

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ-BOUIRA



Faculté des Sciences et Sciences Appliquées
Département Génie Electrique

Mémoire de fin d'étude

Présenté par :

AZRAR Souhila
KESSOURI Ouissam

En vue de l'obtention du diplôme de **Master en :**

Filière : Télécommunication.

Option : Systèmes des Télécommunications.

Thème :

**Localisation d'un véhicule à base d'un système
Zigbee.**

Devant le jury composé de :

Mr. SAOUD Bilal	MCA	UAMOB	Président
Mr. MEDJEDOUB Smail	MAA	UAMOB	Encadreur
Mr. DJEDDOU Mustapha	MCA	ENP	Examinateur

Année Universitaire 2019/2020

Remerciements:

En tout premier lieu, nous remercions Dieu tout-puissant de nous avoir donné la santé, la force, la volonté et la patience durant toute cette longue années.

Nous exprimons notre sincère remerciement à nos parents pour leur contribution pour chaque travail que nous avons effectué.

*Nous tiens, à exprimer toute notre reconnaissance à notre directeur de mémoire **Mr SMAIL MEDJEDOUB** de nous avoir encadré, orienté, aider et conseillé.*

Nous remercions également les membres de jurys pour l'intérêt qu'ils ont portés à notre travail, et l'honneur qu'ils nous font en participant au jugement de ce travail.

Nous remercions vont aussi à tous les enseignants du département génie électrique et À tous les responsables de notre spécialité qui ont contribué à notre formation.

Sans oublier nos amis collègues qui ont participé de près ou de loin a la réalisation de ce travail.



Dédicace :

À mes chers parents pour tous les sacrifices et les encouragements au long de mes études. Que Dieu, leur prêt bonheur et longue vie, j'espère qu'ils seront fiers de moi.

À mon cher fiancé, frère et adorable sœur et belle sœur, ils vous trouver ici l'expression de mes sentiments de respect et de reconnaissance pour le soutien qu'ils n'ont cessé de me porter.

À ma belle... Binôme OUISSAM.

À tous mes amis (e) et plus particulièrement ceux de notre promotion.

À tous mes professeurs à qui je suis très reconnaissante.

À tous ceux qui me sont chers et proches

À tous ceux que j'aime et qui m'aime.

Je vous dédie ce travail et je vous souhaite une vie pleine de santé et de bonheur.

SOUHILA



Dédicace :

À mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études.

À mon cher fiancé, mes chers frères et aimable sœur et belles sœurs pour leurs conseils et leurs aides encouragements.

À mon binôme SOUHILA.

À mes amis (es), avec lesquels j'ai eu mes moments de joie et de bonheur.

À tous mes enseignants, depuis le primaire jusqu'à l'université

À toutes personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé, qui étaient toujours à mes côtés, et qui m'ont accompagnaient durant mon chemin d'études supérieures

À tous ceux qui me sont chers

Je dédie ce travail.

OUISSAM

Résumé :

Les systèmes et les techniques de localisation s'avèrent indispensables au développement de plusieurs domaines. Le but de ce mémoire est de fournir une application des concepts et des idées de localisation à l'aide d'un système de communication basé sur le protocole Zigbee. A cet effet nous avons effectué une série de tests dans différents environnements ce qui nous a permis une étude du RSSI (puissance du signal reçue) pour une estimation de la distance et tel fut l'objectif fondamental de notre travail.

Mots clés: localisation, RSS, réseau sans fil, Zigbee, Xbee.

Abstract :

Localization systems and techniques are essential for the development of several fields. The aim of this dissertation is to provide an application of localization concepts and ideas using a communication system based on the Zigbee protocol. For this purpose we carried out a series of tests in different environments which allowed us to study the RSSI (received signal power) for an estimation of the distance and this was the fundamental objective of our work.

Keywords: localization, RSS, wireless network, Zigbee, Xbee.

ملخص:

الأنظمة وتقنيات التعقيب ضرورية لتطوير العديد من المجالات. الهدف من هذه المذكرة هو توفير تطبيق لمفاهيم وأفكار التعقيب باستخدام نظام اتصال يعتمد على بروتوكول Zigbee. لهذا الغرض، أجرينا سلسلة من الاختبارات في بيئات مختلفة مما سمح لنا بدراسة RSSI (قوة الإشارة المستقبلة) لتقدير المسافة وكان هذا هو الهدف الأساسي لعملنا.

الكلمات المفتاحية: التموقع، RSS، الشبكة اللاسلكية، Zigbee، Xbee.

Table des matières :

Table des matières	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction générale :	1
Chapitre I: Notions fondamentales sur la localisation	
I.1.Introduction :.....	3
I.2.Définition :.....	3
I.2.1.Architecture d'un système de localisation :	3
I.3.Les catégories de localisation :	4
I.3.1.La localisation descriptive :.....	4
I.3.2.La localisation basée sur les réseaux :.....	5
I.4.Critères des systèmes de localisation :.....	5
I.4.1.Environment de localisation	5
I.4.2.Précision de localisation :.....	6
I.4.3.Localisation ascendante ou descendante :.....	6
I.4.4.Position absolue / position relative / position symbolique :.....	7
I.5.Les systèmes de localisation :	7
I.5.1.Les systèmes de localisation basée sur les satellites :	7
I.5.2.Les systèmes de localisation basés sur les réseaux cellulaires :.....	9
I.5.3.Les systèmes de localisation basés sur les réseaux locaux WLAN :.....	11
I.5.4.Les systèmes de localisation basés sur les réseaux personnels WPAN :	11
I.5.5.Les systèmes de localisation par RFID :	12
I.6.Les métriques et méthodes de localisation :	12
I.6.1.Estimation de la position :.....	12
I.6.2.Les métriques usuelles de localisation :	13
I.6.3.Les méthodes de localisation :	16
I.6.3.1.La triangulation :	16
I.6.3.2.La technique de fingerprinting :	17
I.6.3.3.Méthodes basés sur le calcul de distance :.....	18

