identification de la cellule et selon la méthode de la triangulation. Pour la triangulation, les équations (2.1) à (2.4) pourraient être implémentées en VBA pour permettre au programme de sortir deux localisations du dispositif en coordonnées décimales, une pour la méthode de l’identification de la cellule et l’autre pour la triangulation. Il est possible de faire la transition de la latitude et de la longitude avec ‘Google Maps javascript API’ [12] ou ‘Google Maps Geolocation API’ [13] vers la localisation sur une carte géographique.

2.5 Senseurs utiles

Certaines industries sont aussi intéressées pour détecter et prévenir les vols de leurs marchandises. Certains senseurs peuvent être ajoutés ensemble ou séparément au dispositif cellulaire de localisation pour cette cause tel qu’un senseur de mouvement, lumière, température ou un accéléromètre. Ci-dessous se trouvent quelques possibilités :

1. Température et humidité

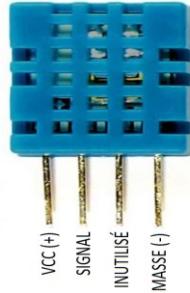


Figure 2.15: Senseur de température et d'humidité DHT11

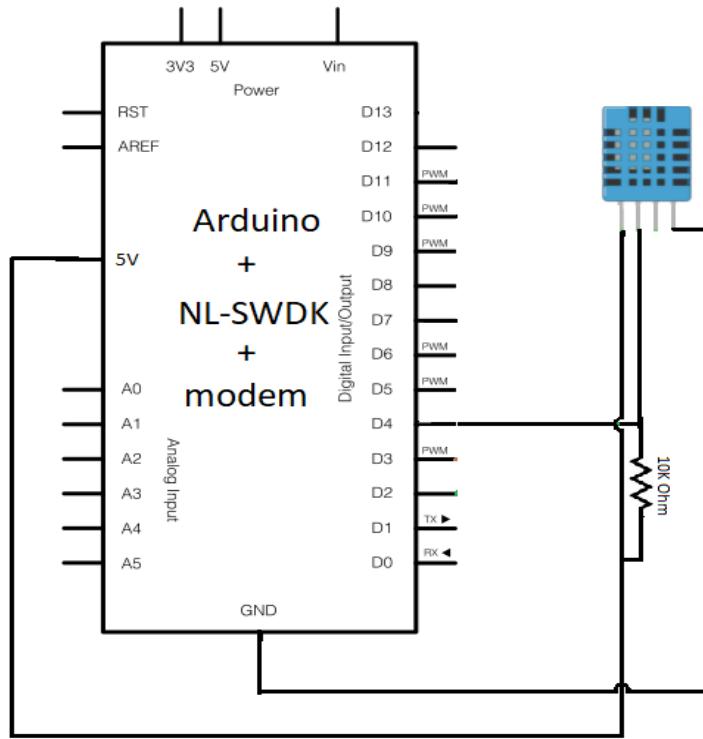


Figure 2.16: Connexion : Modem, NL-SWDK, Arduino et DHT11 ensemble

En utilisant le senseur DHT11, il est possible d'envoyer la température et l'humidité avec les identifiants LAC et CELL des stations de base en même temps. Pour la programmation, il faut télécharger et ajouter la librairie ‘DHTLib’ dans le code. S'il y a une différence de température entre l'intérieur et l'extérieur de la remorque durant le transport, cela pourrait indiquer que la porte est ouverte à cause d'un refroidissement détecté par le modem et le dispositif pourrait informer le

client qu'il y a un refroidissement. Un exemple simple avec le senseur DHT11 et l'Arduino qui permet d'afficher la température et l'humidité sur le ' Moniteur série' à chaque seconde.

```
#include <dht.h> // librairie nécessaire pour capter la température et l'humidité

dht DHT;
#define DHT11_PIN 4 // définir que la broche 4 de la carte est utilisé pour le signal

void setup(){
  Serial.begin(9600);
}

void loop()
{
  int chk = DHT.read11(DHT11_PIN);
  Serial.print("Temperature = ");
  Serial.println(DHT.temperature); //commande qui affiche la température
  Serial.print("Humidite = ");
  Serial.println(DHT.humidity); //commande qui affiche l'humidité
  delay(1000); // période à laquelle le signal est affiché sur le Moniteur série
}
```

Les lignes de cet exemple ont été incorporées ensemble dans le code qui se trouve dans le disque de ce mémoire.

2. Senseur de mouvement (senseur de proximité)



Figure 2.17: Senseur de détection de mouvement PIR

Il est possible de connecter un senseur de mouvement pour détecter si quelqu'un est proche des marchandises. À chaque fois qu'il y a quelqu'un qui bouge près des marchandises dans la remorque proche, le système pourrait informer le chauffeur et l'entreprise par SMS. Donc, comme la porte de la remorque sera fermée, si un voleur entre dans un camion, le senseur va le détecter et informer le modem. Le dispositif cellulaire va transmettre un SMS au chauffeur ou à la police avec les coordonnées et l'heure à l'entreprise pour informer qu'il y a quelqu'un près des marchandises.

3. Accéléromètre



Figure 2.18: Accéléromètre ADX335 pour Arduino

Un accéléromètre pourrait être utile pour savoir combien de temps les marchandises n'ont pas été en mouvement et commencer à suivre le dispositif lorsqu'il commence à bouger. Cela permettrait d'être au courant lorsqu'elles bougent quand elles ne sont pas supposées de bouger.

4. Photorésistance (Senseur de luminosité)



Figure 2.19: Photorésistance

Si quelqu'un ouvre la porte durant le jour, il serait plus clair à l'intérieur de la remorque. Une photorésistance peut être utilisée pour détecter cette variation lumineuse et permettre au modem d'informer le chauffeur et l'entreprise que la porte a été ouverte.

2.6 Résumé du chapitre et méthodologie pour les tests

En résumé, dans ce chapitre, cinq principaux sujets sur le choix et la conception d'un module électronique ayant pour objectif de faire sortir le signal ont été présentés. Premièrement, différents dispositifs utilisés actuellement par les industries. Deuxièmement, un résumé d'utilisation de la carte de développement choisie avec les commandes AT permettant d'obtenir la localisation de la cellule, des cellules voisines et GPS. Troisièmement, une méthode à suivre pour fabriquer un prototype similaire. Quatrièmement, une piste à suivre pour développer un site internet qui peut automatiquement recevoir des données du dispositif et gérer les demandes de localisation par les clients. Cinquièmement, quelques senseurs qui pourraient être utiles pour empêcher le vol durant le transport.

CHAPITRE 3 TECHNOLOGIE DE LOCALISATION DES MARCHANDISES POUR L'INTÉRIEUR DU CAMION

Ce chapitre est utile pour l'implémentation du modèle (un transmetteur sur chacune des marchandises ou palettes) montré dans la Figure 1.2 (Premier modèle) dans ce mémoire. L'avantage est que cette technologie pourrait réduire le coût et rendre le modèle plus compact comme modèle d'application. Par exemple, un module qui permet la communication à l'intérieur d'un camion requiert moins de composantes qu'un modèle qui permet de communiquer à travers les stations de base. Ce module qui comporte seulement la tâche de détection pourrait aussi être fabriqué en grande quantité plus facilement et rapidement.

3.1 Technologie RFID

Pour le développement, une des technologies qui a été considérée pour l'étude est l'identification par radiofréquence (RFID) car elle permet de recueillir l'information de plusieurs marqueurs rapidement. Les principaux éléments qu'on utilise lors de la technologie RFID sont le lecteur, l'étiquette et un ordinateur pour recueillir les données. Le lecteur peut lire le contenu de plusieurs étiquettes en moins d'une seconde. Il se connecte souvent à une antenne d'où il reçoit les informations lues sur les étiquettes et d'où il peut aussi transmettre de l'information pour écrire sur eux.

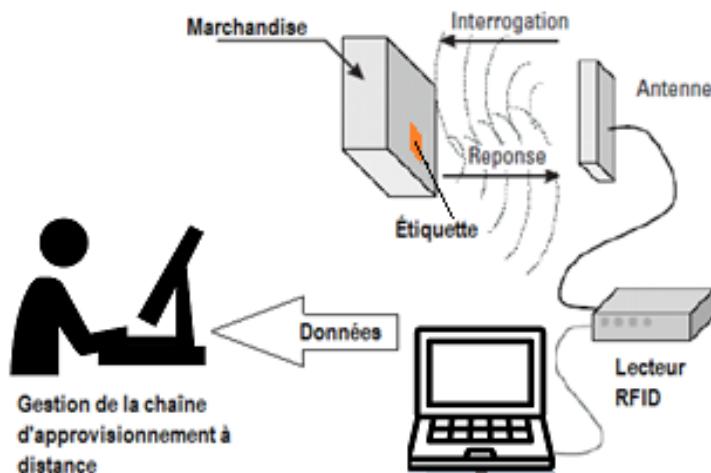


Figure 3.1: Composantes de base d'un système RFID



Figure 3.2: Kit de développement M5E-C

Le kit de développement UHF M5E-C tel vient avec trois câbles, une antenne, un circuit imprimé et des étiquettes. Pour couvrir une longue distance de lecture, il faut avoir un gain élevé de l'antenne ou une puissance de sortie élevée. Pour les antennes RFID, un gain plus élevé implique un plus grand volume.

Le lecteur RFID peut lire l'information sur les étiquettes et à l'aide d'un module cellulaire qu'il faudrait combiner la transmettre à distance pour permettre aux propriétaires de savoir si leurs marchandises sont dans le camion et les coordonnées. Ce système comporte un lecteur RFID et d'autres modules intégrés permettant la communication cellulaire, la localisation et le transfert de données. Ensuite, il transmet l'information à la station de base et elle retransmet cette information à l'ordinateur et au téléphone cellulaire du fournisseur ou du client par un réseau internet ou cellulaire.

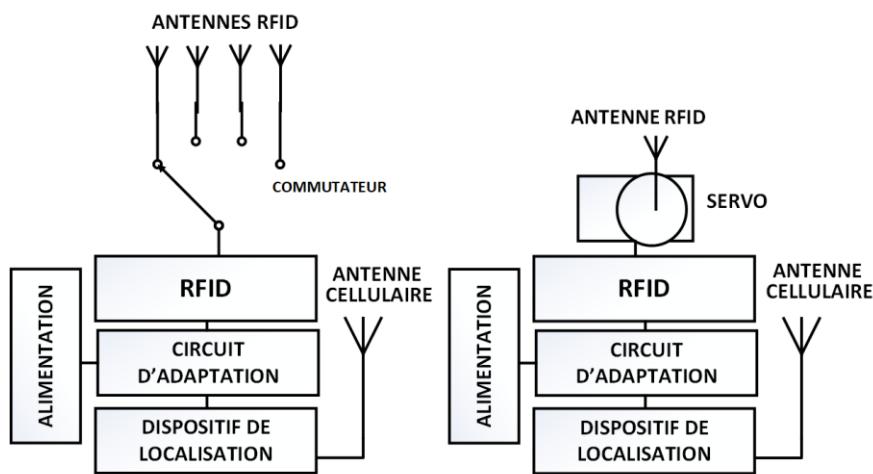


Figure 3.3: Diagramme pour un dispositif de localisation final a) avec 4 antennes RFID b) avec une antenne RFID et un servomoteur

La Figure 3.3 a) et b) sont une représentation graphique simple d'un prototype cellulaire de localisation combiné avec la technologie RFID à concevoir sur une même carte.

La figure 3.3 est l'hypothèse initiale d'un système avec la technologie cellulaire et RFID intégrées ensemble sur une seule carte. Pour couvrir toute la zone à l'intérieur du camion dans le cas d'un système passif, il faudrait quelques antennes.

Sur la Figure 3.3 a) quelques antennes RFID dont le nombre serraient déterminé expérimentalement sont utilisées pour couvrir toute la zone dans la remorque. Le lecteur comprend un microcontrôleur qui peut faire la gestion des ; antennes, données, signaux et de l'alimentation. Le circuit d'adaptation permet d'adapter l'alimentation pour le lecteur et le dispositif de localisation et de convertir certaines informations de la fréquence du lecteur aux données de la fréquence du dispositif de localisation.

Sur la Figure 3.3 b), une manière est présentée avec l'utilisation d'un servomoteur et d'un système RFID semi-passif pour lire les étiquettes en tournant. Une autre possibilité serraient d'utiliser un système actif sans servomoteur car un système actif permet de couvrir la zone de manière omnidirectionnelle.

3.1.1 Choix de la fréquence pour la technologie RFID

À partir du Tableau 3.1 [14] [15] [16], parmi les fréquences d'opération RFID, on peut voir que celles qui conviennent le mieux sont les Ultra Hautes Fréquences (UHF) à cause de la distance de lecture et à cause d'un meilleur pouvoir de propagation (pénétration) à travers les matériaux.

Tableau 3.1: Propriétés des fréquences RFID (système passif)

Fréquence	Description	Distance	Données	Pénétration	Coût
125-134 kHz	LF	~45 cm	+	++++	++++
13.553-13.567 MHz	HF	1-3m	++	+++	++
400-1000 MHz	UHF	3-10m	+++	++	++
2.45 – 5.4 GHz	Micro-ondes	<10 m	++++	+	++++

La distance de lecture dépend principalement de la puissance RF et du type d'antenne qui est utilisée dans différents systèmes. Les antennes RFID de faibles fréquences sont des bobines couplées et utilisent un couplage inductif dans le champ proche.

3.1.2 Partage de l'information à l'intérieur du camion

Pour la partie développement et de lecture de l'information des étiquettes par le lecteur RFID, la démarche planifiée initialement était que :

1. Le système devrait être capable de supporter 10 heures de voyage. Pour réduire le coût, la taille, les dimensions et éviter l'utilisation de batteries, il serait préférable d'utiliser un système RFID avec des étiquettes passives.
2. Puisque la remorque du camion comporte une longueur de 16 m et que la distance de lecture pour le lecteur UHF est d'environ 8 m LOS pour les plus efficaces étiquettes passives du kit, l'objectif a été de compenser le manque en développant un dispositif avec amplificateur et circulateur pour augmenter la distance de lecture afin de couvrir toute la zone à l'intérieur de la remorque.
3. Il faudrait analyser les endroits dans la remorque qui permettent de maximiser la lecture de toutes les étiquettes théoriquement et à l'aide de tests expérimentaux.
4. Il faudrait développer un moyen de transfert de données entre le lecteur et le module électronique

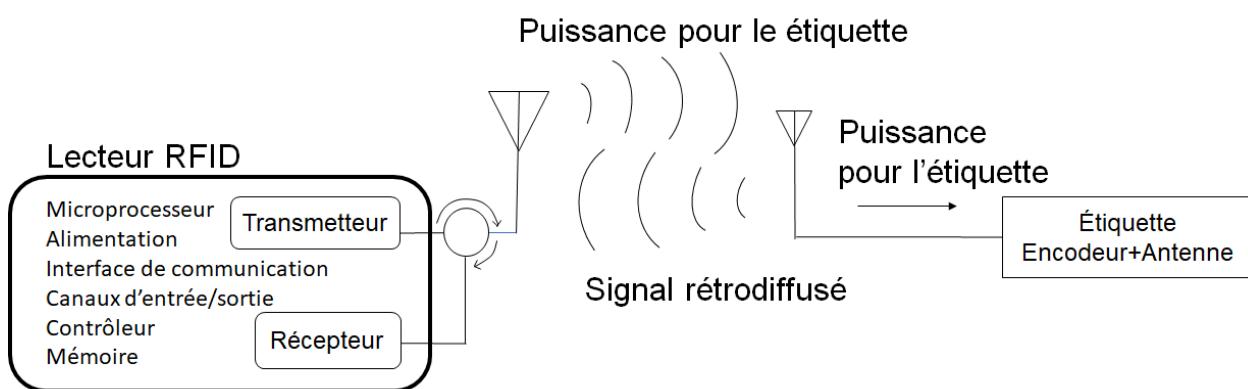


Figure 3.4: Communication entre le lecteur et l'étiquette dans un système mono-statique passif

Il existe 3 principaux types de systèmes RFID :

Système passif: Les étiquettes sont non alimentées. La transmission maximale est d'environ 10m pour UHF (LOS)

Système semi-passif: Utilisation de batteries pour l'alimentation des étiquettes. Transmission maximale d'environ 30m pour UHF (LOS).

Système actif: Utilisation de batteries pour les étiquettes qui permet d'augmenter la puissance du signal retransmis. Ce système comporte la meilleure transmission et la meilleure couverture.

À la Figure 3.4 se trouve le diagramme de lecture d'un système passif. Le lecteur envoie de la puissance et l'étiquette rétrodiffuse le signal au lecteur. De cette manière l'étiquette envoi un accusé-réception au lecteur RFID. Le désavantage du système actif et du système semi-passif est qu'ils doivent utiliser des batteries pour l'alimentation. La gestion du transmetteur et du récepteur se fait à l'aide d'un processeur qui se trouve dans le lecteur RFID et d'un coupleur ou d'un circulateur ou démultiplexeur. La formule de Friis peut être utilisée pour calculer la distance de lecture du lecteur RFID, trouver le gain nécessaire de l'amplificateur pour l'augmenter, et ajuster le gain des dispositifs et la puissance d'émission.

La formule de Friis montre que la puissance reçue est inversement proportionnelle à la racine de la distance entre l'étiquette et le lecteur.

$$r = \frac{\lambda \cos \theta}{4\pi} \sqrt{\frac{P_R G_R G_T (1 - (\Delta\rho)^2)}{P_{th}}} \quad \text{for } 0 \leq (\Delta\rho)^2 \leq 1 \quad (3.1)$$

où, G_T représente le gain de l'antenne de l'étiquette, $P_R G_R$ représente EIRP pour le lecteur, λ est la longueur d'onde, P_{th} est la puissance de seuil minimale requise pour alimenter une étiquette RFID, θ est l'angle fait par l'étiquette avec le plan du lecteur, et $(\Delta\rho)^2$ est le coefficient de réflexion de puissance qui est le rapport de la puissance réfléchie à la puissance incidente par l'étiquette. La puissance reçue par l'étiquette est inversement proportionnelle au carré de la distance entre l'étiquette et l'antenne du lecteur.

Les transpondeurs et les lecteurs comportent un seuil minimal de détection de signal. Si la valeur calculée de G_R ou de G_T est en dessous de ce seuil, cela veut dire que la communication entre

les deux n'est pas possible à cette distance. En ajoutant un amplificateur, il est possible de descendre le seuil minimal et améliorer la sensibilité de lecture (tel que montré dans la section 5.3.1.1.1).

Dans un système mono-statique, du côté de l'antenne, l'émetteur et le récepteur sont séparés par un coupleur, un circulateur ou un commutateur ou démultiplexeur. La transmission et la réception sont gérées par un microprocesseur à l'intérieur du lecteur RFID. Cependant, dans le système bi-statique, l'émetteur et le récepteur utilisent leur propre antenne séparément pour la transmission et la réception.

3.1.3 Lecture et propagation près des matériaux

Un kit RFID UHF a été testé pour la lecture à travers différents matériaux. Le développement du système avec technologie HF est plus difficile parce qu'ils requièrent des antennes plus grosses pour faire des lectures sur des distances de 2 m. De plus, les lecteurs RFID HF avec une couverture sur une distance de 2m comportent un coût plus élevé et sont plus gros.

3.1.4 Antennes utilisées pour la méthode avec la technologie RFID et mesures

Deux antennes ont été testées pour la méthode avec la technologie RFID. L'antenne qui est venue dans le kit et une antenne fabriquée à l'aide du logiciel ADS et HFSS. Les résultats des tests sont présentés dans la section 5.3.

3.1.4.1.1 Description de l'antenne qui est venue dans le kit

Le modèle de l'antenne qui est venu dans le kit est l'antenne ThingMagic UHF RFID Antenna ANT-NB-7-2031. Il comporte les caractéristiques suivantes :

- gain circulaire entre 7 et 7.5 dBiC
- Polarisation : RHCP (polarisation circulaire main droite)
- Fréquence d'opération : 902 à 928 MHz
- Taille : 19x19x3 cm

3.1.4.1.2 Antenne fendue à guide d'ondes coplanaire (CPW)

Durant cette recherche, un nouveau modèle d'antenne a été développé à l'aide des logiciels ADS et HFSS pour faire les tests. Ces tests permettraient de savoir si cette antenne pourrait remplacer l'antenne qui est venue dans le kit avec une antenne plus compacte. Cette antenne est l'antenne fendue à guides d'onde coplanaire (CPW). Elle possède une alimentation CPW. Le substrat RT/duroïd 6002 d'épaisseur de 30 mil de Rogers Corporation a été utilisé pour la conception et la simulation sur les logiciels.

L'antenne qui est venue à l'intérieur du kit comporte des dimensions de 19x19x3cm. Les dimensions initiales de l'antenne sont 140x180x0,762mm. Sur les figures Figure 3.6 et Figure 3.8, on voit que la fréquence de résonance est de 850 MHz. Le gain est de 3,89 dBi, la bande passante est de 200 MHz. Il couvre la fréquence de fonctionnement du lecteur UHF (900 - 930 MHz). Le rapport d'ondes stationnaires (ROS) est inférieur à 2 pour toutes les fréquences opérationnelles du lecteur. Sa taille a été réduite à 131mmx139mmx0.762mm et elle gardait presque les mêmes caractéristiques de bande passante, de rayonnement, de gain et ROS. Cependant, dû aux caractéristiques de couverture de cette antenne et de la taille de la remorque, une seule antenne ne serait pas suffisante pour couvrir toute la zone à l'intérieur de la remorque. Il faudrait utiliser quelques antennes avec un lecteur RFID pour lire toutes les étiquettes qui sont à l'intérieur de la remorque. Pour ce système passif, elles seraient implantées autour d'une microcontrôleur et d'un commutateur qui va gérer le choix de l'antenne qui ferait la lecture à quel moment tel que montré sur la figure 3.3. Tandis qu'avec le système RFID actif ou semi-passif, une seule antenne suffirait pour couvrir toute la zone à l'intérieur du camion à cause de la meilleure couverture.

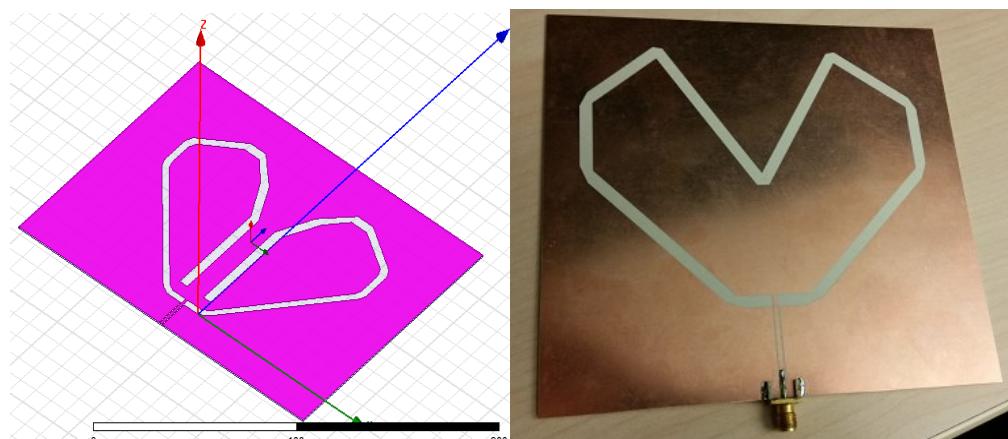


Figure 3.5: Antenne fendue CPW a) initiale (HFSS) b) réduite et fabriquée

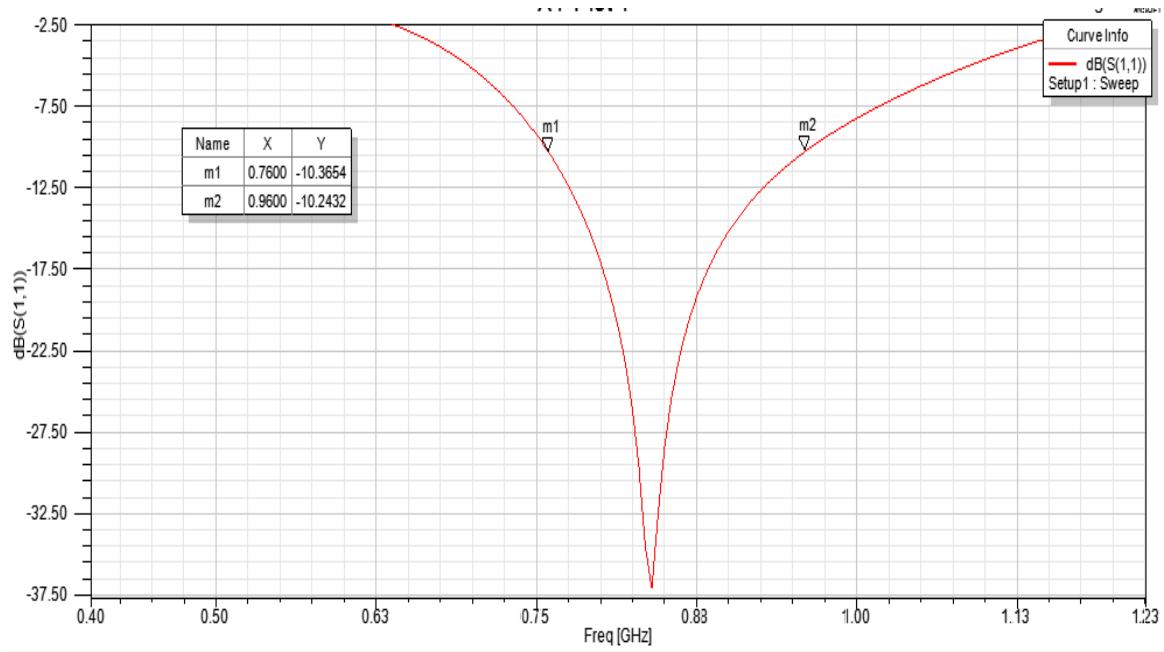


Figure 3.6: a) Bande passante de l'antenne

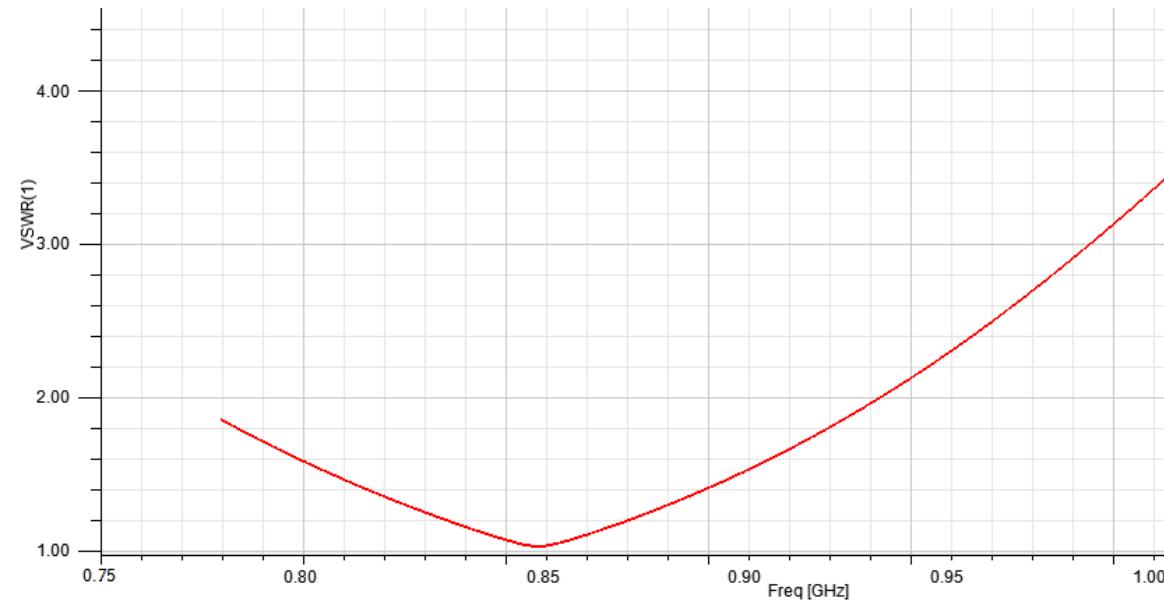


Figure 3.7: Rapport d'ondes stationnaires (ROS)

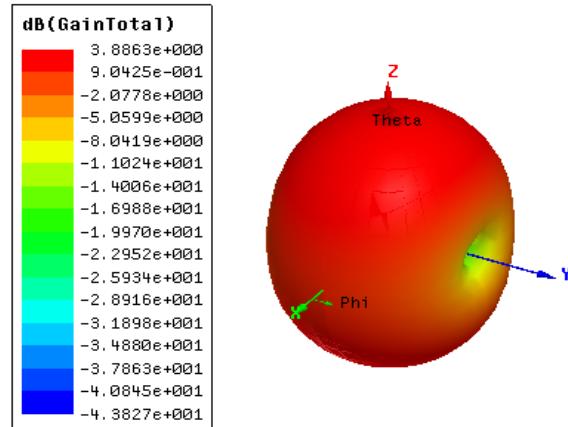


Figure 3.8: Diagramme de rayonnement pour l'antenne

3.2 Technologie transmetteur/récepteur ASK

Comparativement à la technologie RFID, dans la technologie transmetteur et récepteur ASK, il n'est pas nécessaire d'implémenter un principe d'accusé de réception. Le système peut transmettre sur de plus longues distances et omni-directionnellement. Aussi, la conception requiert moins de composantes et elle est moins chère.

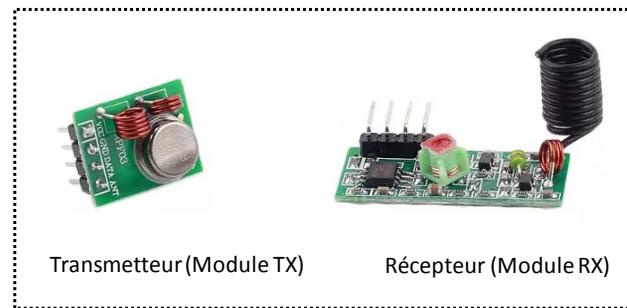


Figure 3.9: Transmetteur et récepteur ASK de 433MHz

Les transmetteurs/récepteurs de ‘Seeed Studio’ sont de faible coût et compacts. Ils fonctionnent à une fréquence de 433 MHz et utilisent la modulation ASK. La tension de sortie du récepteur est de $\frac{1}{2}$ Vcc lorsqu'on est le mode HAUT (HIGH) et de 0.7 V lorsqu'on est le mode BAS (LOW). Pour la transmission de signal, la tension d'entrée du transmetteur peut être ajustée entre 3 et 12 V. Si la tension d'entrée est augmentée, la puissance de transmission et la couverture les sont aussi. À titre d'exemple, une tension d'entrée de 5V couvre une distance de 40 m pour les environnements intérieurs et de 100 m pour les environnements extérieurs, en plein air. La

puissance maximale de transmission par le module correspond à 15 mW [17]. En décibels, cela correspond à 11.76 dBm.

Une antenne plus efficace que celle qui est intégrée sur le circuit peut être fabriquée pour le module transmetteur de 433 MHz. La performance de ces modules peut être améliorée de beaucoup en l'ajoutant. Pour les meilleures performances de puissance de transmission et couverture, il est possible d'insérer un fil vertical de longueur égale à un quart de la longueur d'onde. Ce fil simple agit tel qu'une antenne monopole. Ainsi, son rayonnement est omnidirectionnel. À la fréquence de 433 MHz, cela correspond à une longueur de 17 cm. Il est possible de l'embobiner pour rendre l'antenne plus compacte tout en gardant une couverture similaire. Cependant, la moitié de cette longueur pourrait couvrir la zone à l'intérieur du camion.

L'idée est de connecter cela avec le dispositif cellulaire qui permet de transmettre l'information au client et au fournisseur pour indiquer la présence des palettes dans le cas d'un système avec plusieurs transmetteurs et un dispositif de localisation (Figure 1.2) et dans le cas d'un système avec un transmetteur sur chaque palette ou marchandise et un dispositif de localisation par client (Figure 1.3)

Un modèle simplifié du système est montré à la Figure 3.10. Un code a été aussi développé en langage Arduino pour la communication entre un module transmetteur et un module récepteur. Cependant, ce n'est pas la seule méthode de programmation, il est aussi possible d'utiliser Raspberry Pi ou un microcontrôleur PIC ou Atmel. Pour une transmission de messages vers le récepteur, il faudrait utiliser la librairie ‘VirtualWire.h’ qui peut être téléchargée à partir du site internet AirSpyce [18].

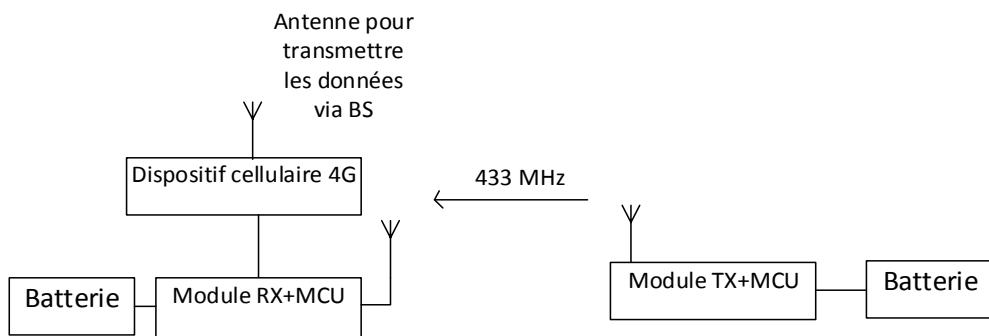


Figure 3.10: Diagramme simplifié de la détection de la présence des marchandises combinée avec la technologie cellulaire

Une fois que la librairie est téléchargée, pour faire fonctionner ce module avec l'ensemble montré sur la Figure 2.11 : modem, carte de développement et Arduino, il faudrait modifier le choix des broches. Les broches utilisées par le récepteur ne devraient pas interférer avec les broches 10, 11 et 12 car elles sont déjà utilisées dans le code Arduino par la carte de développement.

La partie du code modifiée dans le fichier VirtualWire.cpp de la librairie VirtualWire est :

```
// The digital IO pin number of the press to talk, enables the transmitter hardware
static uint8_t vw_ptt_pin = 5;
// The digital IO pin number of the receiver data
static uint8_t vw_rx_pin = 3;
// The digital IO pin number of the transmitter data
static uint8_t vw_tx_pin = 4;
```

où : `static uint8_t vw_rx_pin = 3` corresponds à la broche de réception de données

et `static uint8_t vw_tx_pin = 4` corresponds à la broche de transmission de données

Dans la librairie, les broches associées au récepteur pour la transmission et la réception de données étaient 12,11 et 10. Sur la carte elles correspondent aux broches d'entrée de contrôle de flux et de l'entrée du terminal de données du modem.

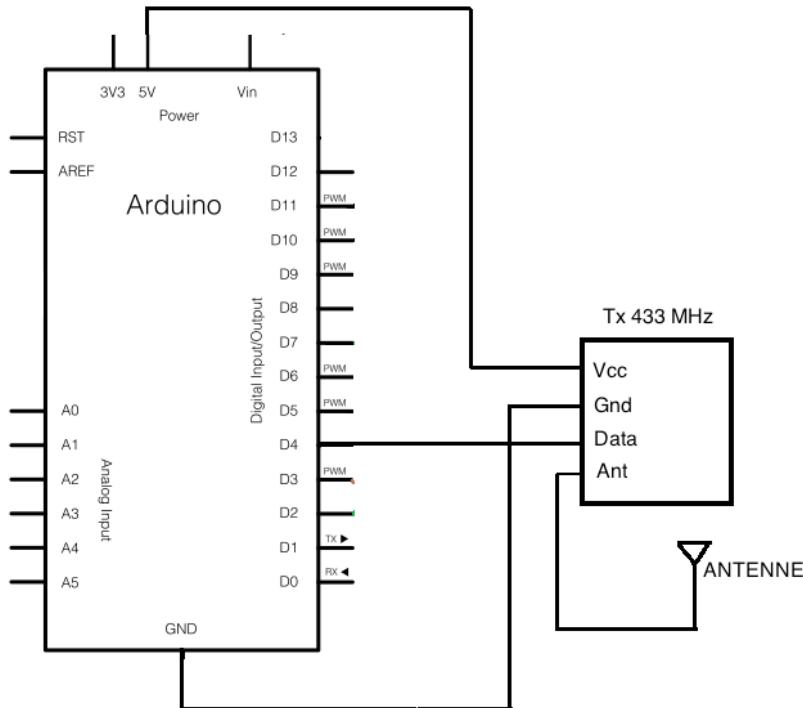


Figure 3.11: Diagramme de connexion de l'Arduino avec le module transmetteur de 433 MHz pour la transmission de signal vers le dispositif de localisation

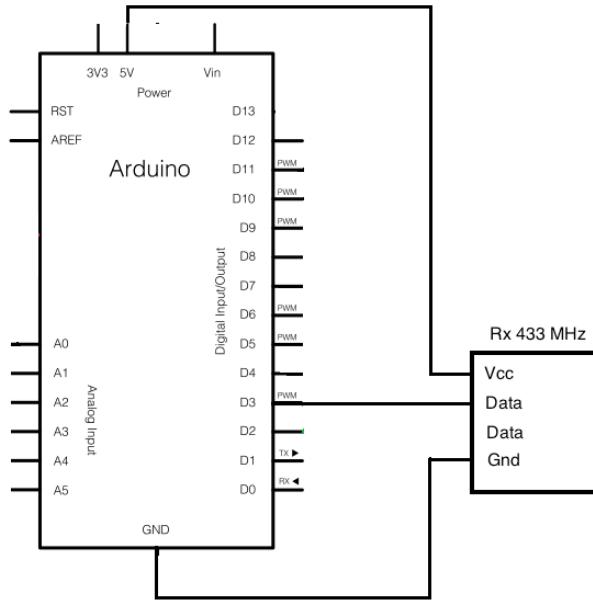


Figure 3.12: Diagramme de connexion de l’Arduino avec le module récepteur de 433 MHz

Donc, le transmetteur sera connecté à un microcontrôleur. Chaque palette comporte une combinaison transmetteur et microcontrôleur qui va transmettre un message périodiquement au récepteur pour indiquer sa présence. Par exemple, même s'il y a 10 palettes dans la remorque numérotées de 1 à 10, un seul récepteur ASK connecté au modem devrait être suffisant pour capter chacune.

Dans ce modèle, tous les transmetteurs ASK vont transmettre un signal périodiquement, mais pas au même moment pour ne pas interférer puisqu'ils utilisent tous la même fréquence pour indiquer leur présence. Le rythme auquel ils vont transmettre peut dépendre du nombre de palettes. Une période entre 3 et 15 secondes serait suffisante dépendamment du nombre de clients. Une seconde serrait suffisante entre la transmission d'un transmetteur et celle d'un autre. Cette technique se nomme accès multiple à répartition dans le temps (TDMA). S'ils transmettaient en même temps, le plus fort signal va l'emporter sur les autres et sera le seul reçu. Un seul récepteur va donc capter tous les signaux de chacune des palettes et constamment informer le modem. Si à un instant donné, il ne détecte plus un signal d'une palette parce qu'elle a été retirée du camion, le modem peut transmettre un message "PALETTE NO.X - NON DÉTECTÉE" (où X indique la palette concernée) ou rien au téléphone cellulaire. Ces informations indiquent que la palette n'est plus dans le camion. Le modem va capter ces informations à chaque itération et transmettre un

message sous forme de données ou par SMS pour informer le client si sa marchandise est encore dans le camion.

Puisqu'il y a des marchandises dans le camion, le signal du transmetteur ASK vers le récepteur ASK peut se propager par des multi trajets. La pire sorte de marchandises est d'avoir des canettes métalliques comme barrière entre le transmetteur et le récepteur lors du transport. Par exemple, dans un cas de canettes de Pepsi comme marchandise, le signal peut arriver jusqu'au récepteur à l'aide de réflexion sur les murs, le plafond ou le plancher de la remorque tel que montré sur la Figure 3.13 ci-dessous.