I.7. Erreurs de localisation :	20
I.7.1. Modélisation des incertitudes :	20
I.7.2. Évaluation des erreurs :	20
I.7.3. Sources d'incertitudes de localisation :	21
I.8. Conclusion :	21
chapitre II: Les réseaux sans fil et le standard IEEE802.15.4	
II.1. Introduction :	23
II.2. Définition d'un réseau sans fil :	23
II.3. Classification des technologies réseaux :	23
II.3.1. Réseaux locaux sans fil (WLAN) :	24
II.3.1.1. Wifi : IEEE802.11 :	24
II.3.1.2. HiperLAN/2:	27
II.3.2. Les réseaux personnels sans fil (WPAN) :	27
II.3.2.1. IrDA :	27
II.3.2.2. HomeRF :	28
II.3.2.3. Bluetooth : IEEE802.15.1 :	28
II.4. Standard IEEE 802.15.4 :	29
II.4.1. La technologie ZigBee :	29
II.4.1.1. Architecture du standard ZigBee :	29
II.4.1.2. Dispositifs du standard ZigBee :	31
II.4.1.3. Topologies :	32
II.4.1.4. Modes de fonctionnement dans IEEE 802.15.4 :	33
II.4.2. le module XBee :	34
II.4.3. Modes de fonctionnement ZigBee :	35
II.4.4. Caractéristiques du module ZigBee de Digi :	35
II.4.5. L'application XCTU :	37
II.5. Conclusion :	38
Chapitre III: Réalisation pratiques	
III.1. Introduction :	39
III.2. Qu'est-ce que le RSSI :	39
III.3. Etude de l'environnement de travail :	40
III.3.1. Outils matériels :	40
III.3.2. Configuration de module Xbee :	42

III.3.3. Configuration du réseau :	44
III.4. Description de montage principale :	45
III.5. Scénarios expérimentaux :	46
III.5.1. milieu de travail :	47
III.6. Tests et résultats :	48
III.6.1. extraction de la valeur de n et A :	48
III.6.1.1. Environnement LOS:	48
Distances calculées :	50
III.6.1.2. Environnement Out-Door :	51
III.3.7. Conclusion :	53
Conclusion générale :	54
Référence Bibliographiques	55

Liste des figures :

Figure I.1:Schéma synoptique des blocs fonctionnels d'un système de positionne.....	4
Figure I.2:Constellation des satellites du système GPS	9
Figure I.3:Principe de la localisation par proximité dans le cas du réseau GSM.....	10
Figure I.4:Positionnement indoor en utilisant des tags RFID.	12
Figure I.5: Méthode à deux étapes pour l'estimation de la position.	13
Figure I.6:Estimation des TOA au niveau des stations de bases (a) et du mobile (b).....	14
Figure I.7:Schéma du principe de l'AOA.	17
Figure I.8:Trilatération.	19
Figure I.9:Multilatération.	20
Figure II.1:Différents types de réseaux sans fil.	24
Figure II.2:Topologie Infrastructure de 802.11.	26
Figure II.3:Topologie Ad-hoc de 802.11.	26
Figure II.4:Architecture du standard ZigBee.	30
Figure II.5:Dispositifs du standard ZigBee.	31
Figure II.6:Représentation de la topologie en étoile.	32
Figure II.7:Représentation de la topologie point à point.	33
Figure II.8:Structure de la supertrame dans IEEE 802.15.4.	34
Figure II.9:Model et architecture principale du module XBee.	35
Figure II.10:interface principal du logiciel Xctu.....	37
Figure III.1:Découvert des modules radios connectés à ta machine.	42
Figure III.2:Sélection du port COM correspondant.	43
Figure III.3:vérification des paramètres du port COM.	43
Figure III.4:paramètres à modifier.	44
Figure III.5:Connexion des deux modules XBee.	45
Figure III.6:schéma électrique de montage.	46
Figure III.7:milieu de travail.	47
Figure III.8 :Photo du Matériels utilisés.....	47
Figure III.9:Courbes théorique et mesuré du RSS en fonction de d.	50
Figure III.10:Distance réelle et distance mesurée	51
Figure III.11:Courbes théorique et mesuré du RSS en fonction de d.....	52
Figure III.12:Les distances calculées.	53

Liste des tableaux :

Tableau I.1: tableau récapitulatif des métriques de localisation.....	16
Tableau III.1: Matériels utilisés dans la chaine de transmission.....	40
Tableau III.2: Les valeurs de RSS mesuré.	48
Tableau III.3: Les valeurs de RSS mesuré.	51

Liste des abréviations

Liste des abréviations :

Abréviation	Signification anglais	Signification français
16QAM	16-ary Quadrature Amplitude Modulation	Modulation d'Amplitude en Quadrature
AOA	Angl Of Arrival	Angle d'Arrivée
AP	Access Point	Point d'Accès
ATM	Asynchronous Transfer Mode	Mode de Transfert Asynchrone
BCR	Cramer-Rao Bound	Borne de Cramér-Rao
BPSK	Binary Phase Shift Keying	Modulation de Phase Binaire
BSS	Basic Service Set	Ensemble de Service de Base
BSSID	Basic Service Set Identifier	Les Identificateurs de jeu de Services de Base
BTS	Base Tranceiver Station	Station de Transmission de Base
CRC	Cyclic Redundancy Code	Contrôle de Redondance Cyclique
CSMA	Carrier Sense Multiple Access	Accès Multiple avec Écoute de la Porteuse
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access with Colision Avoidance	accès multiple avec écoute de la porteuse
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum	Étalement du Spectre en Séquence Directe
ESS	Extended Service Station	Station de Service Étendue
FDD	Frequency Division Duplexing	Duplexage par Répartition en Fréquence
FFD	Full Function Device	Dispositif Complet
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum	Étalement de Spectre par Saut de Fréquence
FSK	Frequency Shift Keying	Modulation de Fréquence
GDOP	Geometric Dilution Of Precision	Dilution Géométrique de la Précision
GFSK	Gaussian Frequency Shift Keying	Modulation par déplacement de Fréquence à filtrage Gaussien
GNSS	Global Navigaion Satellite System	Système de Positionnement par Satellite

Liste des abréviations

GPS	Global Positioning System	Système Mondial de Positionnement
GSM	Global System for Mobile communication	Groupe Spéciale Mobile
HiperLAN2	High PERFORMANCE Radio Local Area Network	Réseau Local de Haute Performance
Home RF	Home Radio Frequency	Fréquence radio domestique
IEEE	Institut of Electrical and Electronic Engineers	Institut des Ingénieurs Électriciens et Électroniciens
IGN	National Geographic Institut	Institut Géographique National
IGS	International GNSS Service	Service International GNSS
IP	Internet Protocol	Internet Protocol
ISM	Industrial Scientific and Medical	Industriel, Scientifique et Médical
LIDAR	Light (laser)Detection And Ranging	Détection et Estimation de la Distance par Laser
LOS	Line Of Sight	Ligne de vue Directe
LR-WPAN	Low Rate-Wireless Personal Area Network	Réseau Personnel Sans fil à faible débit
MAC	Medium Access Control	Méthode d'Accès au Médium
MIMO	Multiple Input Multiple Output	Entrées Multiple Sortie Multiples
NAVSTAR	NAVigation System by Timing And Ranging	Système Mondial de positionnement
NLOS	None Line Of Sight	Ligne de vue Indirecte
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing	Multiplexage par Répartition en Fréquence Orthogonale
O-QPSK	Orthogonal-Quadrature Phase Shift Keying	Modulation en Quadrature de Phase à Décalage
PAN	Personal Area Network	Réseau Personnel
PDF	Probability Density Function	Fonction de Densité de Probabilité
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying	Modulation en Quadrature de Phase
RFD	Reduced Function Device	Dispositif à Fonction Réduite