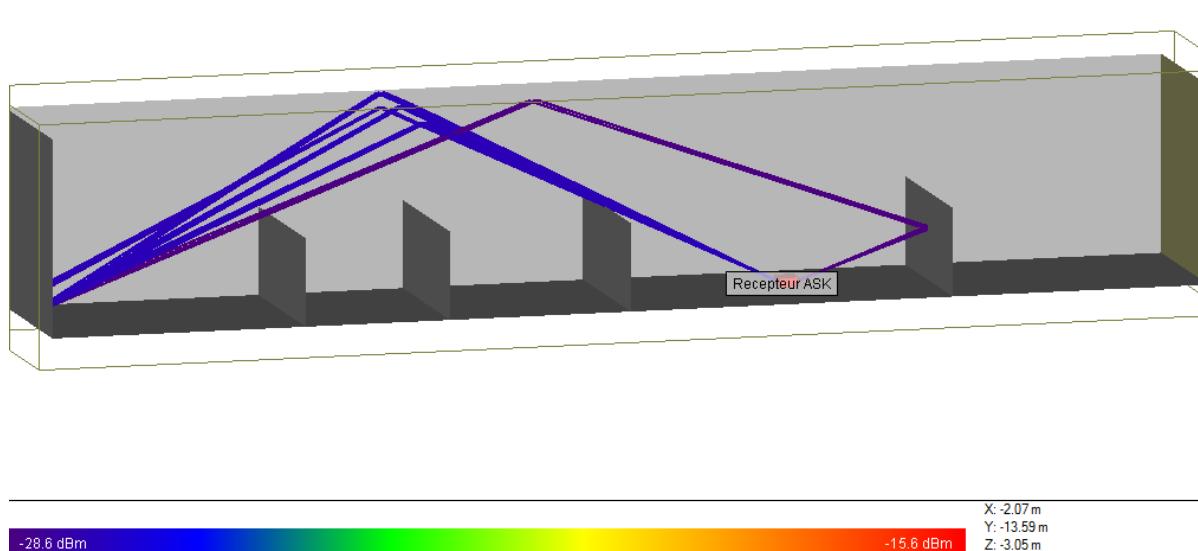


Figure 3.13: Simulation des chemins de propagation pour les modules transmetteur/récepteur ASK avec des murs métalliques (canettes de Pepsi) d'une hauteur de 1.2 m

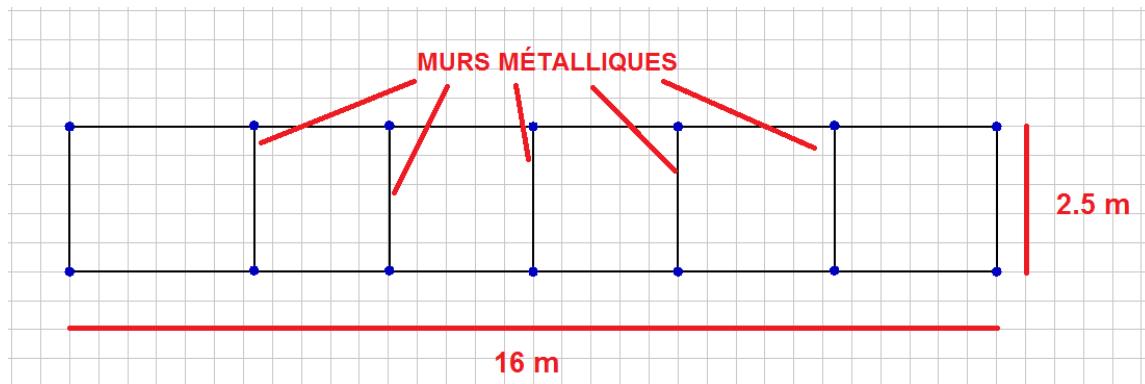


Figure 3.14: Plan de plancher pour représenter les murs métalliques

Pour la Figure 3.13, tous les côtés de la remorque sont en aluminium. Quatre murs métalliques hauts de 1.2m qui couvrent toute la largeur du camion ont été utilisés pour représenter un cas difficile de transmission lorsqu'il y a des marchandises métalliques et lorsque le transmetteur et le récepteur sont sur le plancher de la remorque. Selon la fiche technique, le transmetteur ASK peut transmettre jusqu'à 12 dBm. Pour la simulation avec le logiciel, la puissance de sortie de +10 dBm a été utilisée. Le transmetteur et le récepteur ont été représentés par une antenne linéaire monopole sur le logiciel Wireless Insite. On peut voir que la puissance sur le chemin de propagation qui arrive au récepteur est supérieur au seuil de réception du récepteur ASK même après la barrière. Il est d'environ -29.6 dBm comparativement au seuil de réception qui est de -105 dBm.

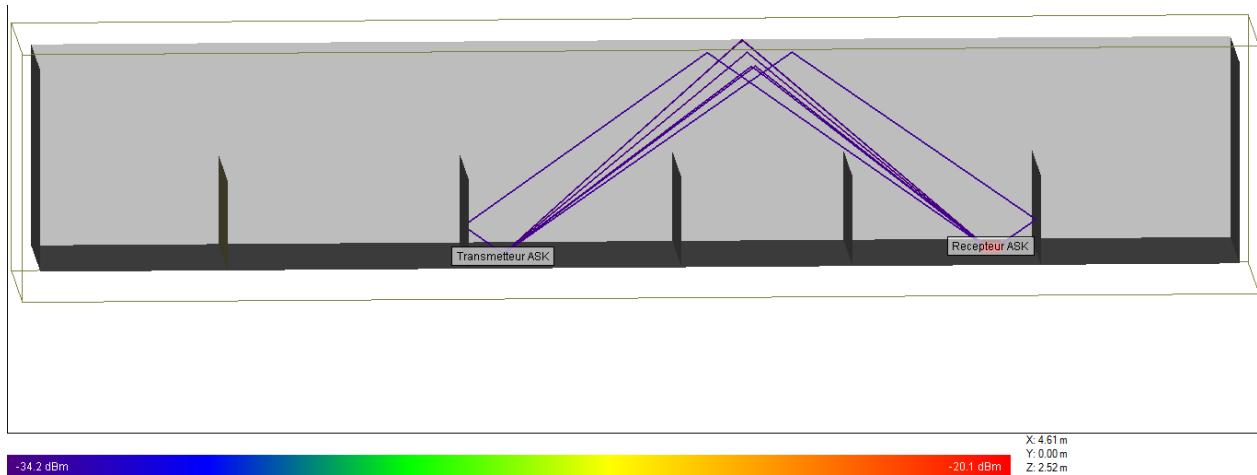


Figure 3.15: Simulation des chemins de propagation pour les modules transmetteur/récepteur ASK avec des murs métalliques d'une hauteur de 1.2 m

Sur la Figure 3.15, on peut voir un autre exemple. Si on déplace l'émetteur et le récepteur avec une hauteur des murs métalliques de 1.2 m la puissance de réception est de -34.2 dBm pour le récepteur ASK.

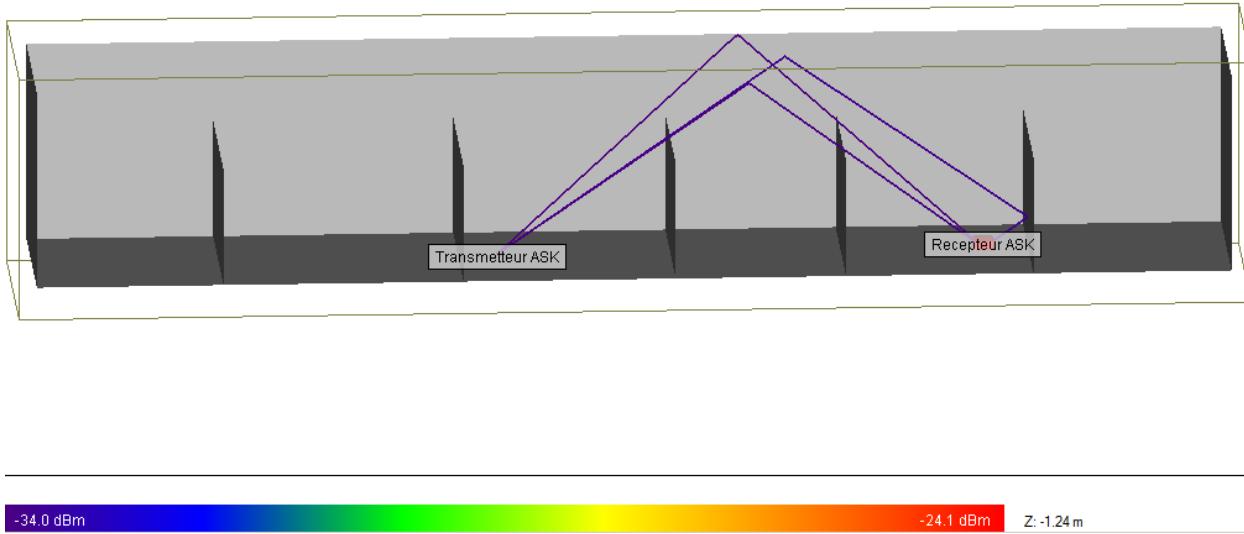


Figure 3.16: Simulation des chemins de propagation pour les modules transmetteur/récepteur ASK avec des murs métalliques d'une hauteur de 1.5 m

Sur la Figure 3.16, on peut voir que si la hauteur des murs est augmentée, il est quand même possible de recevoir le signal. Les chemins de propagation dépendant de la position des émetteurs et du récepteurs, de la hauteur et de la position des murs. Lors de transport, il est mieux de mettre le transmetteur et le récepteur le plus haut possible ou sur les palettes dans la remorque pour permettre une meilleure réception parce qu'il y a moins d'obstacles.

3.3 Modules nRF24L01

Les modules nRF24L01 ont un coût inférieur à 3\$ par module et une dimension de 15mmx29mm. Contrairement à la technologie ASK qui permet la communication seulement d'un transmetteur à un récepteur, nRF24L01 utilise la communication sans-fil GFSK (modulation par déplacement de fréquence) et elle est bidirectionnelle. Ils fonctionnent à la fréquence de 2.4 GHz. Sur la carte, le module comporte une antenne intégrée, cependant, il peut aussi être connecté avec une antenne noire omnidirectionnelle pour de meilleurs résultats de couverture. Avec cette antenne, il comporte une couverture jusqu'à 1000m dans un environnement extérieur et 20m dans un environnement intérieur. Il permet aussi un débit en bauds entre 250 kbs et 2MBps. Il existe quelques versions de modules nRF24L01. Une version comporte une antenne intégrée sur son circuit comme sur la Figure 3.17 b) et l'autre version montrée sur la Figure 3.17 a) nécessite une antenne externe qui est l'antenne noire et son circuit comporte un amplificateur pour la transmission de signal et un amplificateur faible bruit pour la réception. La couverture du module

nRF24L01 avec l'antenne intégrée est entre 10m et 30m dans un environnement intérieur et de 250m dans un environnement en plein air.



Figure 3.17: Module nRF24L01 a) version avec l'antenne externe b) version avec une antenne intégrée sur la carte

Chaque canal peut contenir jusqu'à 6 adresses et chaque unité peut communiquer jusqu'à 6 autres unités en même temps. Cela serait suffisant car dans la majorité des cas il y a des palettes de 3 ou 4 clients dans le camion. La consommation de courant est de 12 mA et la tension d'opération est entre 1.9 et 3.6 V. Les autres broches tolèrent une tension de 5V ce qui permet de faire une connexion avec un Arduino, un microcontrôleur PIC ou Atmel. La sensibilité du dispositif est de -104 dBm. La puissance maximale de transmission à la sortie pour le module avec l'antenne intégré est de 0 dBm. [19]

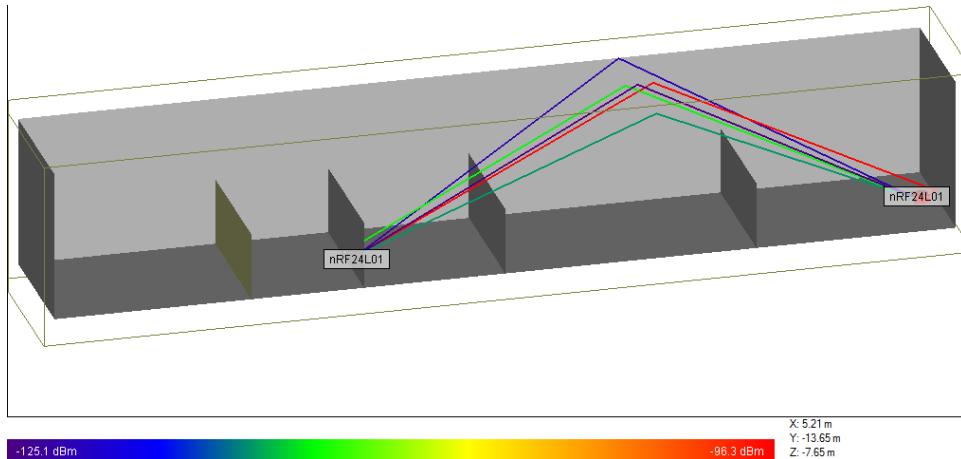


Figure 3.18: Simulation des chemins de propagation avec des modules nRF24L01 et des murs métalliques d'une hauteur de 1.5 m à l'intérieur du camion

Comparativement à la fréquence de 433 MHz avec les modules transmetteurs et récepteurs ASK, dans le cas lorsque les modules nRF24L01 sont sur le sol et qu'il y a des murs métalliques entre eux, une transmission sur la fréquence de 2.45 MHz comporte une puissance de réception plus faible. Les pertes et l'atténuation sont plus importantes. Cependant, tel qu'on peut le voir sur

l'image, le signal peut aussi être rejoint même lorsque le transmetteur et le récepteur sont séparés par un mur métallique. Sur l'image certains signaux arrivent au module de réception avec une puissance de -96.3 dBm. Cela est supérieur au seuil de sensibilité du module nRF24L01 qui est de -104 dBm.

3.4 Résumé du chapitre et méthodologie pour les tests

En résumé, ce chapitre a présenté quelques technologies qui pourraient être utilisées pour détecter la présence des palettes à l'intérieur de la remorque durant le transport et envoyer ces informations à un dispositif de localisation. Ces technologies sont : premièrement, RFID, deuxièmement, transmetteur/récepteur ASK de 433 MHz et troisièmement, module nRF24L01. Il existe quelques systèmes de technologies RFID avec différentes caractéristiques. Pour la technologie ASK et les modules nRF24L01, la simulation avec le logiciel Wireless Insite montre que le signal transmis par les modules peut être reçu même lorsqu'il y a des murs métalliques entre eux. Les résultats expérimentaux de ces technologies en combinaison avec le modem sont présentés dans la section 5.2.5.

CHAPITRE 4 BILAN DE LIAISON POUR FIN DE LOCALISATION

Les hypothèses initiales pour la conception d'un module électronique étaient que :

1. La position idéale du système de localisation dans la remorque n'est pas connue d'avance car le camion est mobile. Donc, le système doit fonctionner peu importe de l'endroit de la remorque où il est situé.
2. Il faudra amplifier le signal à une fréquence correspondant à celle qui est utilisée par une station de base. Il faudrait ajuster le gain de l'antenne pour que le signal soit reçu par la station de base et de la station de base.

Pour compenser la faiblesse du signal supposée initialement, ce chapitre présente un modèle qui permet d'améliorer la sensibilité de réception et d'amplifier le signal transmis.

4.1 Phénomènes qui affectent la transmission et la réception de signal

Lors de la communication radio, les signaux reçus sont différents des signaux transmis. Cela est dû aux phénomènes qui affectent la transmission et la réception ; l'atténuation, l'affaiblissement en espace libre, le bruit, l'absorption atmosphérique, les multi-trajets et la réfraction.

Lors de la propagation en espace libre, le signal se propage sans obstructions et la force du signal diminue en fonction de la distance et de la fréquence. Une formule populaire pour calculer la puissance reçue en espace libre est la formule de Friis :

Le modèle de propagation en espace libre en décibels

$$P_{RX}(d) = P_{TX} + G_{TX} + G_{RX} + 20\log\left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right) \quad (4.1)$$

P_{TX} = Puissance transmise en watts

P_{RX} = Puissance reçue en watts

G_{TX} = Gain linéaire de l'antenne d'émission

G_{RX} = Gain linéaire de l'antenne de réception

L'atténuation dans l'espace libre est équivalente à:

$$L_{el}(d) \text{ en dB} = 32.45 + 20 \log(f \text{ en MHz}) + 20 \log(d \text{ en Km}) \quad (4.2)$$

Dans la propagation à l'intérieur et à l'extérieur de la remorque, il y a plus d'un chemin disponible pour la propagation radio. Dans ce cas, le signal cellulaire se propage par plusieurs chemins à cause de la présence de trois mécanismes de propagation de signaux à multi-trajets: la réflexion, la diffraction et la dispersion. Chacun de ces phénomènes cause des distorsions, de l'atténuation et des pertes additionnelles de signal.

Le phénomène de réflexion, de diffraction et de dispersion donne lieu à des trajets de propagation radio supplémentaires au-delà de la ligne de visée (LOS) entre l'émetteur radio et le récepteur.

La réflexion se produit lorsqu'une onde électromagnétique empiète sur un objet qui a de très grandes dimensions par rapport à la longueur d'onde du signal qui se propage. Elle se produit surtout à la surface de la terre, des bâtiments et des murs. De plus, non seulement les matériaux métalliques provoquent des réflexions, mais les diélectriques provoquent également des réflexions.

La diffraction se produit lorsque le trajet radio entre l'émetteur et le récepteur est obstrué par une surface présentant des irrégularités (arêtes) par exemple, un objet à bords tranchants. Les ondes secondaires résultant de la surface obstructive sont présentes dans tout l'espace et même derrière l'obstacle, provoquant une flexion des vagues autour de l'obstacle, même lorsqu'aucun trajet en visibilité directe n'existe pas entre l'émetteur et le récepteur. Aux hautes fréquences, la diffraction, comme la réflexion, dépend de la géométrie de l'objet, ainsi que de l'amplitude, de la phase et de la polarisation de l'onde incidente au point de diffraction.

La dispersion ou diffusion se produit lorsque le milieu par lequel le signal se déplace se compose d'objets dont les dimensions sont petites par rapport à sa longueur d'onde, et où le nombre d'obstacles par unité de volume est important. Les ondes éparses sont produites par des surfaces rugueuses, de petits objets ou par d'autres irrégularités dans le canal.

4.2 Propagation et calculs de puissance

Pour calculer la puissance reçue par le dispositif de localisation, l'équation de Friis ne peut pas être utilisée parce que le milieu comporte des obstructions. Ces obstructions créent une présence de multi-trajets Pour tenir compte des multi-trajets lors de la propagation cellulaire, il existe des modèles empiriques qui permettent de prédire l'atténuation de parcours en lien montant et descendant du rayon de la cellule telles que Okmura, Hata, COST 231 et d'autres. Ces modèles empiriques pourraient être utilisés pour modéliser le signal reçu de la station de base, mais ils sont valides seulement à l'extérieur du camion, de la station de base jusqu'à la remorque. Dans la section 2.2.2, cela correspond à Sn.

4.2.1 Modèle de Hata

Parmi ces méthodes, la plus utilisée est la méthode Hata. Les restrictions pour ce modèle sont d'utiliser les distances entre 1km et 20 km, les fréquences entre 150 et 1000 MHz, une hauteur de station de base entre 30m et 200m et une hauteur de la station mobile entre 1 et 10m. [20]

$$L(\text{dB}) = 69.55 + 26.16 \log(f_c) - 13.82 \log(h_b) + [44.9 - 6.55 \log(h_b)] \log(d) - a(h_m) \quad (4.3)$$

$$a(h_m) = \begin{cases} [1.1 \log(f_c) - 0.7]h_m - [1.56 \log(f_c) - 0.8] & \text{pour les villes moyennes et petites} \\ 8.29[\log(1.54h_m)]^2 - 1.1 & \text{pour les grandes villes et } f_c < 200 \text{ MHz} \\ 3.2[\log(11.75h_m)]^2 - 4.97 & \text{pour les grandes villes et } f_c > 400 \text{ MHz} \end{cases} \quad (4.4)$$

$$a(h_m) = [1.1 \log(f_c) - 0.7]h_m - [1.56 \log(f_c) - 0.8] + K \quad (4.5)$$

+ K pour les banlieues ou les zones rurales

$$K = \begin{cases} 2 \left[\log\left(\frac{f_c}{28}\right) \right]^2 + 5.4 & \text{pour les banlieues} \\ 4.78[\log(f_c)]^2 - 18.3 \log(f_c) + 40.94 & \text{pour les zones rurales} \end{cases} \quad (4.6)$$

f_c = fréquence porteuse en MHZ (valide entre 150 et 1000 MHz)

h_b = hauteur de la station de base(valide entre 30 et 200m)

h_m = hauteur de station mobile(valide entre 1 et 10m)

r = rayon du site(valide entre 1 et 20m)

4.2.2 Modèle du COST 231

Cependant, comme la limite est de 1000 MHz pour le modèle de Hata, pour calculer l'atténuation supérieure jusqu'à 2000 MHz, il est possible d'utiliser la formule COST 231. Le modèle COST 231 est valide pour les fréquences dans la borne entre 1500 et 2000MHz.

Les restrictions pour ce modèle sont :

-Fréquence entre 1500 et 2000 MHz

-Hauteur de la station de base entre 30 et 200 m

-Hauteur de la station mobile entre 1 et 10m

-Distance entre la station de base et la station mobile entre 1 et 20 km

$$L = 46.3 + 33.9 \log(f) - 13.82 \log(h_b) - a(h_m, f) + C + [44.9 - 6.55 \log h_B] \log(d) \quad (4.7)$$

Pour les zones rurales et de banlieue :

$$a(h_m, f) = 0.8 + (1.1 \log(f) - 0.7)h_m - 1.56 \log(f) \quad (4.8)$$

$$C = \begin{cases} 0 \text{ dB pour les villes moyennes et les zones de banlieu} \\ 3 \text{ dB zones métropolitaines} \end{cases} \quad (4.9)$$

4.3 Caractéristique des stations de base

Les tours cellulaires transmettent autour de 10 W dépendamment des technologies utilisées (2G, 3G ou 4G). Certains fournisseurs de services utilisent plus de puissance de transmission et moins de tours cellulaires dépendamment de l'environnement (rural, urbain, etc...). La puissance de transmission maximale pour une tour cellulaire est entre 43 à 48 dB typiquement et la sensibilité est de -123.4 dBm. [21]

Le gain d'une tour cellulaire peut varier dépendamment du fabricant et du lieu où elle doit être placée. Généralement, il se situe entre 3 et 16 dB. Les antennes de gain élevée ne sont pas utilisées elles interfèrent avec les cellules adjacentes à l'exception de quelques cas spéciaux. La hauteur d'une tour cellulaire peut varier de 60m à 120m typiquement. De plus, la majorité des stations de base sont omnidirectionnelles pour permettre aux stations mobiles de communiquer avec eux de toutes les directions.

4.4 Comparaison de la fréquence sur la bande 4 avec celle sur la bande 17

4.4.1 Comparaison de l'atténuation sur les 2 bandes

Puisque les obstructions varient dépendamment du terrain et puisque la hauteur, le gain et la puissance de transmission des stations sont aussi variables, les réponses des calculs de l'atténuation à partir des modèles empiriques comportent de grandes incertitudes.

4.4.2 Bilan linéaire de la station de base au dispositif cellulaire

Considérant que le dispositif se trouve dans une grande ville, que l'éloignement avec une station de base haute de 80m est de 1km et qu'il y a une communication sur la bande 17 (700 MHz). À l'aide de la formule de Hata, nous obtenons une atténuation $L(\text{dB})$ égale à 117.24 dB.

De plus, en considérant que :

$$P_{\text{TX}}(\text{tour cellulaire}) = 10 \text{ W} = 40 \text{ dBm}$$

$$G_{\text{TX}}(\text{tour cellulaire}) = 9 \text{ dBi}$$

$$G_{\text{RX}}(\text{antenne standard octa – bande du dispositif cellulaire}) = 0 \text{ dBi}$$

(un gain de 0 dBi a été utilisé pour simplifier le calcul, cependant en réalité, il peut monter jusqu'à 9.16 dBi pour la bande de 700 Mhz et jusqu'à 5 dBi pour la bande de 1700 MHz. Ce gain est défini par les normes FCC et il dépend de la fréquence, de la polarisation et de l'orientation de l'antenne)

Cela implique :

$$P_{RX}(\text{dispositif cellulaire en dBm}) = P_{TX} + G_{TX} - L + G_{RX} = -68.24 \text{ dBm} \quad (4.10)$$

En considérant qu'il y a aussi des pertes entre 5 et 12 dB ($P_{C1} = 5 \text{ dB}$ et $P_{C2} = 12 \text{ dB}$) causées par le passage à travers camion réfrigéré (tel que déterminé par les tests expérimentaux expliqués dans la section 5.2.1) :

$$P_{RX}(\text{dispositif cellulaire}) = P_{TX} + G_{TX} - L + G_{RX} - P_{C1,2} \quad (4.11)$$

À l'aide de l'équation (4.11), nous obtenons une puissance de réception entre -73.24 dBm et -80.24 dBm. La sensibilité du cellulaire devrait être inférieure à $P_{RX}(\text{dispositif cellulaire en dB})$ pour que le dispositif puisse être détecté. Cette formule montre qu'il est possible de recevoir le signal car la sensibilité du modem est de -102.5 dBm sur la bande 4 et de -101.5 dBm sur la bande 17 tel que montré dans la fiche technique pour LE910 [22]. LE910 est un module qui est utilisé dans le modem. Il reste donc une marge entre 29.26 dB et 21.26 dB jusqu'à la non réception du signal. En comparant avec le Tableau 2.2, cette puissance du signal de l'antenne se situe dans la catégorie de signal 'excellent'.

4.4.3 Bilan linéaire du dispositif de localisation cellulaire à la station de base

En considérant que :

$$P_{TX}(\text{dispositif cellulaire}) = 23 \text{ dBm}$$

$G_{TX}(\text{dispositif cellulaire}) = 0 \text{ dBi}$ (Concernant ce gain, même remarque que celle faite pour G_{RX} (antenne standard octa-bande du dispositif cellulaire) dans la section 4.4.2)

$$G_{RX}(\text{tour cellulaire}) = 9 \text{ dBi}$$

En utilisant une distance $d = 1\text{km}$, une fréquence sur la bande LTE 17 (environ 700 MHz) et en utilisant les mêmes caractéristiques de hauteur pour la station de base et le dispositif cellulaire,

l'atténuation $L(\text{dB})$ reste à 117.24 dB comme dans le calcul linéaire de la station de base au dispositif cellulaire. La puissance reçue, en utilisant l'équation 4.10, est $P_{\text{RX}}(\text{BS}) = -85.24 \text{ dBm}$

Pour tenir compte de l'effet du passage du signal à travers la remorque réfrigérée, nous pouvons utiliser l'équation 4.11. Dans ce cas, nous obtenons une puissance de réception pour la station de base entre -90.24 dBm et 97.24 dBm. Pour que le signal soit reçu par la station de base, il doit être au-dessus de la sensibilité de la station de base. En utilisant la sensibilité de -106.5 dBm pour la BS, cela impliquerait que le signal serait reçu.

4.4.4 Comparaison de signal lors du passage à travers les fentes de la remorque

Une règle générale utilisée pour la cage de Faraday permet de calculer la grosseur de trous requis pour bloquer la transmission de signal [23]. Pour prévenir la transmission à travers un trou, la grosseur d'une de ses dimensions ou de la diagonale ne doit pas dépasser 1/10 de la longueur d'onde du signal. Pour cette raison, lorsqu'on transmet des signaux avec la même puissance et une même antenne, ce sont les fréquences plus hautes qui nécessitent de trous plus petits (fentes) pour être bloquées comparativement aux fréquences plus basses.

$$\text{Grosseur de la fente pour bloquer la transmission} = \frac{\lambda_x}{10} = \frac{c}{f_x} \times \frac{1}{10} \quad (4.12)$$

Où c correspond à la vitesse de la lumière, $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$

En utilisant l'équation 4.12, nous trouvons que pour la fréquence de 700 MHz (bande 17), nous avons besoin de fentes comportant une de ses dimensions ou diagonale plus large que 4.2847 cm. Celles qui comportent, leur plus large dimension, plus petite ne laisseront pas les signaux passer. Tandis que pour la fréquence de 1.7 GHz (bande 4), nous avons besoin de fentes comportant une de ses dimensions ou diagonale plus large que 1.7642 cm

L'avantage de la fréquence de 1700 MHz (bande 4) comparativement à la fréquence de 700 MHz (bande 17) est que sa longueur d'onde est plus petite. Comme elle est plus petite, son signal peut passer plus facilement à travers des fentes et il y a moins de bocage lors du passage à travers la remorque. La dimension la plus large de la fente requise pour la fréquence de 1700 MHz est plus que deux fois plus petite que celle de la fréquence de 700MHz. Donc, d'avantage de signaux à la

fréquence de 1700 MHz passeront à travers la remorque. Cependant, tel que montré lors du calcul de l'atténuation pour les deux fréquences, les fréquences plus basses sont moins atténuées. En conséquent, elles ont plus de facilité à passer à travers les matériaux non métalliques (palettes). Lorsque le signal se propage vers un mur en aluminium ou métallique, les signaux des 2 fréquences seront réfléchies et ne passeront pas à travers cette structure métallique par un chemin LOS. Les signaux pourront passer seulement à travers des fentes (trous) dans la remorque. Lors d'une transmission de signaux avec la même puissance et une même antenne, le signal de 700 MHz est meilleur que celui de 1700 MHz à cause d'une plus grande couverture. Dans certaines situations exceptionnelles lorsque le signal de 700 MHz ne peut être rejoint à l'extérieur de la remorque même après une amplification, il est possible que le signal de 1700 MHz passe quand même car ce signal est plus flexible lorsqu'il s'agit de passer à travers des fentes. Il est moins bloqué par le passage à travers les petites dimensions de fentes.

4.5 Circuit d'amélioration de la sensibilité du dispositif

Un protocole et un circuit d'amplification pour améliorer la sensibilité du dispositif ont été élaborés. Pour le circuit d'amplification, l'idée est d'utiliser deux commutateurs RF ‘1 entrée, 2 choix de sortie’ et un amplificateur faible bruit (LNA). En réception, les deux commutateurs seront configurés pour que le signal provenant qui passe par l'amplificateur faible bruit soit amplifié. Cela permet d'améliorer la sensibilité du dispositif cellulaire. Tandis que dans le mode transmission, les deux commutateurs sont configurés pour transmettre le signal directement sans le faire passer par un amplificateur. La décision ne pas amplifier le chemin de réception a été prise pour ne pas dépasser la limite maximale permise par la Commission fédérale des communications (FCC) pour les stations mobiles (MS). Le dispositif cellulaire transmet déjà à la puissance maximale permise car elle est de 23 dBm [24].

Une autre façon de réaliser ce circuit aurait été d'utiliser un coupleur, circulateur, ou duplexeur. Puisqu'il n'est pas nécessaire d'avoir une communication en mode duplex, la décision d'utiliser des commutateurs HMC221B a été prise. Pour l'amplification du signal reçu, un amplificateur faible bruit ZX60-P162LN+ a été utilisé. Il comporte une bande de couverture de 0.7 à 1.6 GHz et un gain à la fréquence de 700 MHz égal à 24.1 dB. Pendant les tests expérimentaux, la puissance qui est reçue dans la remorque était presque tout le temps plus faible que -48 dBm. Ainsi, à cause de cette faible puissance reçue, même un grand gain d'amplification du signal en

réception ne causerait donc pas de dommage. Les modems sont conçus pour supporter le signal qui provient de la station de base même seulement à quelques mètres d'elle. L'étage d'entrée est conçu pour supporter des signaux ayant une puissance élevée.

Le modem TNAG-B, en plus de la technologie LTE, fonctionne avec les normes UMTS, HSPA et GSM. Puisque cet amplificateur faible bruit fonctionne dans la bande de 0.7 à 1.6 GHz, Il peut être utilisé pour amplifier les fréquences de;

- la bande 17 (700 MHz) pour LTE,
- la bande 5 (850 MHz) pour UMTS/HSPA
- la bande GSM pour les fréquences de 850 MHz

4.5.1 Circuit d'amplification en mode ‘réception de signal’

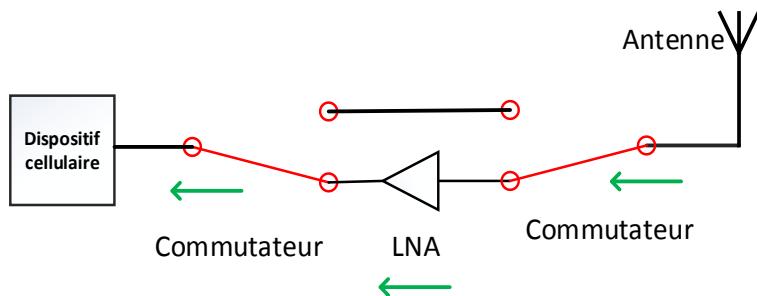


Figure 4.1: Diagramme basique du circuit en mode réception

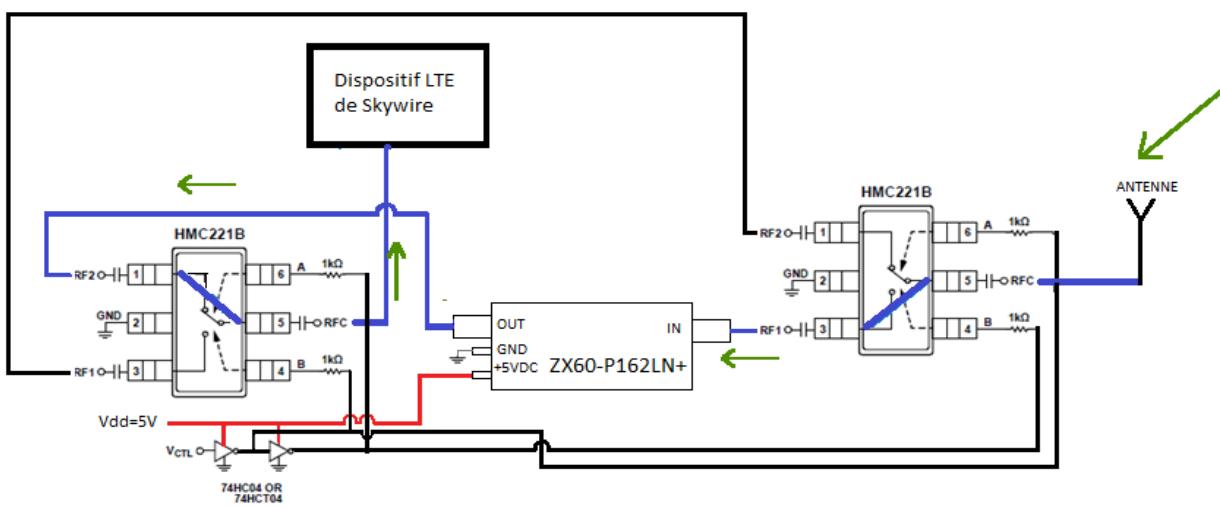


Figure 4.2: Diagramme du circuit en mode réception

Dans ce cas, le signal passe de l'antenne vers le dispositif cellulaire. Il est utilisé tout le temps durant le fonctionnement du dispositif cellulaire à l'exception du temps qui est pris pour la transmission d'un message. Vctl est une tension qui peut être contrôlé par une broche de l'Arduino. Dans le cas de réception, elle correspond à Vctl=5 V, Cela implique que A= HAUT (HIGH) et B = BAS (LOW) du commutateur de gauche et que A= BAS et B = HAUT du commutateur de droite.

Amplificateur faible bruit = ZX60-P162LN+ (Gain = 20.9 dB).

Commutateur RF choisi = HMC221B

4.5.2 Circuit d'amplification en mode ‘transmission de signal’

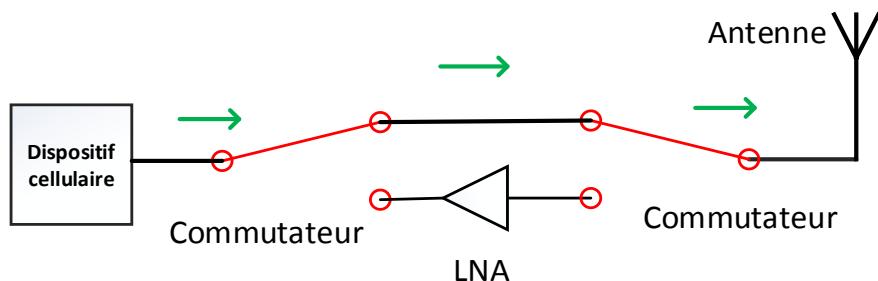


Figure 4.3: Diagramme basique du circuit en mode d'émission

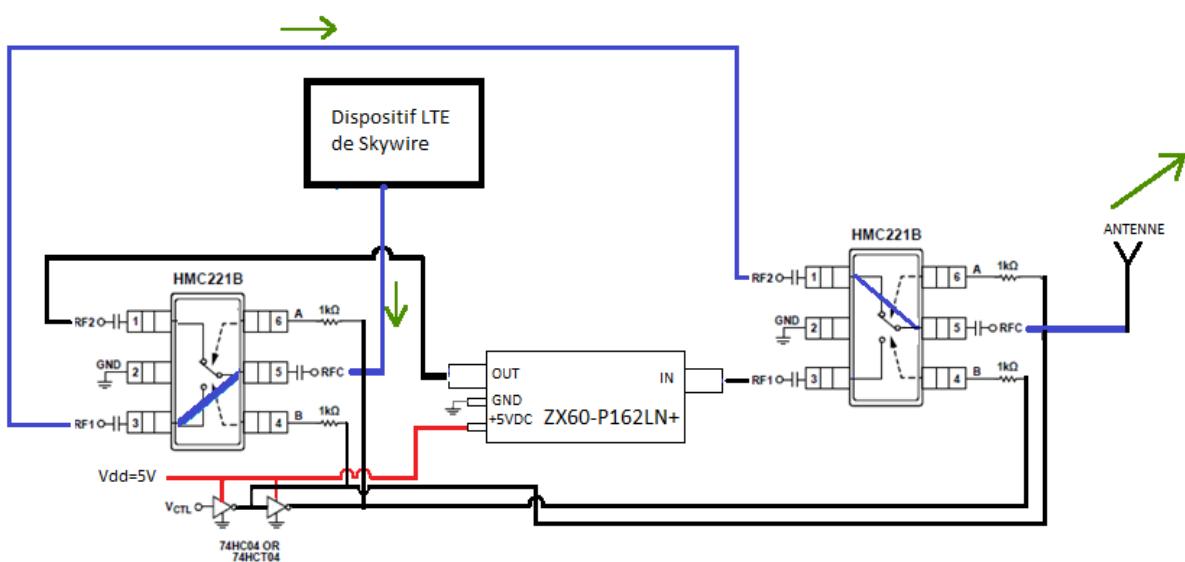


Figure 4.4: Diagramme du circuit en mode d'émission

Dans ce cas, le signal passe du dispositif cellulaire vers l'antenne et il est utilisé lorsqu'il y a une transmission d'un message. ($V_{ctrl}=0V$). La sortie OUT et l'entrée IN de l'amplificateur faible bruit ne sont pas connectées avec les commutateurs à cause du chemin des signaux dans les commutateurs contrôlés par les tensions A et B. $V_{ctrl}=0V$ implique que A=BAS et B = HAUT du commutateur de gauche et que A=HAUT et B = BAS du commutateur de droite.