Liste des abréviations

RFID	Radio Frequency Identification	Identification par Radio Fréquence
RGP	Permanent GNSS Network	Réseau GNSS Permanent
RMS	Root Mean Squar	Racine de la Moyenne Carré
RSS	Received Signal Stregnth	Puissance de Signal Reçu
RSSI	Received Signal Stregnth Indication	Indicateur de Puissance du Signal Reçu
RTLS	Real Time Location System	Système de Localisation en Temps Réel
SNR	Signal to Noise Ratio	Rapport Signal sur Bruit
SSP	Security Service Provider	Fournisseur de services de sécurité
SWAP	Shared Wireless Access Protocol	Protocole à Accès Sans Fil Partagé
TCP	Transmission Control Protocol	Protocole de Contrôle de transmission
TDMA	Frequency Division Multiple Access	Accès Multiple à Répartition dans le Temps
TDOA	Time Diffrent Of Arrival	Différence entre les Temps d'Arrivée
TOA	Time Of Arrival	Temps d'Arrivée
UMTS	Univesel Mobile Télécommunication System	Système de Télécommunication Mobile
WiFi	Wireless Fidelity	Fidélité sans fil
WLAN	Wireless Local Area Network	réseau Local Sans fil
WMAN	Wireless Metropolitan Area Network	Réseau Métropolitain Sans Fil
WN	Wireless Network	Réseau Sans fil
WPAN	Wireless Personal Area Network	Réseau Personnel Sans fil
WSN	Wireless Sensors Network	Réseau de capture sans fil
WWAN	Wireless Wide Area Network	Réseau étendus Sans fil
ZC	ZigBee Coordinator	Coordinateur ZigBee
ZDO	ZigBee Device Object	Objet Périphérique ZigBee

Introduction

Générale

Introduction générale

Introduction générale :

Depuis plusieurs années, les systèmes de suivi sont devenus de plus en plus accessibles au grand public et continuent de s'améliorer. Le concept de base de tout emplacement est « référence ». C'est sur cette notion au début que les hommes se sont identifiés à partir de techniques de localisation utilisant des éléments naturels comme points de référence comme le soleil, la lune et les étoiles [3]. De l'ancien astrolabe au GPS actuel en passant par la boussole, le sextant, le gyroscope et le satellite, ceux-ci ont accompagné et souvent même initié son développement économique, scientifique et social tout au long de notre ère. [28]

De nos jours l'explosion technologique et l'évolution des nouveaux systèmes de communication tels que les systèmes satellitaires, les réseaux cellulaires, les réseaux locaux sans fil (WLAN), les réseaux personnels sans fil (WPAN) et les réseaux de capteurs sans fil (WSN) mènent à des nouvelles formes et techniques de localisation.

Il existe des différents types de technologies de positionnement qui permettent de déterminer la position des utilisateurs. Il dispose de systèmes utilisant des ondes radio, tels que : GSM, GPS, WIFI ... Ils sont basés sur des technologies de mesure (AOA, TOA, TDOA, RSS) et des algorithmes localisés (mesure trilatérale, triangulation, remplissage), et d'autres systèmes ne nécessitent pas de fondation précise. Architecture ou algorithme, vous n'avez besoin que d'une base de données par exemple : IP, Cell-ID ... [2]

Afin d'atteindre notre objectif, qui est la localisation d'un objet mobile, nous avons divisé notre projet en trois chapitres:

- Le premier chapitre définit la polyvalence des systèmes de positionnement, tels que (GPS, GSM, Wifi, RFID), la mesure de localisation (AOA, TOA, TDOA, RSS) et différentes méthodes (triangulation, mesure trilatérale, mesure multilatérale).

Introduction générale

- Le deuxième chapitre présente spécifiquement certains types de réseaux sans fil (HiperLAN2, HomeRF, etc.) et les normes IEEE802.15.4.
- Le troisième chapitre est basé sur l'analyse et le concept du programme d'application qui utilise la puissance du signal reçu (RSS) pour le calcul de la distance.

Nous terminons ce travail par une conclusion globale qui nous permet de résumer les travaux réalisés et de donner quelques perspectives.

Une phrase d'estimation et de filtrage est envisagée dans les futures travaux afin de réduire les erreurs de mesures .

Chapitre I :

Notions fondamentales sur la localisation.

I.1.Introduction :

Les systèmes de localisation sont essentiels pour développer un grand nombre de systèmes pertinents et améliorer plusieurs domaines.

Dans ce chapitre on va décrire et présenter quelques notions de base sur les systèmes de localisation tel que ces différentes techniques et méthodes ainsi que ces métriques usuelles.

I.2.Définition :

La localisation est un processus de positionnement d'un objet (personne, information, etc.) sur un plan ou une carte à l'aide de ses coordonnées géographiques.

Derrière ce mot complexe il y a donc un concept assez simple: en donnant origine et coordonnées, chacun est capable de trouver un objet grâce aux technologies de localisation.

Là où les choses se compliquent, c'est que la personne à qui l'on veut localiser l'objet doit connaître le lieu d'origine, il faut donc avoir un langage universel, que tout le monde peut comprendre (comme une carte). [1]

I.2.1.Architecture d'un système de localisation :

Un schéma synoptique de base des blocs fonctionnels d'un système de positionnement est proposé dans la **figure I.1** il se compose : d'un certain nombre de dispositifs de détection, d'un algorithme de positionnement et d'un système d'affichage.