4.5.3 Circuit de contrôle des sorties pour les commutateurs RF

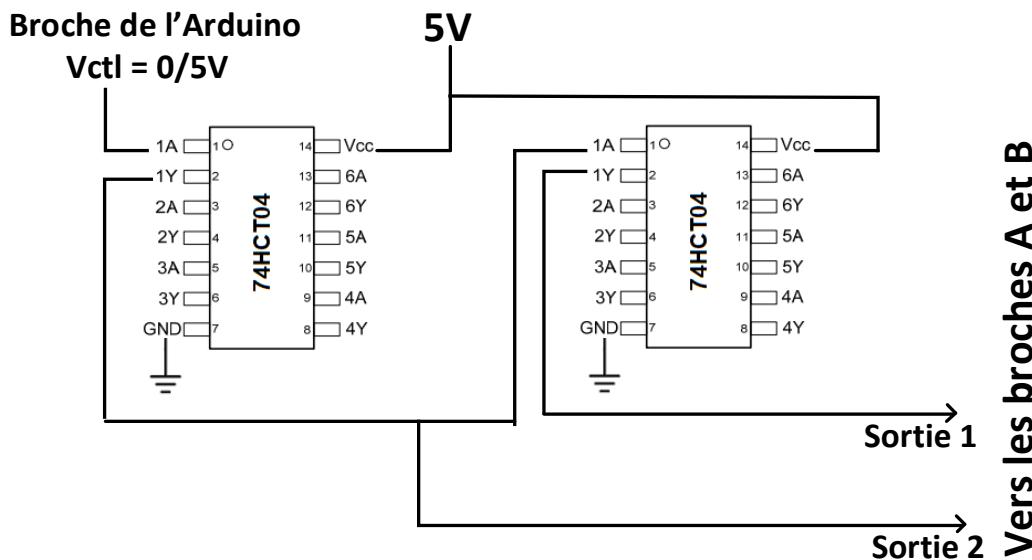


Figure 4.5: Circuit utilisé pour le contrôle des broches A et B (de la Figure 4.4) de chacun des commutateurs avec les puces 74HCT04

En ce qui concerne le commutateur de gauche, la sortie 2 correspondra à la broche A et la sortie 1 correspondra à la broche B. Pour le commutateur de droite, c'est l'inverse.

4.5.4 Protocole pour l'amplification

Cette section présente le protocole qui est utilisé dans le code Arduino pour gérer les tensions sur les broches A et B. Ces tensions permettent de choisir le chemin du signal dans le circuit et placer le circuit dans le mode de transmission ou d'émission. Les messages SMS sont toujours transmis dans le mode d'émission du circuit.

Protocole implémenté dans le code Arduino à l'intérieur de la boucle ‘loop’ :

- 0-Déclaration des variables
- 1-Commande de localisation
- 2-Lire et enregistrer la réponse de la commande dans une variable “ message ”
- 3-Vctl=0V ---Mettre la broche associée à Vctl sur le mode HAUT (HIGH) pour le passage en mode transmission
- 4-Délai de quelques ms
- 5-Commande et procédure de transmission de message
- 6-Délai de quelques ms
- 7-Vctl=5V ---Mettre la broche associée à Vctl sur le mode BAS (LOW) pour le passage en mode réception
- 8-Délai de 30000 millisecondes (qui correspond à 30 secondes)
- 9-Retour à l’étape 0

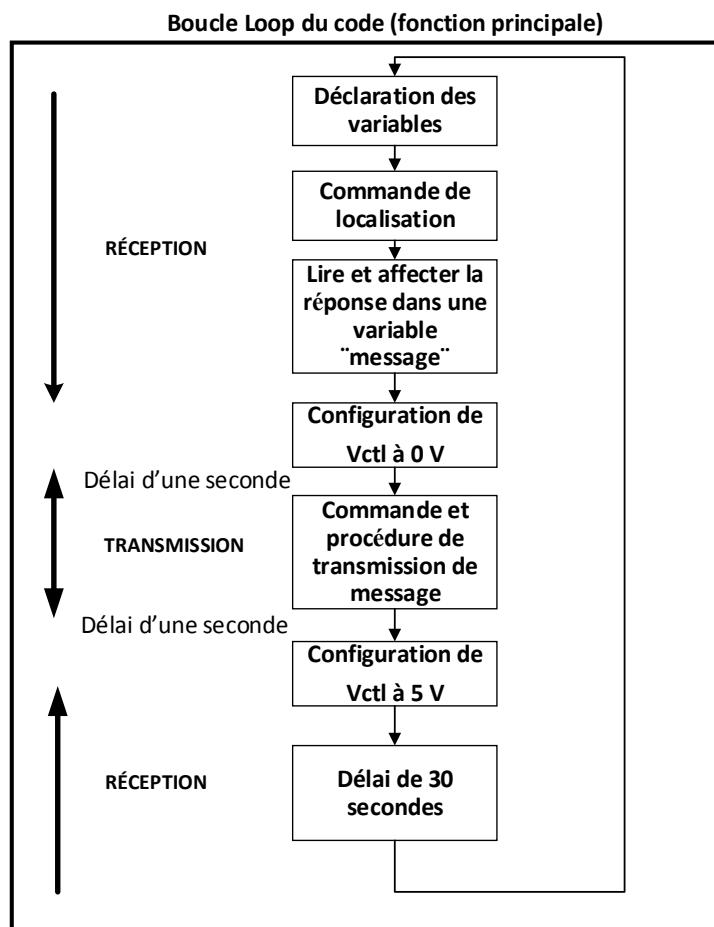


Figure 4.6: Diagramme de la boucle ‘loop’ du code Arduino utilisé pour le test de localisation

4.5.5 Conception des commutateurs RF

Pour le test d'amplification, des schémas de commutateurs ont été conçus à l'aide du logiciel ADS. Ces schémas sont nécessaires pour la fabrication des circuits par les techniciens.

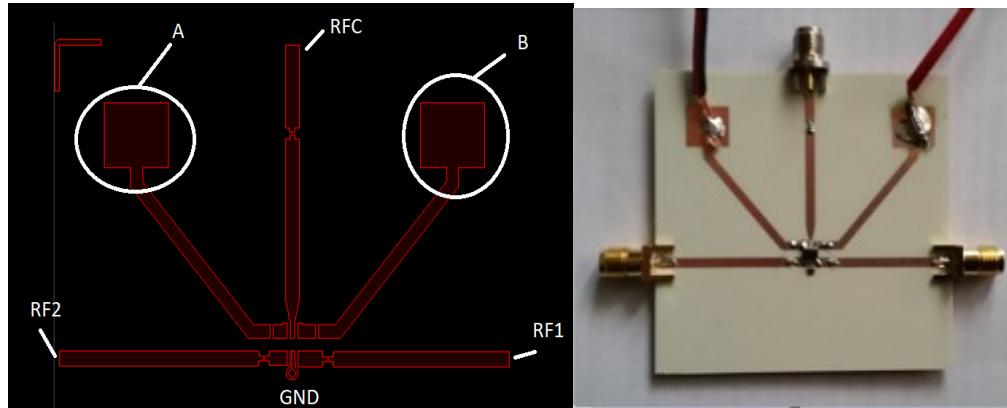


Figure 4.7: Circuit pour le commutateur : a) diagramme ADS b) circuit imprimé

Tableau 4.1: Tensions de contrôle de l'entrée en fonction de l'état du chemin du signal

Tension de contrôle de l'entrée		État du chemin du signal	
A (V dc)	B (V dc)	RFC à RF1	RFC à RF2
Bas	Haut	Allumé	Éteint
Haut	Bas	Éteint	Allumé

Tableau 4.2: Liste du matériel utilisé pour la conception du commutateur

Pièce	Description
J1 à J3	Connecteurs SMA femelle
C1 à C3	Capacitance de 330 pF, emballage 0402
R1, R2	Résistances de $1k\Omega$, emballage 0402
Substrat	Rogers 4350
HMC221B	Commutateur RF

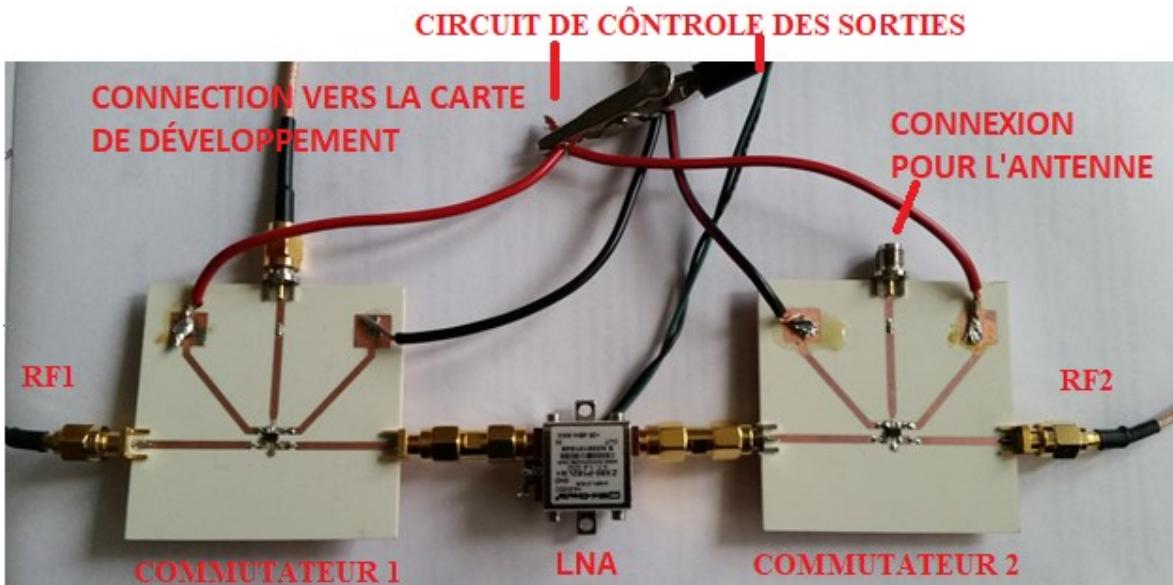


Figure 4.8: Circuit d'amplification

La Figure 4.8 est une représentation physique du diagramme théorique du circuit d'amplification de la Figure 4.2 et 4.3. RF2 et RF1 sont connectés ensemble à l'aide d'un câble comportant deux connecteurs SMA aux bouts.

Une fois que les commutateurs ont été fabriqués, ils ont tout d'abord été testés seul avant de les tester en combinaison. Les résultats des paramètres S obtenus ont confirmé la fiche technique. Ensuite, ils ont été testés en combinaison avec (Figure 2.11) le modem, la carte Arduino, la carte de développement, le code développé et deux câbles SMA à SMA male à male. Le système et le signal ont été testés. Une amplification du signal a été notée à l'aide des commandes AT de la puissance du signal de l'antenne (en réception). Cependant, lors du test en mouvement tel que présenté dans la section 5.2 de ce mémoire, ce circuit n'a pas été utilisé car le signal provenant de la station de base dans le camion réfrigéré a été suffisamment fort. Puisqu'il faut réservé pour obtenir les camions et que le chauffeur doit être disponible, il n'est pas facile d'avoir toujours accès pour les tests. Pour cette raison, le circuit a été préparé d'avance. Comme le signal était suffisamment fort dans la remorque, il n'a pas été utilisé pour les tests présentés dans le CHAPITRE 5. Cependant, il pourrait servir pour des tests futurs car il y a des régions de signal cellulaire faible dans lesquelles le camion se déplace tel qu'au nord du Canada. Ce circuit d'amplification pourrait servir pour ce cas et améliorer le seuil de sensibilité.

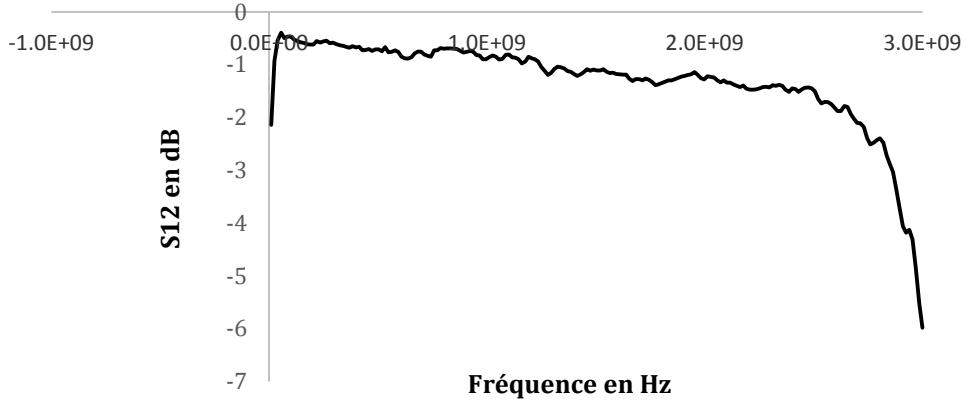


Figure 4.9: Coefficient de transmission S_{12} mesurée sur l'analyseur de réseau

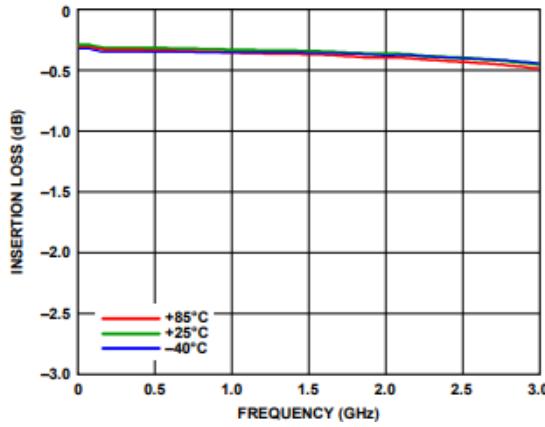


Figure 4.10: Perte d'insertion (*Insertion loss*) théorique

Les tests ont sur les commutateurs fabriqués ont été faits sur un Analyseur de réseau. Il est possible de comparer le coefficient de transmission S_{12} avec la perte d'insertion (*Insertion loss*) et le coefficient de réflexion S_{11} avec la perte de retour (*Return loss*). Tel qu'on peut observer sur les Figures 4.9 à 4.12, les résultats expérimentaux sont similaires aux résultats théoriques trouvés dans la fiche technique du commutateur [25]. Pour les fréquences de communications utilisées par le modem, tel qu'on peut observer sur les Figures 4.9 et 4.10, la perte d'insertion est inférieure à 1 dB. Selon la formule 4.13, la puissance de sortie (P_{OUT}) est inférieure à la puissance d'entrée (P_{IN}) d'une valeur de perte d'insertion (IL) déterminée par le graphique pour une bande de communication.

$$P_{\text{OUT}}(\text{dBm}) = P_{\text{IN}}(\text{dBm}) - IL(\text{dB}) \quad (4.13)$$

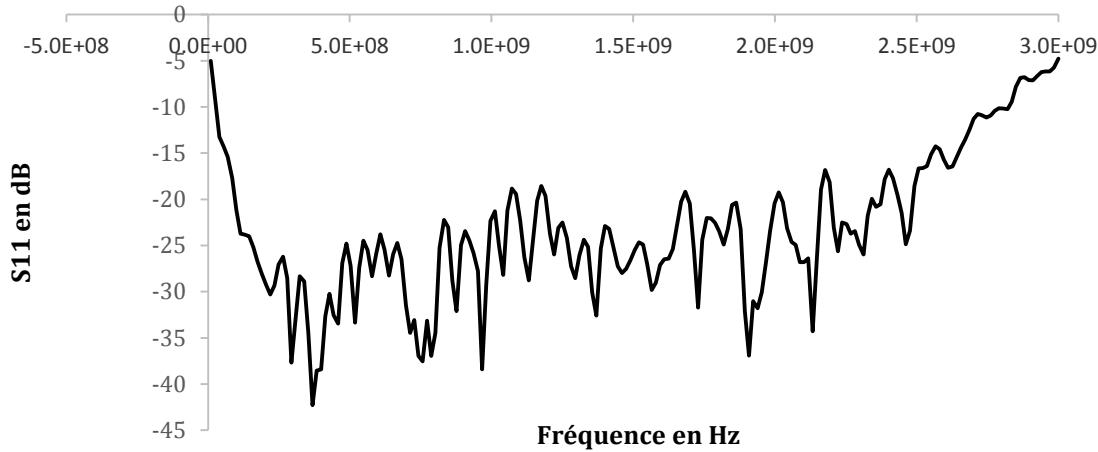


Figure 4.11: Coefficient de réflexion S_{11} mesurée à l'aide de l'analyseur de réseau

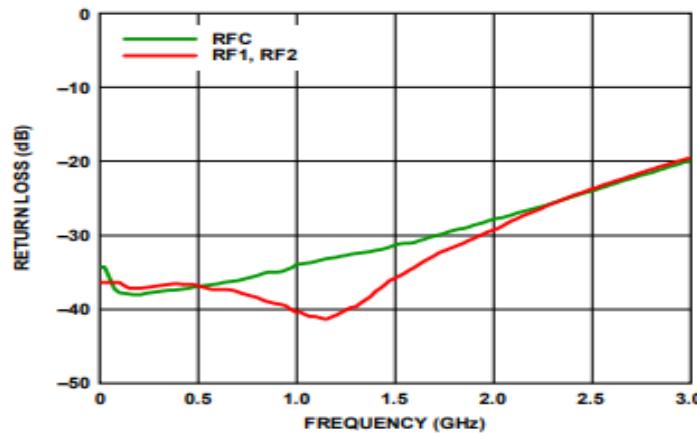


Figure 8. Return Loss vs. Frequency

Figure 4.12: Perte de retour (Return loss) en fonction de la fréquence théorique

L'équation 4.14 permet de déterminer combien de puissance est réfléchi vers l'entrée:

$$P_R(\text{dBm}) = P_{IN}(\text{dBm}) - RL(\text{dB}) \quad (4.14)$$

Par exemple, pour la fréquence de 700 MHz utilisée par le modem, puisque la perte de retour (RL) est égale à environ -26 dB, la puissance réfléchie est égale à $P_R(\text{dBm}) = 23 \text{ dBm} - 26 \text{ dB} = -3 \text{ dBm}$. Cela implique qu'environ 0.25% de puissance d'entrée est réfléchi.

4.6 Comparaison avec le signal GPS

Le signal GPS est plus faible que le signal cellulaire et souvent, il n'est pas suggéré pour les environnements internes. Cependant, le modem TNAG-B comporte un LNA intégrée de 13.5 dB typiquement et il utilise une combinaison de la technologie GPS et GLONASS. Dans le mode A-GPS, le modem comporte une sensibilité pour le démarrage à froid (*Cold start sensitivity*) égale à -145 dBm et une sensibilité de suivi (*Tracking Sensibility*) égale à -161 dBm tel que mentionné dans le '*LE910 Hardware User Guide*' [22]. Les satellites GPS et GLONASS se trouvent dans une orbite à environ 20180 km et 19130 km respectivement avec 90° d'élévation de la terre. Leur puissance de transmission est de 44.8 W (46.1 dBm) et ils possèdent une antenne d'environ 12 dBi de gain [26]. Avec le modem étudié, deux bandes sont utilisées pour la localisation par satellites, une à la fréquence de 1575.42 MHz +/- 2MHz (GPS) et l'autre à une fréquence entre 1598.0625 et 1607.0625 MHz (GLONASS).

En utilisant l'équation 4.2 pour l'atténuation en espace libre, on trouve que l'atténuation est $L_{el}(d)$ en dB = 182.495 dB pour la fréquence de 1575.25 MHz. En conséquence, à l'aide de l'équation 4.11, il est possible de trouver la puissance reçue $P_{RX} = 124.4$ dBm.

$$L_{el}(d) \text{ en dB} = 32.45 + 20 \log(1575.25) + 20 \log(20180) = 182.495 \text{ dB} \quad (4.15)$$

$$P_{RX} = P_{TX} + G_{TX} - L_{el} + G_{RX} = -124.4 \text{ dBm} \quad (4.16)$$

où $P_{TX} = 46.1$ dBm, $G_{RX} = 0$ dBi et $G_{TX}=12$ dBi

En ajoutant les pertes causées par le passage à travers la remorque à P_{RX} à la fréquence de 1575.25 MHz, il faudrait que le résultat soit supérieur au seuil de réception pour pouvoir localiser avec la technologie GPS et que le signal puisse retrouver le chemin jusqu'au dispositif à l'aide de multi trajets. Les pertes causées par le passage à travers la remorque doivent être inférieures à 20.6 dB (=145-124.4) pour le démarrage à froid et à 36.6 dB (=161-124.4) pour la sensibilité de suivi. Cette technologie avait été testée dans une voiture et dans un bâtiment et la localisation était obtenue en temps réel.