D'abord, les capteurs détectent les signaux transmis ou reçus par des points de référence, de positions connues, utilisant différentes technologies de détection : radio, infrarouge, ou ultrason....etc. La technique de détection convertit le signal reçu en métrique de positionnement telles que : temps d'arrivée (TOA), angle d'arrivée (AOA), temps différentiel d'arrivée (TDOA), ou la puissance du signal reçu (RSS). Etant donné un ensemble de points de référence connus, une position relative de la station mobile peut être dérivée grâce à ces métriques. [2]

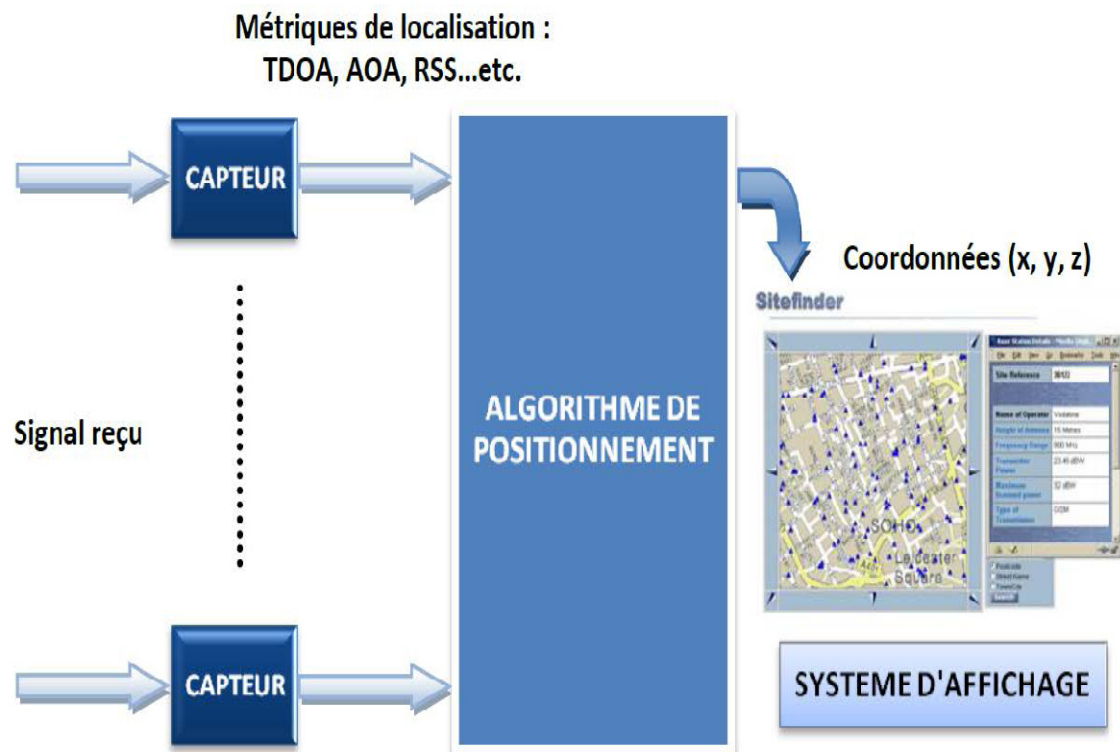


Figure I.1:Schéma synoptique des blocs fonctionnels d'un système de positionnement.[2]

Après, l'algorithme de positionnement traite la métrique et estime la position du mobile en utilisant différentes approches. Finalement, le système d'affichage convertit les informations sur la position en format approprié pour l'utilisateur. Un cadre général, pour la conception de système de positionnement et l'évaluation des performances, est exigé pour le succès et la croissance de cette technologie. Il existe quatre critères de choix pour les systèmes de positionnement qui sont : la performance, le coût, la complexité, la sécurité, et les besoins de l'application. [2]

I.3. Les différentes catégories de localisation :

I.3.1. La localisation descriptive :

Les localisations descriptives sont généralement associées à des objets géographiques naturels (Tels que des territoires, des montagnes, des lacs (...)) ou des objets géographiques artificiels (tels que des limites, des villes, des pays, des routes, des bâtiments ou l'intérieur d'un bâtiment, etc.). Ces structures sont référencées par des descriptions, qui peuvent être des noms, des identifiants ou des numéros, et sont donc le nom de cette catégorie d'emplacement. Par conséquent, la localisation descriptive est un concept de base dans notre

vie quotidienne, utilisée pour organiser les rendez-vous, la navigation ou la fourniture de biens et de courrière. [3]

I.3.2.La localisation basée sur les réseaux :

La localisation basée sur le réseau fait référence à la topologie du réseau de communication, par exemple, les systèmes Internet ou cellulaires tels que le Global System for Mobile Communications (GSM) ou l'Universal Mobile Telecommunications System (UMTS). Ces réseaux sont composés de nombreux réseaux locaux (parfois appelés sous-réseaux), qui sont connectés par une topologie hiérarchique de circuits principaux. Lors de la fourniture de services sur le réseau, on suppose que l'emplacement de l'utilisateur du périphérique par rapport à la topologie du réseau est connu.

Ce type de localisation est obtenu à partir d'une adresse réseau contenant des informations de routage et est associé au service d'annuaire, au numéro de carte, à l'identifiant ou au nom disponible dans l'adresse réseau. Par exemple, pour Internet, l'emplacement réseau fait référence au réseau local. Par conséquent, l'emplacement est obtenu à partir de l'adresse IP de l'utilisateur sur le réseau. Dans un réseau de téléphonie mobile, le chemin du réseau est connecté à la station de base à laquelle le terminal mobile est connecté. [3]

I.4.Critères des systèmes de localisation :

I.4.1.Environnement de localisation

Les systèmes de localisation sont adaptés à la nature de l'espace d'intérêt et à ses dimensions. Deux principaux types d'environnements sont identifiés :

1) Espaces ouverts avec des conditions de propagation en LOS où il y a généralement un chemin direct.

2) Un espace confiné avec des conditions de propagation en NLOS et une propagation par trajet multiples provoquée par des obstacles

Les techniques de triangulation sont les mieux adaptées aux environnements extérieurs et à longue portée. Les systèmes de localisation par satellite offrent une précision et une disponibilité adéquates dans les zones rurales et faiblement urbanisées. Dans les zones confinées ou fortement urbaines, la plupart des systèmes sont basés sur des infrastructures WN (Wireless Network) existantes ou mises en œuvre pour cette activité. Les techniques basées sur l'analyse de la situation sont les plus couramment utilisées dans les espaces confinés. [4]

I.4.2. Précision de localisation :

Selon la nature de l'application et les dimensions de la zone d'intérêt, la précision requise peut varier de quelques centimètres à des dizaines voire des centaines de mètres. La précision d'environ trois mètres est excellente pour localiser une personne ou un objet dans une ville. Alors que ce même niveau de précision est inacceptable dans une application qui permet aux robots de se déplacer de manière autonome dans une maison. .