4.7 Résumé du chapitre et méthodologie pour les tests

Lorsque le signal du dispositif cellulaire aurait de la difficulté de sortir de la remorque avec une puissance suffisante ou de recevoir un bon signal un circuit qui permet d'améliorer le seuil de sensibilité peut être utilisé. Puisque le dispositif de localisation se trouve dans la remorque durant le transport de marchandises, le signal est affecté par les phénomènes multi trajets : réflexion, diffraction et dispersion. Des modèles empiriques sont présentés pour obtenir de manière théorique la puissance reçue dans le camion. Les fréquences plus basses permettent de couvrir une plus grande distance entre le camion et la station de base, mais elles ont plus de difficultés à passer à travers les fentes de la remorque. Pour une utilisation de la technologie GPS les pertes causées par le passage à travers la remorque doivent être inférieures à 20.6 dBm et le signal devrait être capable de venir jusqu'au récepteur à l'aide de multi trajets. Les résultats expérimentaux concernant le bilan de liaison pour fin de propagation sont présentés dans les sections 5.2.1 et 5.2.2 de ce mémoire.

CHAPITRE 5 RÉSULTATS DES TESTS EXPÉRIMENTAUX

Ce chapitre présente les résultats expérimentaux de localisation cellulaire lorsque le camion était en mouvement et de la détection de présence des marchandises à l'intérieur du camion selon le modèle 2 (Figure 1.2) présenté dans l'introduction.

En ce qui concerne le choix d'un dispositif de localisation pour les tests, un prototype utilisant seulement la technologie LTE a été choisi car c'est la plus récente et car elle va durer plus longtemps que les autres (GSM, HSPA, UMTS). La décision de faire des tests avec le kit de développement a été prise car la carte de développement NL-SWDK est programmable par les utilisateurs lorsqu'elle est combinée avec Arduino Léonardo.

En ce qui concerne les tests concernant le passage de signal dans la remorque qui agit comme une cage de Faraday, les tests dans 2 types de camions avaient été prévus. L'industrie utilise le fourgon sec et le camion réfrigéré pour la livraison. Le signal a plus de difficulté de passer à travers le camion réfrigéré car il comporte les murs, le toit et un plancher en aluminium. À cause qu'il faut réserver les camions et que les chauffeurs doivent être disponibles au même moment, seulement deux rencontres de tests ont été faites.

5.1 Résultat de la première partie de tests dans le camion

Le test consistait à voir si le signal sort à travers une remorque vide d'un camion de type fourgon sec lorsque la porte est fermée et aussi, s'il rentre à l'intérieur. Pour cela, le modem placé sur la carte de développement NL-SWDK (disposition tel que montré sur la Figure 2.6) a été utilisé. Les tests ont montré la possibilité d'envoyer le signal à la station de base et de recevoir le signal. À l'aide des commandes AT, chacun des messages SMS a été transmis de l'extérieur du camion vers l'intérieur et l'inverse aussi.

Commandes AT utilisées avec le logiciel Tera Term pour envoyer un message SMS:

1. Écrire la commande AT+CMGF=1
2. AT+CMGS="+1XXXXXXXXXX" ou XXXXXXXXXX est le numéro de téléphone et +1 est la première extension.
3. Entrée

4. Écrire un message

5. CTRL+Z

Commandes AT utilisées avec le logiciel Tera Term pour afficher un message SMS reçu:

1. AT+CMGF=1

2. AT+CMGR=1

Commande AT utilisée avec le logiciel Tera Term pour supprimer les messages SMS:

AT+CMGD=1,4

La commande de localisation pour la cellule a aussi été testée avec succès. L'emplacement de la station de base a été identifié par les identifiants LAC et CELL obtenus sous forme hexadécimale suite à l'aide de la commande ‘ AT+CGREG’. Ces identifiants ont été convertis manuellement dans le format décimal et ensuite, la localisation a été déterminée à partir du site OpenCelliD. La station de base se trouvait à peu près à 700m du camion.

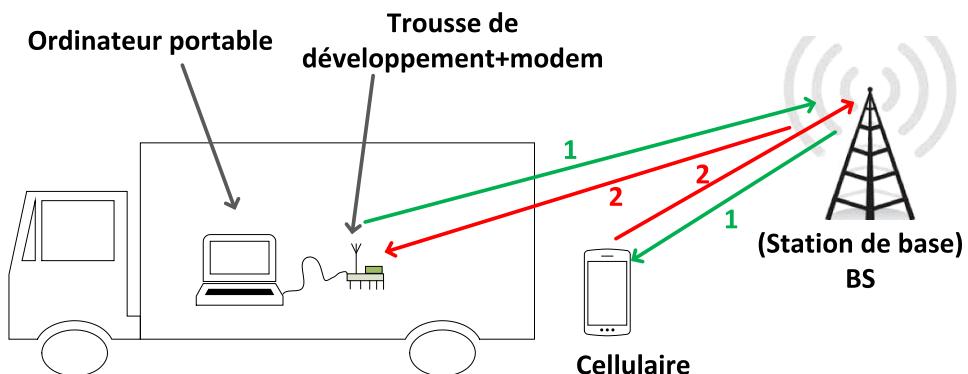


Figure 5.1: Schéma basique du premier test dans le camion

L'antenne qui venait dans le kit et l'antenne flexible sont omnidirectionnelles et comportent une polarisation linéaire. La polarisation de l'antenne peut affecter la puissance de réception. Puisque le camion est en mouvement et à cause des multi trajets, la direction de la provenance de signaux va tout le temps changer. Pour la meilleure réception, les antennes à polarisation linéaire devraient toujours être alignées pour compenser l'effet de Faraday. En les tournants, certaines positions permettent d'avoir une meilleure réception et réduire l'interférence. Cependant, pour le cas de la polarisation circulaire, il n'est pas nécessaire de tourner l'antenne pour une meilleure réception et il n'y a pas une interférence à cause d'un mauvais alignement. Elle permet de réduire

la désadaptation causée par la propagation multi trajets. La désadaptation de la polarisation entre les antennes à polarisation linéaire et les antennes à polarisation circulaire est inférieure à 5dB. Cependant, suite aux tests dans la remorque avec les antennes présentées dans la section 2.1 : ‘Ultra-Wideband 4G LTE Antenna’ et Antenne cellulaire LTE embarquée d’Ethertronics, en les tournant cela ne permettait pas d’améliorer significativement la réception du signal. De plus, les antennes à polarisation circulaire sont plus chères et plus difficiles à implémenter dans les dispositifs cellulaires.

5.1.1 Discussion et décision prise suite aux premiers résultats dans le camion

Après ce test, il a été décidé de faire un deuxième test pour localiser en mouvement dans les deux types de camions utilisés par l’industrie. Pour atteindre cet objectif avec la carte de développement, il fallait lui rajouter un Arduino Leonardo (disposition tel que sur la Figure 2.11).

L’ensemble ‘Arduino et la carte de développement’ a été programmée pour :

1. Transmettre un message SMS à un téléphone cellulaire.
2. Capter une puissance de réception de signal provenant de la station de base.
3. Collecter les identifiants de la cellule courante pendant le mouvement et la transmettre par SMS.
4. Répondre suite de la réception d’un message d’un téléphone. Par exemple, suite à la une commande transmise dans un message SMS spécifique, le dispositif peut répondre avec les identifiants de la station de base.
5. Extraire l’information de la réponse (format montré dans la section 2.1.1.1 et la Figure 2.7) ‘AT+CGREG’ en décimal. Cela permet donc d’obtenir les identifiants de la station de base (BS) en notation décimale automatiquement à partir du code Arduino dans le SMS.

Lorsqu'un signal entre en collision avec un obstacle, le niveau d'atténuation dépend fortement du type de matériau dont l'obstacle est fait. Les obstacles métalliques tendent à refléter un signal, tandis que l'eau les absorbe. Pour cette raison, ces deux sortes de matériaux sont parmi les pires pour la propagation.

5.2 Résultats de la deuxième partie de tests dans le camion

Durant la deuxième rencontre, certains tests ont été effectués lorsque le camion était statique et d'autres lorsque le camion était en mouvement. Elle a été effectuée à l'aide camion réfrigéré. L'objectif de la rencontre était de déterminer la perte de puissance sur le signal causée par le passage à travers la remorque d'un camion réfrigéré et avec le camion en mouvement de prélever les identifiants des stations de base par SMS périodiquement pendant une période d'environ 40 minutes sur les routes à Montréal. Le même nombre de palettes comme dans une situation réelle a été utilisé.

5.2.1 Tests de la puissance du signal de l'antenne lorsque le camion était statique

Pour le test dans le camion statique, la commande ‘AT+CSQ’ a été programmée à l'aide du langage Arduino pour permettre au modem d'envoyer une valeur puissance du signal de l'antenne ambiante par SMS à un téléphone cellulaire. L'ensemble ‘carte de développement et l'Arduino’ (Figure 2.11) ont été placée à l'extérieur et à côté du camion tel que montré sur la Figure 5.2. Le modem envoyait une puissance du signal de l'antenne reçue en représentation linéaire de 30 et de 31. Cela correspond à une puissance reçue de -53 dBm et – 51 dBm respectivement selon le Tableau 2.2.

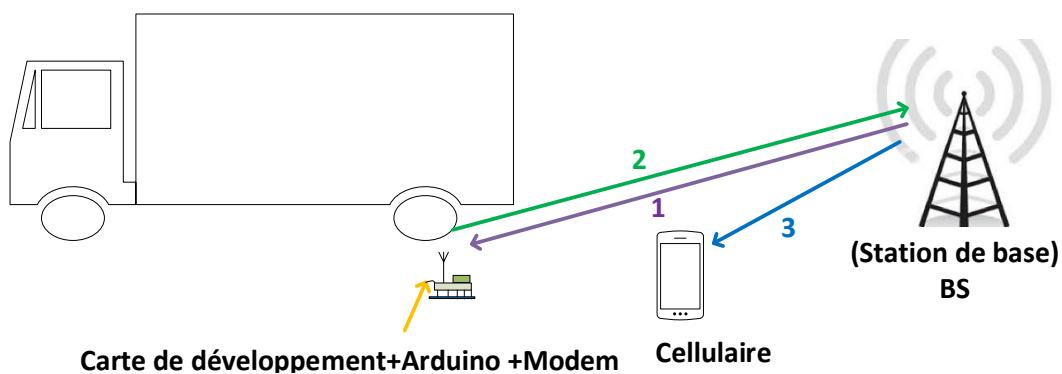


Figure 5.2: Mesure du signal à côté de la remorque en mode statique

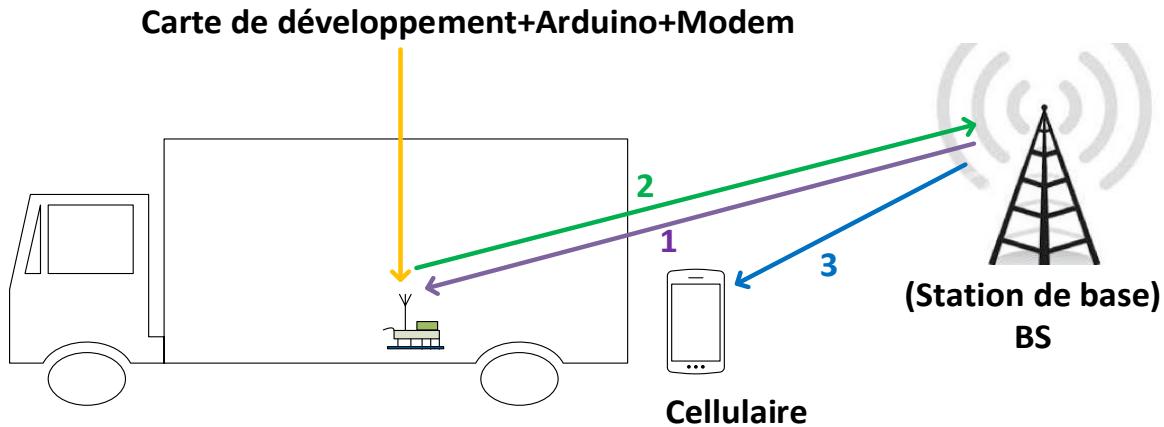


Figure 5.3: Mesure du signal à l'intérieur de la remorque en mode statique

Ensuite, l'ensemble carte de développement, Arduino et modem a été placé (Figure 2.11) à l'intérieur de la remorque du camion réfrigéré avec la porte fermée tel que montré sur Figure 5.3 . Le modem envoyait une puissance du signal de l'antenne reçue de 25 à 28. Cela correspond à une puissance entre -63 dBm et -71 dBm. Puisqu'il montrait 30 et 31 pour la puissance du signal de l'antenne à l'extérieur et entre 25 et 28 à l'intérieur de la remorque, cela implique que le signal perd entre 5 à 12 dB lorsqu'il passe à l'intérieur de la remorque. Le modem a été testé dans 3 positions différentes avec la porte de la remorque a été renfermée. Premièrement, près de la porte. Deuxièmement sur la palette (cercle bleu de la Figure 5.5) et troisièmement, dans une boîte entre les palettes et le mur du camion réfrigéré (tel que montré par le cercle en rouge sur la Figure 5.5). Dans les deux cas, c'est-à-dire pour le cas des résultats de la qualité du signal à l'extérieur et pour le cas des résultats de la qualité à l'intérieur de la remorque, cette qualité correspond à la catégorie de signal ‘excellent’ du Tableau 2.2. Pour cette raison, le circuit qui permet d'améliorer le seuil de réception n'a pas été utilisé pour le test avec le camion réfrigéré de cette rencontre.

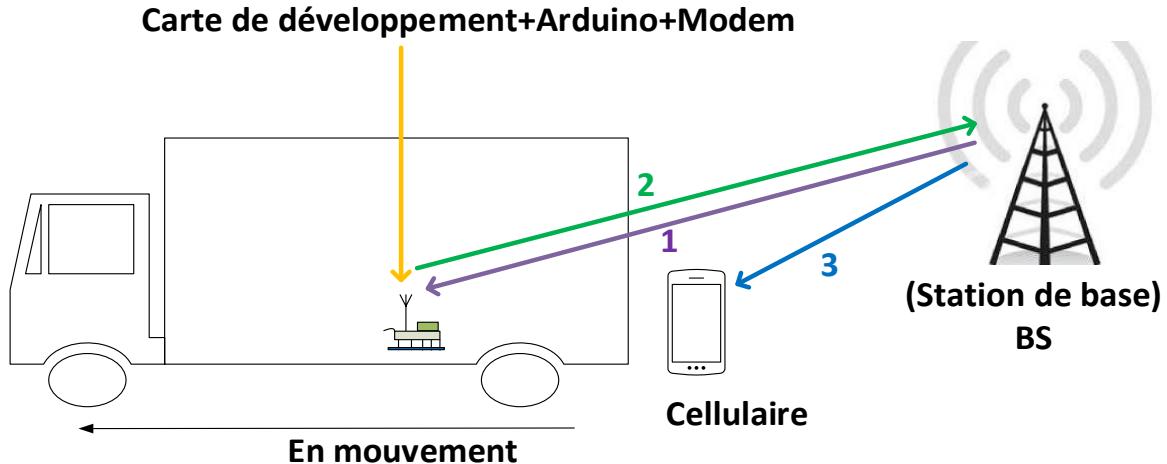


Figure 5.4: Transmission de l'information lorsque le camion est en mouvement



Figure 5.5: Position du dispositif durant le test en mouvement avec le camion réfrigéré

5.2.2 Tests et résultats lorsque le camion était en mouvement

L'objectif du test en mouvement a été de démontrer la localisation en mouvement par des messages SMS sans l'utilisation d'un ordinateur contrairement à la première rencontre pour les tests. Suite aux résultats de la qualité du signal reçue dans le camion en mode statique, le circuit qui permet d'améliorer le seuil de réception (Figure 4.8) n'a pas été utilisé. De plus, pour le test en mouvement, la carte de développement avec le modem (Figure 2.11) se trouvaient dans la position montrée par le cercle en rouge de la Figure 5.5, entre la palette et le mur de la remorque.

Les résultats ont montré que les identifiants des stations ont été transmises périodiquement à chaque 40 secondes avec succès. Une partie des mesures prises se trouvent dans l'annexe A de ce mémoire. Le dispositif transmettait l'information de la puissance du signal de l'antenne en mode linéaire, de l'identifiant LAC et CELL de la cellule où il se trouvait (signal le plus fort) durant le chemin et les informations des cellules voisines avec leur RSRP à l'aide de la commande 'AT\$QCRSRP'. Le signal en représentation linéaire se situait entre 12 et 27 lorsque le camion était en mouvement avec une moyenne d'environ 21 sur les mesures finales. Cela correspond à une détection à environ -71 dBm et à la catégorie de signal 'excellent' de la puissance du signal de l'antenne du Tableau 2.2.

En général, les clients sont intéressés de savoir seulement une ou deux fois où se trouvent leurs marchandises durant le transport. Dans cette situation, le client pourrait transmettre un message SMS au dispositif cellulaire et ce dernier répondrait avec les informations voulues et les données de localisation juste à ce moment. Cela permettrait de sauver des données et des messages. Cela est possible parce que dans les réponses des commandes AT qui permettent d'afficher un message se trouve aussi le numéro de cellulaire de celui qui a envoyé le message. Une fois qu'il est extrait de la réponse à l'aide d'un programme tel qu'Arduino, il peut être utilisé pour la transmission d'une réponse du modem. Il serait aussi possible de garder en mémoire dans une base de données le déplacement du camion et d'afficher le trajet sur une carte géographique. Cette propriété a été programmée et testée avec succès.

5.2.3 Précision de localisation

Les résultats ont montré que la distance de localisation se situait environ entre 0 et 400m sur une autoroute. L'ensemble détectait avec une bonne précision les cellules dans lesquelles il se trouvait. Un facteur important qui a aidé pour une bonne précision était que la conduite du camion pour le test en mouvement s'est faite sur une autoroute dans un milieu urbain. Près des autoroutes, il y a davantage de stations de base. Cependant, lorsque le camion ne se trouvait pas près des autoroutes, la précision pouvait dégrader jusqu'à 1.24 km de la tour cellulaire pour la triangulation (identification à l'aide de cellules voisines) et pour l'identification de la cellule ayant le signal le plus fort. La plupart du temps, le dispositif se trouvait à une distance entre 0 et 700 m du résultat obtenu. Les calculs et les mesures se trouvent dans l'annexe B de ce mémoire.

Pour la triangulation, la procédure montrée dans la section 2.2.2 (Localisation à l'aide de la triangulation (cellules voisines)) de ce mémoire a été utilisée. Le Tableau 2.3 et les équations (2.1)

à (2.4) ont été programmés sur Excel. Durant les mesures de l'annexe B, le modem détectait des bandes différentes et de normes (technologies) différentes. Les mesures obtenues ont montré que certaines fois, le modem pouvait même détecter des stations de la bande 1 qui se trouvaient à 15 km plus loin. En tenant compte de ces mesures cela pouvait dégrader la précision à 2km (Annexe B, Endroit de mesure 1). Pour cette raison, lorsqu'il y a des stations très éloignées que le modem détecte tel que dans ce cas, il est mieux de l'éjecter du calcul ou de considérer les données des autres bandes, telles que celles de la bande 2 UMTS (1900 PCS MHz) s'il n'y a pas suffisamment de données de la bande LTE par exemple, pour avoir une meilleure précision (tel qu'utilisé dans les calculs de l'Annexe B).

Tableau 5.1: Éloignement entre endroit de mesures et résultats du modem pour les 2 méthodes

Mesure	Endroit de la mesure	Identification de la cellule	Triangulation (Bande 2)
1	IGA (12 rue de la triade, pointe-claire, QC H9R 0A2)	346.57m	231,06m
2	Intersection de l'Av. Seigniory et de l'Av. Stillview	822,74m	667,06m
3	Intersection entre boul. Hymus et de l'Av. Stillview	724.56m	1.24 km
4	Intersection entre boul. Hymus et de l'Av. Alston	431,59m	151.81m
5	Banque Scotia (620 boul saint-jean, pointe-claire, QC H9R 3K2)	505,3m	484,21m
Moyenne		566,152m	554,828m

Le Tableau 5.1 montre que la plupart du temps, la méthode de triangulation a été plus précise que la méthode de l'identification de la cellule. La deuxième mesure a montré que certaines fois, la méthode de l'identification de la cellule peut aussi être plus précise que la triangulation. Dans la région mesurée, parmi les données obtenues suite de la commande 'AT#CSURVC', il y avait 2 lignes de la bande 2. S'il y avait plus de données de cette bande, la précision pour la triangulation aurait été meilleure. Avec cette précision, les standards de l'industrie concernée pour la précision de localisation sont respectés car elle est intéressée par une précision inférieure à 1000m.

5.2.4 Test et résultat avec un senseur de température connecté au modem

Un senseur de température a aussi été testé en combinaison (section 2.5). Lorsque le camion était en mouvement, le modem envoyait les données de température et d'humidité ensemble avec les identifiants des stations de base au téléphone cellulaire.

5.2.5 Technologie transmetteur/récepteur ASK avec le modem

Pour la technologie de modules ASK, la possibilité de transmettre à travers les murs a été testée pour simuler la présence de palettes comme obstacle dans la remorque durant le transport. Ce test a démontré la possibilité de transmettre un signal à travers un mur comportant deux plaques de gyproc.

Le dispositif transmetteur/récepteur de 433 MHz a été testé en combinaison avec la carte de NimbeLink (Figure 2.11). Le test a montré que le dispositif cellulaire peut capter le message du transmetteur ASK et l'envoyer par SMS à un téléphone cellulaire. Un module transmetteur ASK a été programmé avec la carte Arduino pour transmettre le message ‘PaletteUn présente’ et un récepteur ASK a été programmé dans le ‘code_localisation.ino’ pour recevoir le message et le passer au modem le transmets dans le réseau cellulaire. Lorsque le transmetteur ASK ne se trouvait pas dans les environs ou lorsque le dispositif connecté à ce transmetteur n’était pas alimenté, le modem arrêtait d’envoyer l’information ‘PaletteUn présente’ et envoyait l’information ‘PaletteUn non présente’ au téléphone cellulaire. S’il était réalimenté, le transmetteur ASK transmettait l’information ‘PaletteUn’ présente de nouveau. Il envoyait cette information de présence de palette comportant le transmetteur ASK ensemble avec les identifiants LAC et CELL.

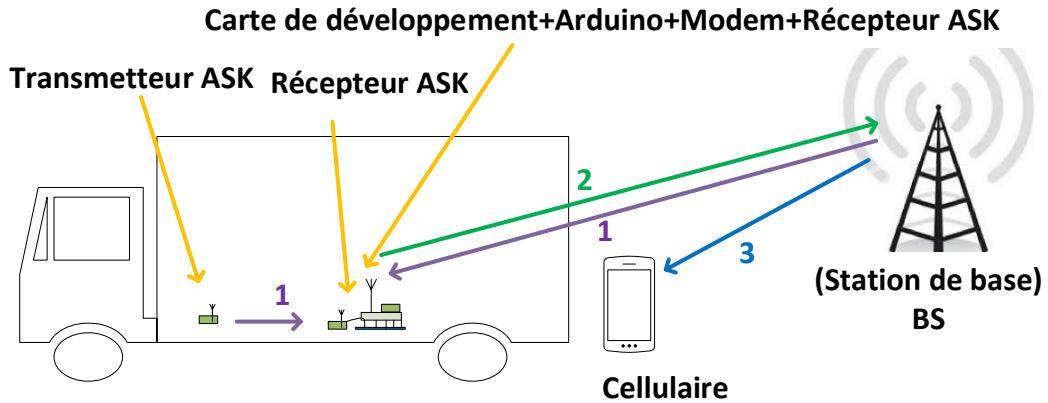


Figure 5.6: Schéma basique d'un système permettant d'envoyer plusieurs informations en même temps

Les sections 5.2.2, 5.2.4 et 5.2.5 montrent qu'il est possible d'envoyer plusieurs informations en même temps dans un message SMS. Par exemple, tous ces informations peuvent être transmises dans un seul message SMS : les identifiants LAC et CELL de la station de base qui transmet le plus fort signal dans la région, les informations des stations de base voisines, la puissance reçue par le dispositif provenant des stations de base (RSRP), la présence des palettes, le message envoyé par le transmetteur ASK, la température dans la remorque, l'humidité dans la remorque et une réponse à un message reçu.

5.3 Résultats et mesures pour la technologie RFID

5.3.1.1 Test sur le spectre et sur la distance de lecture

Des tests avec une antenne boucle de gain de 2 dB à l'intérieur d'une remorque ont montré qu'il est possible d'atteindre l'étiquette à des distances supérieures à 10 m. Il est aussi possible d'atteindre derrière des obstacles métalliques parce que les murs adjacents d'aluminium reflètent les signaux. Les étiquettes qui sont venues dans le kit du lecteur UHF comportent un gain plus petit et c'est une des raisons pourquoi elles ont plus de difficultés à retransmettre un bon signal pour la lecture. Sur la Figure 5.7, on peut voir le résultat capté sur l'oscilloscope lorsque le signal du lecteur est reçu par une l'antenne boucle de gain égal à 2dBi à une distance de 12 m. La bande de 900-930 MHz captée par l'oscilloscope correspond à la fréquence d'opération du lecteur. Ce test a permis de comprendre que le problème principal n'est pas au niveau de la qualité la puissance captée par l'étiquette, mais bien au niveau de la qualité de puissance qui est réfléchie par l'étiquette. La

puissance qui est captée par l'étiquette est beaucoup plus élevée à celle qui est retransmise. Environ 40 à 90 dB. Pour cette raison, dans le cas d'une utilisation d'un système RFID passif, il faudrait refaire les étiquettes pour qu'elles soient plus efficaces en rétrodiffusion.

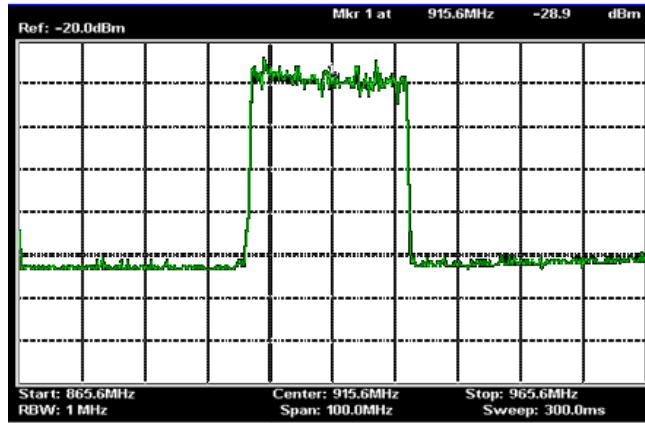


Figure 5.7: Spectre de puissance capté par l'antenne de gain 2 dB à une distance de 12m du lecteur (900 MHz– 930 MHz)

5.3.1.1.1 Test avec LNA pour amplifier le signal et augmenter la distance de lecture

La puissance de sortie mesurée du lecteur RFID a été de 23 dBm. À cause de la grandeur de cette puissance de sortie et des caractéristiques de l'antenne, la distance de lecture d'un lecteur RFID passif est limitée à 8-10m et le rayon de lecture est directionnel. En conséquence, pour pouvoir couvrir toute la zone à l'aide d'une antenne, la capacité d'augmentation de la distance de lecture à l'aide d'un diagramme comme sur la Figure 5.8 a été testée.

Tableau 5.5.2: Liste du matériel utilisé pour l'amplification

Matériel utilisé :
-Amplificateur faible bruit : ZX60-P162LN+ (Gain à la fréquence de 900 MHz= 23 dB)
-Circulateur : UIYCC3434A860T960SF
-Câbles avec connecteurs SMA
-Transition entre le circulateur et le connecteur SMA du câble

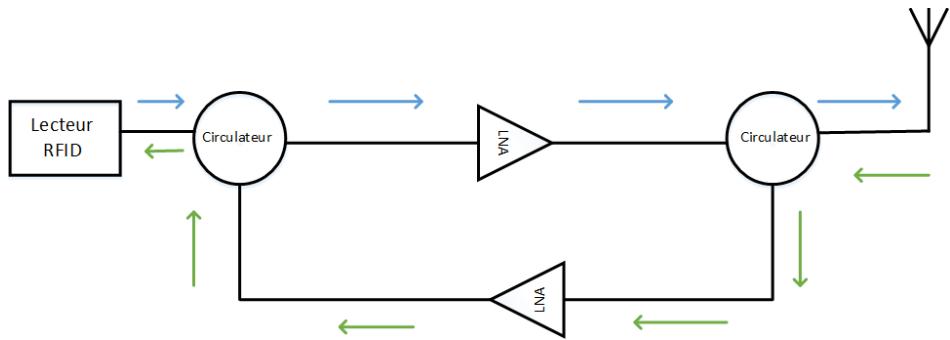


Figure 5.8: Diagramme pour l'installation des amplificateurs avec le lecteur

Le chemin en bleu (du lecteur vers l'antenne) montre l'amplification du signal transmis en passant par un amplificateur faible bruit. Le chemin en vert (de l'antenne au lecteur) passe à travers un amplificateur faible bruit pour augmenter le seuil de réception. Suite aux tests expérimentaux avec le circuit montré sur la Figure 5.8, l'amplificateur dans le chemin de transmission n'a pas donné de résultat d'amélioration significatif pour l'objectif d'augmenter la distance de lecture parce que le problème se trouvait davantage au niveau de la faiblesse de puissance rétrodiffusée par les étiquettes. La première antenne testée, *ThingMagic UHF RFID Antenna ANT-NB-7-2031*, avec son gain entre 7 dBIC et 7.5 dBIC et une puissance de sortie égale à 23 dBm du lecteur, comportant une couverture d'environ 8m pour la meilleure sorte d'étiquette qui est venue dans le kit M5E-C. La deuxième antenne, antenne fendue CPW, comportait un gain de 3.8 dBi pour une couverture d'environ 2.5m. Cependant, après l'ajout de l'amplificateur ZX60-P162LN+ dans le chemin de réception à l'antenne d'alimentation CPW, la couverture s'est améliorée à environ 4m. Le résultat de couverture obtenu pour l'antenne *ThingMagic UHF RFID Antenna* montrait une couverture jusqu'à 10m ce qui est mieux que le résultat obtenu même après l'ajout d'un amplificateur à l'antenne d'alimentation CPW. Cela est dû car l'antenne *ThingMagic UHF RFID* est active. Les amplificateurs comportent un point de compression de 1dB (P1dB). Lorsque cette limite est dépassée, cela augmente le bruit dans le système et pour cette raison, même un amplificateur de gain très élevé ne va pas nécessairement donner de meilleurs résultats.

5.3.2 Conclusion sur la technologie RFID

Un modèle d'antenne a été fabriqué et testé expérimentalement. Le système d'amplification a fonctionné, mais il n'a pas été suffisant pour couvrir de longues distances. La décision de ne pas poursuivre avec cette technologie a été prise pour les raisons suivantes :

1. L'antenne à utiliser est directionnelle car une antenne RFID omnidirectionnelle dans un système passif comporte une faible distance de couverture. Pour l'antenne directionnelle, si le lecteur est au centre de la remorque, elle ne peut pas lire les étiquettes derrière à moins de créer une plateforme pour tourner l'antenne du lecteur avec un servomoteur.
2. L'antenne n'est pas compacte. Il faudrait utiliser plus qu'une antenne de taille minimale d'environ 10x10 cm pour couvrir la zone à l'intérieur de la remorque.
3. Dans un système passif, la distance de lecture est limitée. Dans notre cas, il faudrait un système actif ou semi-passif. Le désavantage de ces deux systèmes est qu'ils requièrent des batteries dans les étiquettes ce qui augmenterait le coût. Dans ce cas, en plus de fabriquer un nouveau lecteur, il faudrait fabriquer les étiquettes aussi.
4. Il faudrait créer un lecteur, programmer la synchronisation et le fonctionnement pour supporter et économiser de l'énergie pendant le transport. Si le système RFID est tout le temps en train de lire, les batteries pourraient se vider plus rapidement que ce qui est nécessaire.

Il est bien possible de réaliser le projet avec RFID. Il a été étudié mais abandonné au cours du chemin parce que l'industrie veut une technologie compacte et à faible coût. La technologie RFID peut être utile seulement pour détecter la présence à l'intérieur de la remorque du camion et il faudrait l'implémenter ensemble avec le système cellulaire sur une même carte. De plus, la réalisation d'un lecteur RFID pour cette recherche prendrait plus de temps que ce qui est alloué.

CHAPITRE 6 CONCLUSION

En conclusion, dans cette recherche, un modèle pour le suivi et la localisation des marchandises à partir des camions de transport sur longue distance est présenté et les résultats actuels sont prometteurs. Dans ce modèle, les principaux outils utilisés pour la localisation cellulaire sont ; un Arduino Léonardo, une carte de développement NL-SWDK et un modem TNAG-B qui utilise les technologies LTE, GSM, HSPA et UMTS pour communiquer dans le réseau Rogers communications. Les technologies utilisées pour la détection de la présence des palettes sont la RFID et des transmetteurs/récepteurs ASK.

Pour la communication cellulaire, un code de localisation a été développé en langage Arduino. Ce code peut être utilisé par la carte pour envoyer un message SMS de localisation lorsqu'elle reçoit un certain SMS de la part d'un numéro cellulaire. Elle a aussi été programmée pour transmettre des informations de localisation périodiquement avec d'autres informations tel quel la température et la puissance de réception d'un signal. Trois types de localisation ont été étudiées; identification de cellule, des cellules voisines (triangulation) et GPS. La localisation affichée sous forme de latitude et longitude peut être trouvé à partir d'un fichier de base de données.

Pour la détection de la présence des marchandises l'intérieur du camion, la technologie RFID utilisant les fréquences UHF a été étudiée comparativement à des modules de transmission et réception ASK qui fonctionnent à la fréquence de 433 MHz. Une antenne UHF en un circuit d'amplification ont été conçus pour les tests. Ils ont montré que la couverture pour un système RFID passif ne serait pas suffisante pour couvrir toute la zone à l'intérieur de la remorque à l'aide d'une seule antenne UHF passive. Il faudrait donc développer un système RFID actif ou semi-passif pour couvrir toute la zone à l'intérieur. De plus, la technologie RFID n'est pas suffisamment compacte pour les standards de l'industrie concernée. Les modules transmetteur et récepteur ASK ont été testés et étudiés en utilisant la librairie VirtualWire. Un module ASK pourrait être utilisé pour transmettre la présence de la marchandise entre 3 et 15 secondes et à des moments différents des autres transmetteurs utilisés pour d'autres marchandises. La gestion et la transmission de l'ensemble seraient effectuées à l'aide d'un dispositif cellulaire.

Les tests ont été faits dans un camion réfrigéré et dans un fourgon sec lorsqu'ils sont dans le mode statique et en mouvement. Le test sur la puissance du signal de l'antenne a montré qu'il y a une perte entre 5 et 12 dB causée par le passage à travers la remorque. Cela est plus petit que la

supposition initiale qui était que le signal devrait être amplifié pour compenser l'allure de cage de Faraday de la remorque. En conséquence, un circuit qui permet d'amplifier le signal reçu et transmis à l'aide d'un amplificateur HMC221b a été fabriqué et présenté dans ce mémoire. Même si ce circuit n'a pas été utilisé durant le test en mouvement, il pourrait peut-être servir plus tard pour des régions rurales car les stations de base sont moins communes dans cet environnement.

La précision est inférieure à 1km la grande majorité des mesures pour la triangulation (cellules voisines) et pour la méthode de l'identification de la cellule avec une moyenne d'environ 560 m de distance d'éloignement entre le modem et la localisation donné par les deux méthodes. Pour la triangulation, cette moyenne est un peu plus élevée que l'hypothèse initiale. Cependant, un plus grand nombre de données disponibles sur la même bande permet d'obtenir une meilleure précision.

6.1 Recommandations pour le futur travail

En ce qui concerne le développement d'un prototype fiable et propre à l'entreprise, il serait utile d'explorer la possibilité de brancher un microcontrôleur à la carte de développement et de fusionner la carte avec l'Arduino sur une seule tel que présenté à la section 2.3 de ce mémoire.

Pour la partie de localisation, la recommandation pour le futur travail est d'intégrer la méthodologie de localisation avec une base de données sur un site internet propre à l'industrie (section 2.4).

En ce qui concerne la partie de détection de la présence des marchandises à l'intérieur du camion, la recommandation pour le futur travail est d'étudier aussi la possibilité de la communication entre les modules à l'intérieur de la remorque avec la technologie nRF24L01. Ce module comporte une couverture omnidirectionnelle entre 10m et 30m dans un environnement interne et il permet à plusieurs modules d'envoyer de l'information en même temps à un seul module en mode réception. L'hypothèse est que cette technologie est la meilleure parmi les trois présentées pour la détection de la présence des marchandises à l'intérieur du camion. Le modem LTE a aussi été testé ensemble avec les modules de 433 MHz et le test a été réussi avec succès.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] F. Check. [En ligne]. Available: <https://www.frequencycheck.com/carriers/rogers-wireless-canada>.
- [2] «MCC-MNC,» [En ligne]. Available: <http://www.mcc-mnc.com/>.
- [3] «AT&T AT Commands Guide for the M14A2A LTE Module,» AT&T, [En ligne]. Available: https://s3-us-west-2.amazonaws.com/starterkit-assets/AT%26T_Commands_Guide_v1.7.pdf.
- [4] «Unwiredlabs OpenCellid,» [En ligne]. Available: <https://opencellid.org/>.
- [5] «Cellmapper,» [En ligne]. Available: <https://www.cellmapper.net/map>.
- [6] «Niviuk,» [En ligne]. Available: http://niviuk.free.fr/lte_band.php.
- [7] S. Neilson, «Mobile Network Geolocation: Obtaining the Cell IDs & the Signal Strength of Surrounding Towers From a GSM Modem & Triangulating Device Location,» Neilson, 16 Octobre 2013. [En ligne]. Available: <https://www.neilson.co.za/mobile-network-geolocation-obtaining-the-cell-ids-the-signal-strength-of-surrounding-towers-from-a-gsm-modem/>.
- [8] «NL-SW-LTE-TNAG-B,» Digi-Key, [En ligne]. Available: <https://www.digikey.ca/products/en?keywords=1477-1057-ND%09>.
- [9] «SKYWIRE DEVELOPMENT KIT,» Digi-Key, [En ligne]. Available: <https://www.digikey.ca/products/en?keywords=1477-1019-ND%09>.
- [10] «Arduino Leonardo,» Digi-Key, [En ligne]. Available: <https://www.digikey.ca/product-detail/en/arduino/A000057/1050-1040-ND/3476353>.

- [11] «Analog Devices Inc. EVAL01-HMC221B,» Digi-Key, [En ligne]. Available: <https://www.digikey.ca/product-detail/en/analog-devices-inc/EVAL01-HMC221B/1127-2789-ND/4863563>.
- [12] «Google Maps API,» Google, [En ligne]. Available: <https://developers.google.com/maps/web/?hl=fr>.
- [13] «Google Maps Geolocation API,» Google, 6 avril 2017. [En ligne]. Available: <https://developers.google.com/maps/documentation/geolocation/intro?hl=fr>.
- [14] D. W. Engels, «RFID: The Technical Reality,» 2004. [En ligne]. Available: www.slideshare.net/PeterSam67/rfid-the-technical_reality.
- [15] A. Ghiotto, «Conception d'antennes de tags RFID UHF, Application à la réalisation par jet de matière,» p. 232, 2008.
- [16] J. Shandle, «Design Opportunities Proliferate As RFID Gains Traction,» EletronicDesign, 19 May 2014. [En ligne]. Available: www.electronicdesign.com/communications/design-opportunities-proliferate-rfid-gains-traction.
- [17] «Grove - 433MHz Simple RF link kit User Manual,» Seeed studio, 22 9 2015. [En ligne]. Available: https://www.mouser.com/catalog/specsheets/Seeed_113060000.pdf.
- [18] «VirtualWire,» [En ligne]. Available: <http://www.airspayce.com/mikem/arduino/VirtualWire/>.
- [19] «nRF24L01+,» Nordic semiconductor, mars 2008. [En ligne]. Available: https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/SMD/nRF24L01Pluss_Preliminary_Product_Specification_v1_0.pdf.
- [20] Y. Singh, «Comparison of Okumura, Hata and COST-231 Models on the Basis of Path Loss and Signal Strength,» *International Journal of Computer Applications*, vol. 59, pp. 37-38, 2012.