La précision dépend également de l'équipement utilisé pour la localisation. Un système qui utilise des outils supplémentaires pour détecter les mouvements (accélération ou rotation) permet une meilleure précision qu'un système basé uniquement sur la puissance ou l'heure d'arrivée des signaux, par exemple. Cependant, la précision retournée par le RTLS (Real Time Localization System) basé sur les technologies sans fil est le critère à améliorer pour répondre à des exigences plus strictes, d'où le grand nombre d'œuvres intéressées par ce problème. [4]

I.4.3. Localisation ascendante ou descendante :

Il existe deux façons différentes de mettre en œuvre un système de suivi.

Dans l'approche ascendante, le nœud mobile transmet des signaux qui seront captés et analysés par la station de référence. Ces données seront ensuite convergées vers une station centrale, qui est chargée de calculer la position. La technologie de positionnement basée sur la triangulation par mesure de l'AOA du signal utilise cette méthode.

Dans la méthode descendante, le mobile reçoit un signal d'une station de référence et l'interprète pour calculer sa position. Le GPS utilise cette méthode.

Cependant, une étude sur l'adéquation des deux architectures de localisation doit être envisagée. Dans une architecture descendante, le calcul de position est effectué sur une plateforme embarqué avec un équipement de nœud mobile. Par conséquent, il est nécessaire :

- 1) équiper cette plateforme d'un processeur et d'un espace mémoire suffisant pour effectuer les calculs nécessaires et assurer son autonomie en énergie.
- 2) réduire le volume de données à traiter et la complexité des algorithmes de localisation pour diminuer le temps de calcul de la position, la plus proche possible de la position courante du nœud mobile. [4]

I.4.4.Position absolue / position relative / position symbolique :

La position absolue : Définie selon latitude, longitude et l'altitude. Ces coordonnées permettent de se référencer universellement une position géographiques sur la terre.

La position relative : Permet de positionner l'objet par rapport à la position de référence. La position relative est définie par les coordonnées dans un repère cartésien. Les coordonnées sont généralement orthogonales et centrées sur le point inférieur gauche de la zone d'intérêt. Ce dernier type est largement utilisé dans les environnements confinés, et pour certains types d'applications (par exemple, placer un robot dans son environnement ou placer des objets dans un entrepôt), il est généralement plus significatif qu'une position absolue.

La position symbolique : Représenté par une région sémantique, qui est nettement plus petite que la région entière d'intérêt qui remplit une fonction différente de ces voisines. En fonction de l'application, le type d'emplacement choisi doit pouvoir porter des informations de localisation utiles et satisfaisantes. [4]

I.5.Les systèmes de localisation :**I.5.1.Les systèmes de localisation basée sur les satellites :**

Le système de positionnement par satellite s'appuie sur la constellation de satellites de navigation pour déterminer l'emplacement de l'utilisateur. Nous appelons GNSS (Global Navigation Satellite System) un système de navigation par satellite qui peut fournir des services de positionnement géographique couvrant le monde. [5]

Ce sont les Américains qui ont créé la première constellation de satellites GNSS dans les années 1970 : le GPS (Global Positioning System). Pendant, longtemps, ce fut la seule constellation pleinement opérationnelle. Avant l'arrivée de la constellation russe GLONASS (Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema) qui fournit des services mondiaux depuis 2011. Avec le dernier développement de nouvelles constellations telles que le nouveau système Galileo en Europe, le système COMPASS-Beidou en Chine, IRNSS en Inde ou QZSS au Japon, le réseau GNSS de positionnement devient de plus en plus dense. [6]

Actuellement, toute personne équipée d'un système de positionnement par satellite peut déterminer son emplacement à quelques dizaines de mètres. Il peut également connaître l'heure (en microsecondes). Cela est dû au système de positionnement américain GPS, qui est le seul système de positionnement complet aujourd'hui. [7]

I.5.1.1 Le système de positionnement par satellite GPS :

Le système NAVSTAR (système de navigation développé par Timing And Ranging), connu sous le nom de GPS (Global Positioning System), est un système de positionnement par satellite développé et géré par le département américain de la Défense (USDoD). Il a été créé en 1978, le premier satellite a été lancé et son fonctionnement a été officiellement annoncé en février 1994. Depuis, ce système est bien maintenu et est utilisé actuellement dans de nombreuses applications civiles.

Les satellites de ce système émettent en continu des signaux qui peuvent être reçus par des récepteurs appropriés situés n'importe où sur la terre ou dans couches basses de l'atmosphère. Le récepteur utilise les informations contenues dans le signal pour calculer sa position (longitude, latitude et altitude) et l'heure. Ces informations comprennent les paramètres du système, les données satellitaires reçues et les données communes à tous les satellites. Le système GPS se compose de trois segments :

- le segment spatial,
- le segment de contrôle,
- le segment utilisateur. [7]

Le segment spatial : Composé d'un ensemble des satellites (généralement une vingtaine de couverture mondiale).

Le segment de contrôle : Contrôle le système en déterminant et en prédisant les paramètres d'orbite et d'horloge de chaque satellite. Un groupe de stations au sol envoie ces paramètres (pour la constellation GPS, environ toutes les 8 heures) à tous les satellites.

Le segment utilisateur : Correspond à tous les utilisateurs civils et militaires du système. Nous mentionnerons spécifiquement les organisations nationales et internationales qui maintiennent leurs propres réseaux GNSS permanents composés de stations au sol, comme l'IGS (International GNSS Service) ou le RGP (Permanent GNSS Network) établi et maintenu en France par l'IGN (National Geographic Institute). Ces organisations collectent et traitent les données de diverses constellations GNSS avant de les réaffecter aux utilisateurs.