- [21] L. Encyclopedia, «LTE Radio Link Budgeting and RF Planning,» [En ligne]. Available: <https://sites.google.com/site/lteencyclopedia/lte-radio-link-budgeting-and-rf-planning>.
- [22] «LE910 Hardware User Guide, 1vv0301089 Rev.5 – 22-12-2014,» Telit wireless solutions, 22 12 2014. [En ligne]. Available: <https://www.semiconductorstore.com/pages/asp/DownloadDirect.asp?sid=1520955501205>
- [23] «Experiment: The Faraday Cage,» 14 juin 2012. [En ligne]. Available: http://wiki.backyardbrains.com/Experiment:_The_Faraday_Cage.
- [24] «LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA);User Equipment (UE) radio transmission and reception (3GPP TS 36.101 version 12.5.0 Release 12),» ETSI, 2014. [En ligne]. Available: http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/136100_136199/136101/12.05.00_60/ts_136101v12050_0p.pdf.
- [25] A. Devices, «Datasheet HMC221B,» <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/hmc221b.pdf>, 2015-2016. [En ligne]. Available: <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/hmc221b.pdf>.
- [26] «Global Position System Low Noise Amplifier,» NXP, Mai 2009. [En ligne]. Available: <https://www.nxp.com/docs/en/brochure/75016740.pdf>.

ANNEXE A – LOCALISATION SELON LES MESURES OBTENUES POUR LE TEST DU CAMION EN MOUVEMENT

Tableau A 1: Données de localisations obtenues pour le test du camion en mouvement

Numéro de mesure	Nombre de stations voisines détectées	(Puissance du signal 'xx')	LAC	CELL	Latitude(°)	Longitude(°)
1	4	28	25040	13081863	45.4699	-73.7818
3	4	25	25040	13081863	45.4699	-73.7818
4	3	22	25040	13081863	45.4699	-73.7818
6	3	25	25040	13081864	45.46469	-73.7892
7	4	18	25040	13081865	45.46984	-73.7892
9	3	24	25040	12988424	45.4759	-73.7889
10	2	26	25040	12988423	45.48169	-73.7882
12	2	23	25040	12976137	45.48605	-73.781
13	1	18	25040	12976135	45.48874	-73.7653
15	4	18	25040	12976903	45.4902	-73.7316
17	2	21	25100	12942338	45.4886	-73.7087
18	1	16	25100	12953260	45.4949	-73.6886
19	4	23	25100	12953090	45.49627	-73.6854
21	3	29	25100	12866051	45.49412	-73.6785
22	5	30	25100	12866049	45.49806	-73.6731
23	4	24	25100	12953089	45.50075	-73.6704
26	4	18	25100	12953090	45.49627	-73.6854
27	8	19	25100	12974601	45.49206	-73.6975
29	2	25	25100	12942339	45.48997	-73.7205
30	2	21	25040	12976903	45.4902	-73.7316
32	6	20	25040	12976905	45.4944	-73.7344
33	7	17	25040	17034753	45.48938	-73.7473
34	3	21	25040	17034755	45.48766	-73.7624
36	1	19	25040	12976135	45.48874	-73.7653
37	1	24	25040	12976136	45.48267	-73.7778
38	4	18	25040	13154049	45.47933	-73.7776
39	1	13	13000	4648	45.47585	-73.767
40	1	16	13000	1648	45.46261	-73.7784
42	1	13	13000	1642	45.45815	-73.7813
43	2	28	13000	1642	45.45815	-73.7813

Certaines données n'ont pas été incluses dans ce tableau car les mêmes identifiants CELL et LAC se sont dans le SMS pour une deuxième fois de suite.

ANNEXE B – MESURES DE PRÉCISION SUR LES MÉTHODES DE LOCALISATION

1. Endroit de mesure: IGA (12 rue de La Triade, Pointe-Claire, QC H9R 0A2)

Résultat de la commande ‘AT#CGREG’

LAC = 25040 CELL= 17025537

Résultat de la commande ‘AT#CSURVC’

2050,-79,302,720,294,25040

437,-110,302,720,5440,1323202,55040,4

687,-73,302,220,2368,105008699,11652,

4412,-73,302,220,2368,104998693,11652,

1037,-96,302,720,5440,1313084,55040,4

412,-101,302,720,5440,1323201,55040,4

132,48,-81,0.00,302,720,2300,2361,0,0

579, 3,-86,0.00,302,720,2300,2367,0,0

140,11,-93,0.00,302,720,2300,6333,4,0

135,27,-95,0.00,302,720,2300,12972,4,0

A. Précision à l'aide de la triangulation

Lorsqu'on entre la commande ‘AT#CSURVC’, elle sort des données de différentes bandes. Cependant, dans la triangulation, il faut prendre les données de la même bande pour le calcul. Dans réponse de la commande AT#CSURVC, il y a des données de 4 bandes, bande : 1,2,4 et 10. Le premier nombre de chaque ligne correspond à EARFCN. Ce nombre permet de retrouver la bande.

Bande 1 : 437, 412, 132, 579, 140, 135

Bande 2 : 687, 1037

Band 4 : 2050

Band 10 : 4412

Selon les données de la bande 2

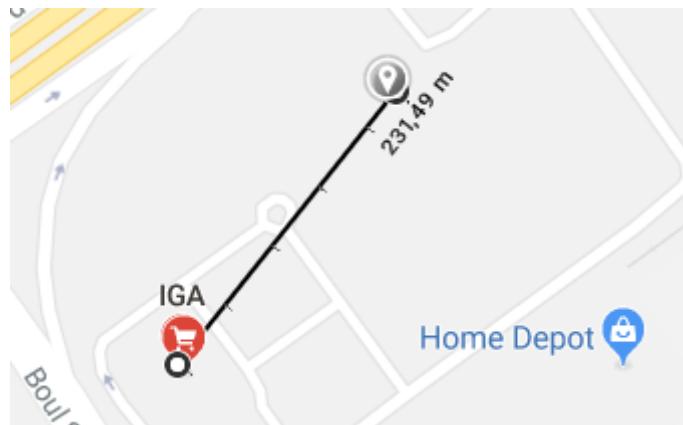


Figure 1: Distance entre calcul de triangulation (bande 2) et le dispositif

Tableau B. 1: Données pour le calcul de la triangulation (IGA)

Bandé	CELL	LAC	RSRP (dBm)	Latitude(°)	Longitude(°)	Ratio Srn
2	105008699	2368	-73	45.466145	-73.817886	0.431952663
2	1313084	5440	-96	45.4632	-73.82412	0.568047337

Latitude, Longitude = 45.4644721005917,-73.8214272071006

Distance = 231,06m

Selon les données de la bande 1

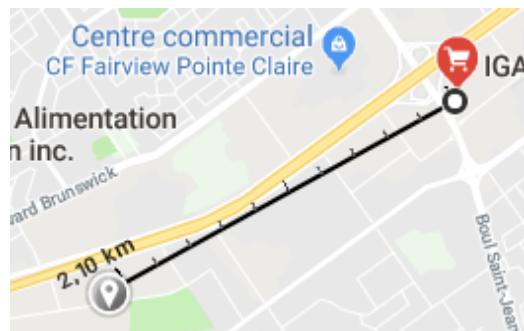


Figure 2: Distance entre calcul de triangulation (bande 1) et le dispositif

Latitude, Longitude = 45.4536961378092, -73.8469173692580

Distance = 2.1km

B. Précision à l'aide l'identification de la station de base comportant le plus fort signal

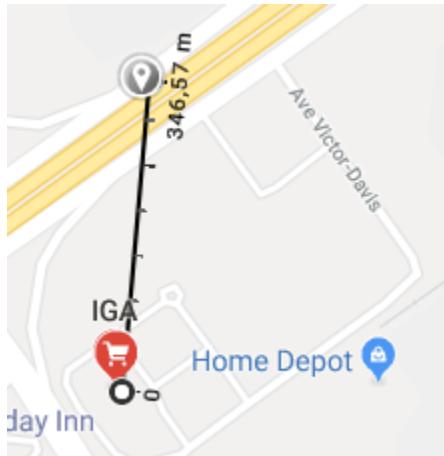


Figure 3: Distance entre la méthode d'identification de la cellule et le dispositif

Latitude, Longitude = 45.465859, -73.822784

Distance = 346.57m

2. Endroit de mesure: Intersection de l'avenue Seigniory et de l'avenue Stillview

Résultat de la commande 'AT#CGREG'

LAC = 25040 CELL= 25603586

Résultat de la commande 'AT#CSURVC'

2050,-66,302,720,134,25040

687,-103,302,220,3984,105017569,11652,4

4412,-102,302,220,1552,105001833,11652,4

1037,-107,302,720,5568,1313085,55040,4

128,57,-102,0.00,302,720,2300,6330,4,0

156,33,-105,0.00,302,720,2300,6331,4,0

237,30,-105,0.00,302,720,2300,2362,4,0

583,19,-106,0.00,302,720,2300,1487,4,0

A. Précision à l'aide de la triangulation

Selon les données de la bande 2

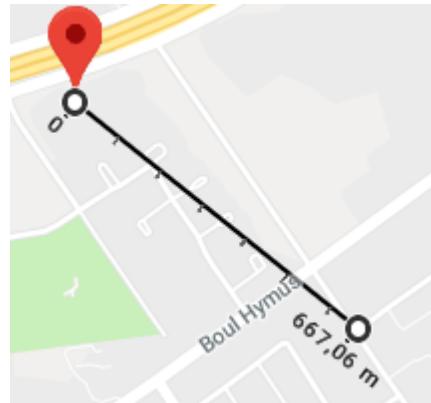


Figure 4: Distance entre calcul de triangulation (bande 2) et le dispositif

Tableau B. 2 Données pour le calcul de la triangulation (Seignory et Stillview)

Bandé	CELL	LAC	RSRP (dBm)	Latitude(°)	Longitude(°)	Ratio Srn
2	105017569	3984	-103	45.455591	-73.854199	0.49047619
2	1313085	5568	-107	45.455987	-73.829721	0.50952381

Latitude, Longitude = 45.4557927714286,-73.8417268761905 Distance = 667,06m

B. Précision à l'aide l'identification de la station de base comportant le plus fort signal

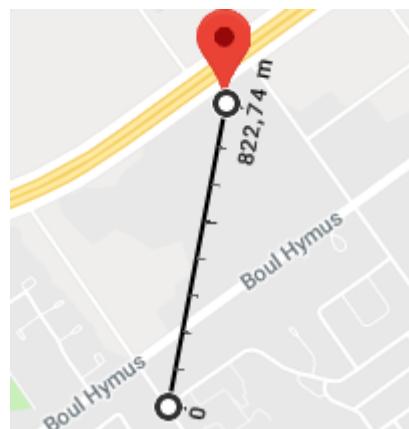


Figure 5: Distance entre la méthode d'identification de la cellule et le dispositif

Latitude, Longitude = 45.459209,-73.833208

Distance = 822,74m

3. Endroit de mesure: Intersection entre boulevard Hymus et de l'avenue Stillview

Résultat de la commande ‘AT#CGREG’

LAC = 25040 CELL= 25603586

Résultat de la commande ‘AT#CSURVC’

2050,-80,302,720,134,25040

1037,-102,302,720,3520,1312184,55040,4

4412,-102,302,220,3984,105007563,11652,4

687,-95,302,220,3984,105017569,11652,4

154,20,-94,0.00,302,720,2300,1461,4,0

575, 0,-95,0.00,302,720,2300,2368,4,0

571,11,-102,0.00,302,720,2300,1467,4,0

128,57,-105,0.00,302,720,2300,6330,4,0

135,44,-106,0.00,302,720,2300,1161,4,0

A. Précision à l'aide de la triangulation

Selon les données de la bande 2

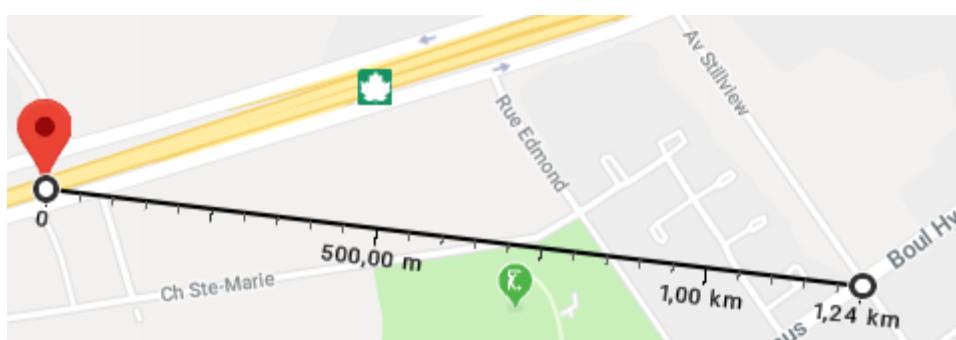


Figure 6: Distance entre calcul de triangulation (bande 2) et le dispositif

Tableau B. 3 Données pour le calcul de la triangulation (Hymus et Stillview)

LAC	CELL	Latitude(°)	Longitude(°)	RSRP(dB)	Ratio Srn
3520	1312184	45.452972	-73.849936	-102	0.517766497
3984	105007563	45.455591	-73.854199	-95	0.482233502538

Latitude, Longitude = 45.4542349695432, -73.8519917614213 Distance = 1.24 km

B. Précision à l'aide l'identification de la station de base comportant le plus fort signal

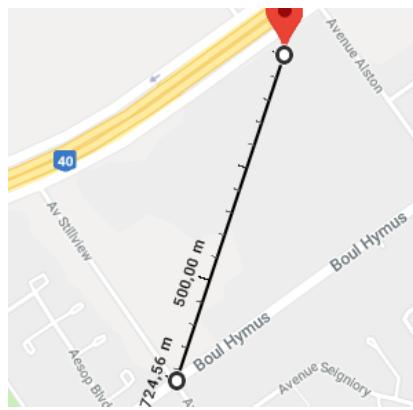


Figure 7: Distance entre la méthode d'identification de la cellule et le dispositif

Latitude, Longitude = 45.459209, -73.833208 Distance = 724.56m

4. Endroit de mesure: Intersection entre boulevard Hymus et de l'avenue Alston

Résultat de la commande ‘AT#CGREG’

LAC = 25040 CELL= 25603586

Résultat de la commande ‘AT#CSURVC’

2050,-69,302,720,302,25040

687,-109,302,220,2384,105008700,11652,4

4412,-107,302,220,848,105001414,11652,4

1037,-90,302,720,5568,1313085,55040,0

412,-94,302,720,5568,1323203,55040,4

575, 0,-73,0.00,302,720,2300,2368,0,0

237,30,-75,0.00,302,720,2300,2362,0,0

129,60,-88,0.00,302,720,2300,2363,0,0

154,13,-103,0.00,302,720,13000,1643,4,0

579, 3,-106,0.00,302,720,2300,2367,4,0

A. Précision à l'aide de la triangulation

Selon les données de la bande 2

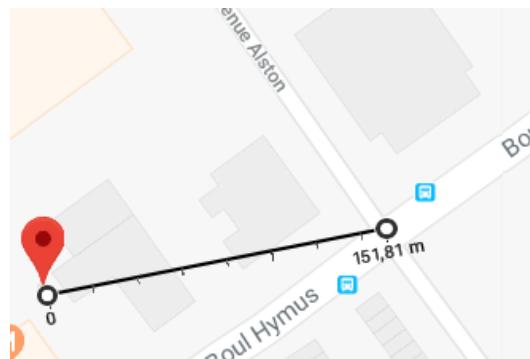


Figure 8: Distance entre calcul de triangulation (bande 2) et le dispositif

Tableau B. 4: Données pour le calcul de la triangulation (Hymus et Alston)

CELL	LAC	RSRP (dB)	Latitude(°)	Longitude(°)	Ratio Srn
1323203	687	-109	45.457424	-73.831093	0.547738693
1313085	1037	-90	45.455602	-73.83025	0.241935483871

Latitude, Longitude = 45.4565999798995,-73.8307117437186 Distance = 151.81m

En utilisant Google Maps et les données de la bande 2, on remarque que la distance entre la localisation du dispositif et l'endroit où la mesure a été prise est d'environ 151.81m.

B. Précision à l'aide l'identification de la station de base comportant le plus fort signal

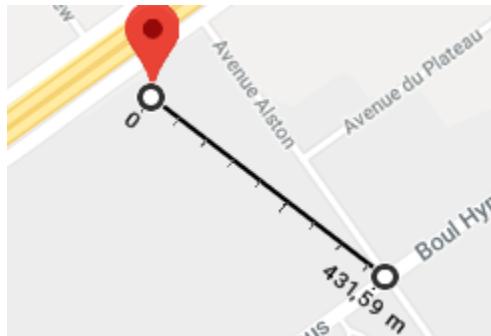


Figure 9: Distance entre la méthode d'identification de la cellule et le dispositif

Latitude, Longitude = 45.459209,-73.833208

Distance = 431,59m

5. Endroit de mesure: Banque Scotia (620 boul Saint-Jean, Pointe-Claire, QC H9R 3K2)

Résultat de la commande ‘AT#CGREG’

LAC = 25040 CELL= 17025538

Résultat de la commande ‘AT#CSURVC’ :

2050,-81,302,720,302,25040

412,-106,302,720,5440,1323201,55040,4

1037,-93,302,720,5440,1313084,55040,4

4412,-90,302,220,2368,104998693,11652,0

687,-86,302,220,2368,105008699,11652,0

437,-104,302,720,5568,1323207,55040,4

132,48,-90,0.00,302,720,2300,2361,0,0

237,30,-91,0.00,302,720,2300,2362,4,0

575, 0,-92,0.00,302,720,2300,2368,4,0

579, 3,-93,0.00,302,720,2300,2367,4,0

135,27,-100,0.00,302,720,2300,12972,4,0

130, 8,-100,0.00,302,720,13000,1973,4,0

A. Précision à l'aide de la triangulation

Selon les données de la bande 2

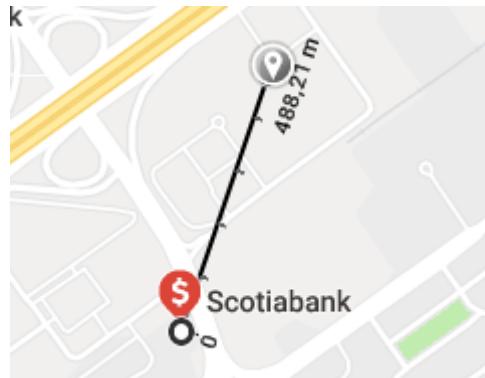


Figure 10: Distance entre calcul de triangulation (bande 2) et le dispositif

Tableau B. 5: Données pour le calcul de la triangulation (Banque Scotia)

LAC	CELL	Latitude(°)	Longitude(°)	RSRP (dB)	Ratio Srn
5440	1313084	45.4632	-73.82412	-93	0.519553073
2368	105008699	45.466145	-73.817886	-86	0.480446927374

Latitude, Longitude = 45.4646149162011,-73.8211248938547

Distance = 484,21m

B. Précision à l'aide l'identification de la station de base comportant le plus fort signal

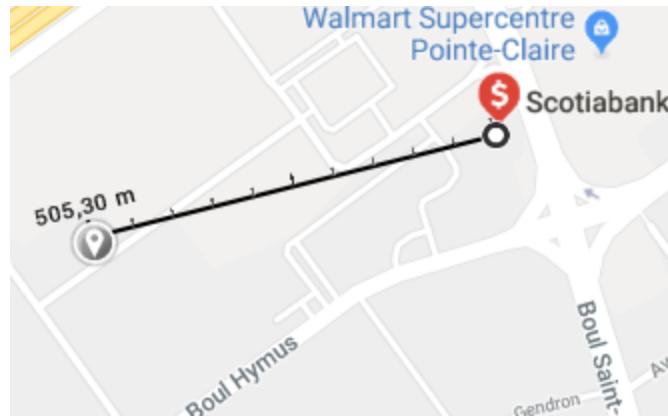


Figure 11: Distance entre la méthode d'identification de la cellule et le dispositif

Latitude, Longitude = 45.459099,-73.829492

Distance = 505,3m