[6]

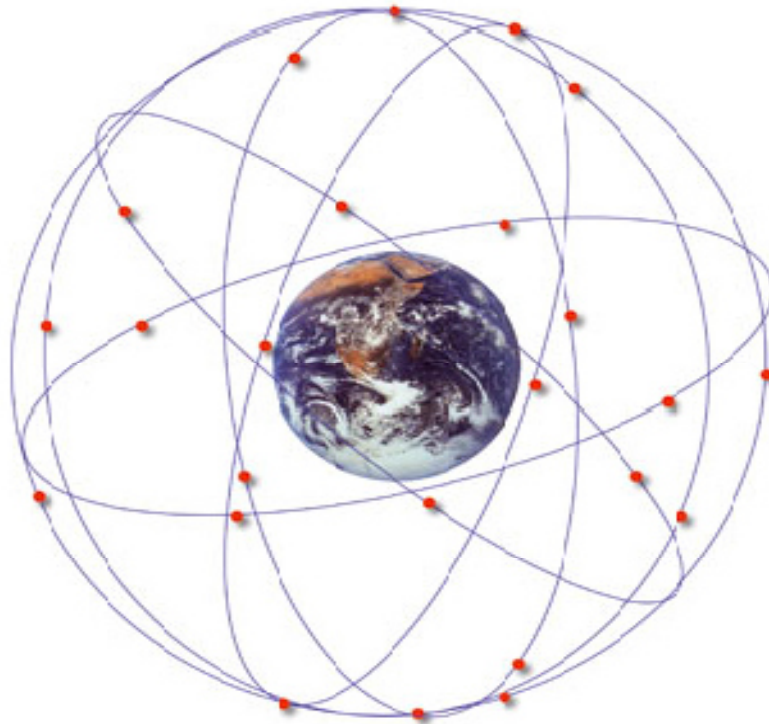


Figure I.2:Constellation des satellites du système GPS. [5]

I.5.2. Les systèmes de localisation basés sur les réseaux cellulaires :

Le réseau de télécommunications a été développé dans les années 90 et de nombreuses stations de base qui envoient des signaux à partir de téléphones portables ont été installées. Au départ, bon nombre de ces réseaux cellulaires n'étaient pas destinés à des applications autres que la communication et la transmission d'informations.

I.5.2.1. Localisation par les réseaux GSM :

Étant donné que le réseau de téléphonie mobile GSM est (en Europe) le réseau sans fil le plus largement déployé et utilisé (en Europe), il fournit une plate-forme matérielle et logicielle pour les services de localisation. Selon le principe cellulaire que chaque Base Transceiver Station (BTS) couvre une zone limitée, chaque station mobile peut se positionner par rapport à son BTS local dans le cas d'une localisation par proximité. **La Figure I.3** illustre le principe de cette technologie, où les positions de toutes les stations mobiles dans une cellule sont similaires aux positions de la BTS desservant la cellule. L'identité de la cellule serveur étant les informations accessibles sur le réseau GSM, cette méthode de positionnement ne nécessite aucune modification de l'équipement existant. De plus, il n'est pas nécessaire de calculer l'emplacement de l'appareil mobile, ce qui réduit considérablement le temps de réponse. [8]

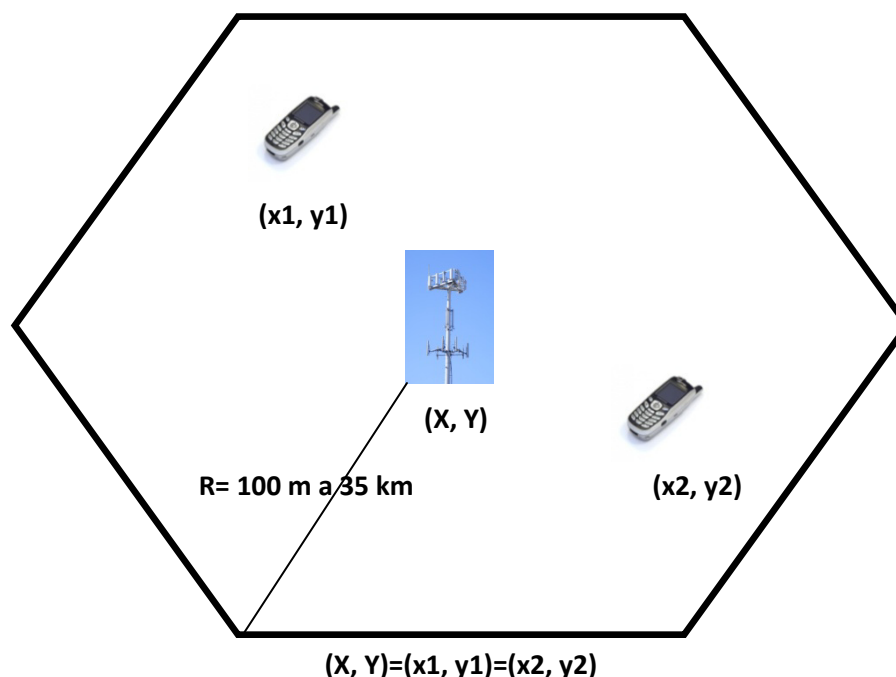


Figure I.3:Principe de la localisation par proximité dans le cas du réseau GSM. [8]

Cette solution présente donc des avantages incontestés, mais sa précision est étroitement liée à la taille de la cellule en question : en zone rurale, le GSM peut atteindre un rayon d'environ 30 kilomètres. Même si des pico cellules (dizaines de mètres) sont utilisées en milieu urbain, les performances de cette solution ne permettent pas de les utiliser à l'intérieur. [8]

I.5.2.2 Localisation par identification de la cellule (Cell-ID) :

Le concept était à l'origine utilisé dans les réseaux cellulaires pour suivre les téléphones portables. La technologie est simple, rapide, peu coûteuse et ne nécessite aucun autre matériel pour la localisation. L'emplacement du téléphone est l'emplacement de l'antenne-relais à laquelle il est connecté. Par conséquent, si le téléphone mobile se trouve dans la zone de couverture d'une seule antenne, la précision est de limiter la portée de l'antenne à 500 mètres dans la zone urbaine. Si le téléphone se trouve dans plusieurs zones de couverture en même temps, la triangulation peut être utilisée pour améliorer la précision. Dans les zones urbaines, avec des distances plus courtes et une densité de tours cellulaires plus élevée, les utilisateurs peuvent se trouver à portée de plusieurs antennes en même temps. Dans ce cas, la localisation de la cible peut être restreinte à une petite zone correspondant à l'intersection des cellules desservies par différentes antennes. [4]

I.5.3. Les systèmes de localisation basés sur les réseaux locaux WLAN :**I.5.3.1. Localisation par WiFi :**

De la même façon qu'un terminal GSM peut se localiser par la méthode du Cell ID sur un réseau GSM, un terminal WiFi peut utiliser la même méthode en se basant sur les identifiants des bornes WiFi (adresses MAC) qu'il détecte.

La technologie basée sur RSS est la plus couramment utilisée dans le Wi-Fi, et il est peu probable que le Wi-Fi utilise la méthode TOA, car le point d'accès n'est pas synchronisé avec le récepteur. Semblable à la technologie TDOA, le point d'accès radio doit avoir une horloge très précise et bien synchronisée. Certains systèmes utilisent cette technologie TDOA, mais nécessitent un autre matériel (point d'accès ou récepteur spécifique) pour mesurer le décalage horaire. La technologie AOA nécessite une antenne motorisée (ou à balayage) pour déterminer l'angle de réception. Elle n'est actuellement pas utilisée avec l'antenne d'un point d'accès WiFi, mais l'arrivée du système Wi-Fi MIMO (MIMO: Multiple Input Multiple Output) peut changer cette situation. [2]

I.5.4. Les systèmes de localisation basés sur les réseaux personnels WPAN :**I.5.4.1. Localisation par Bluetooth :**

Bluetooth est connu sous le nom de norme IEEE 802.15.1. Ce Bluetooth est basé sur un système radio sans fil conçu pour les appareils à courte portée et les appareils à faible coût pour remplacer les souris, les claviers, les manettes de jeu et les imprimantes. Cette gamme d'applications est appelée réseau personnel sans fil (WPAN : Wireless Personal Area Network). [9]

Dans le système de positionnement Bluetooth, le serveur est situé dans une zone où l'emplacement de la station client doit être estimé. Ces serveurs sont programmés pour donner les coordonnées de la position du client demandeur. Vous pouvez également utiliser des appareils Bluetooth qui n'ont pas de programme spécifique pour gérer les demandes de positionnement. La méthode de positionnement suppose que si une connexion est établie, le client demandeur se trouve à moins de 10 mètres du serveur. Lorsque le client établit une connexion avec deux ou plusieurs serveurs de positionnement, une grande précision peut être obtenue. [2]

I.5.5. Les systèmes de localisation par RFID :

La technologie RFID, en français « Identification par Radio Fréquence », en anglais «radio-frequency Identification »,

Cette technologie permet d'identifier un objet ou une personne (voir **Figure I.4**), d'en suivre le cheminement et d'en connaître les caractéristiques distance grâce à une étiquette émettant des ondes radio, attachée ou incorporée à l'objet ou à la personne. Du fait que les composants RFID sont moins chers, la technologie est devenue plus répandue et plus médiatisée ces dernières années. [2]

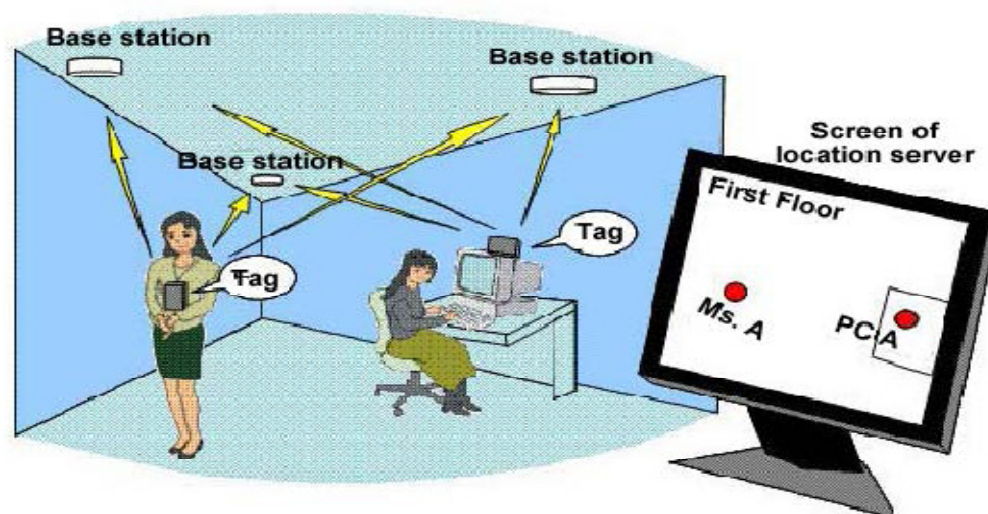


Figure I.4:Positionnement indoor en utilisant des tags RFID. [2]

Il existe deux types de systèmes RFID, les systèmes RFID passifs et actifs :

- Dans un système passif, les étiquettes sont petites, peu coûteuses et couvrent une petite zone. Dans un système passif, l'étiquette qui suivie est le récepteur.
 - Dans un système actif, une étiquette active est un émetteur-récepteur qui envoie en permanence son identification et d'autres informations. Ainsi, par rapport aux tags passifs, ces tags sont plus coûteux et les tags actifs couvrent une plus grande surface.
- [3]

I.6. Les métriques et méthodes de localisation :

I.6.1. Estimation de la position :

L'estimation de la position peut s'effectuer directement à partir des signaux radio échangés entre les nœuds émetteur et récepteur, appelé positionnement direct, ou par des approches à deux étapes. Ces dernières consistent en premier lieu à l'estimation des

paramètres de localisation (ex. TOA, TDOA, AOA, RSS) à partir des signaux reçus, puis l'estimation de la position à partir de ces paramètres en utilisant des techniques comme la triangulation, la trilatération ou la multilateration, voir la figure 1.5. Bien que les approches à deux étapes soient en général sous-optimales, leur complexité est inférieure aux approches directes avec des performances généralement très proches pour des SNR et bande passante suffisamment élevée. C'est pourquoi la plupart des systèmes pratiques adoptent l'approche à deux étapes. [10]

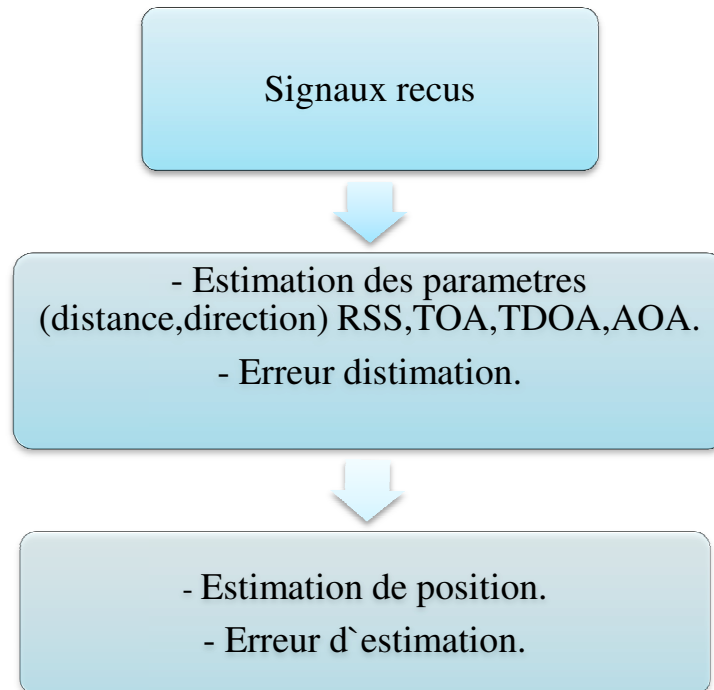


Figure I.5: Méthode à deux étapes pour l'estimation de la position. [10]

I.6.2. Les métriques usuelles de localisation :

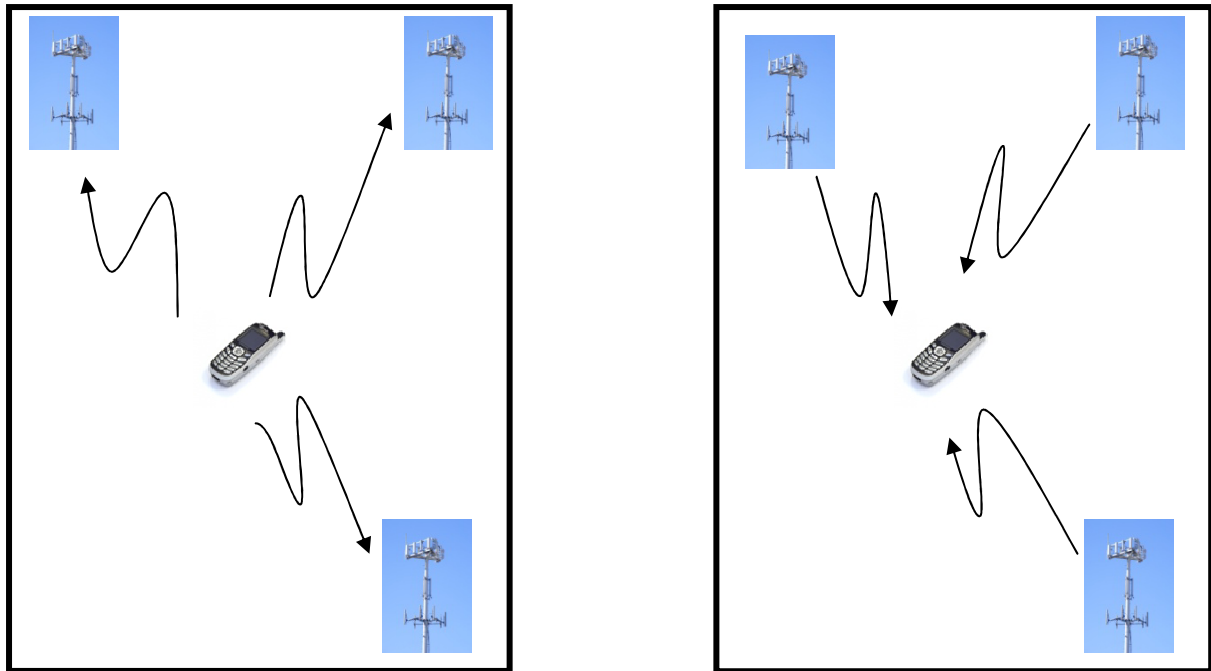
I.6.2.1 Temps d'arrivée (TOA) :

La technologie TOA (Time of Arrival) suppose que les nœuds du réseau sont synchronisés. La distance entre les deux capteurs est dérivée de la vitesse de propagation du signal et de la différence entre l'instant d'envoi et de réception du message. Cette technologie est la technologie utilisée par le système GPS (Global Positioning System). [11]

Quand les entités sont parfaitement synchronisées, ce procédé s'appelle Temps d'Arrivée (Time Of Arrival, TOA). Deux stratégies sont possibles :

- Soit que l'estimation des temps d'arrivée s'effectue à l'aide des signaux de la liaison montante, émis par le mobile et reçus au niveau des BS (**figure (a)**).

- Soit que l'estimation des temps d'arrivée est réalisée à partir des signaux de la liaison descendante, les signaux destinés au mobile (**figure (b)**). [2]



Liaison montante(a)

Liaison descendante(b)

Figure I.6: Estimation des TOA au niveau des stations de bases (a) et du mobile (b). [2]

Lorsque les nœuds ne sont pas synchronisés, ils doivent envoyer des messages aller-retour. En fonction de son horloge, de la vitesse de propagation du signal et du temps de traitement du signal reçu, le capteur récepteur obtient la distance qui le sépare du capteur émetteur en calculant la différence entre les instants d'émission et de réception, en y soustrayant le temps de traitement du signal, puis en divisant le résultat par deux. Cela suppose que les nœuds du réseau ont un temps de traitement du signal identique. [11]

I.6.2.2. Différence de temps d'arrivée (TDOA) :

La technologie TDOA (Time Difference of Arrival) est basée sur la différence de temps d'arrivée d'un ou plusieurs signaux, et suppose également que la vitesse de propagation du signal est connue. Cette technique s'applique dans les situations suivantes :

- ❖ L'émetteur envoie différents types de signaux au récepteur (par exemple, ultrasons, ondes radio, ect...);
- ❖ le récepteur reçoit des signaux de même nature d'au moins trois émetteurs
- ❖ L'émetteur envoie le signal reçu par au moins trois récepteurs.

Dans chaque cas, le récepteur corrèle ses informations et déduit la distance qui le sépare de l'émetteur. C'est une solution simple à un système d'équations dont les distances sont les inconnues. [11]

I.6.2.3.Puissance du signal (RSS) :

La puissance émise et reçue du signal peut également être utilisée pour obtenir la distance entre deux capteurs. La technologie RSSI (Received Signal Strength Indicator) prend en compte la perte de puissance du signal entre l'émission et la réception. La perte varie en fonction de la distance entre les deux capteurs : plus le capteur est éloigné (respectivement proches), plus la perte est importante (respectivement faible). Ensuite, cette perte sera convertie en distance. [11]

I.6.2.4.Angle d'arrivée (AOA) :

La technologie AOA (Angle of Arrival) calcule l'angle formé entre deux capteurs. Chaque capteur possède une antenne directionnelle afin de déduire l'angle qu'il fait avec le voisin lorsque le capteur envoie un signal au voisin. L'angle est rapporté par rapport à l'axe spécifique du capteur. Cependant, le capteur peut être équipé d'une boussole, auquel cas l'angle sera transmis à l'un des axes nord, sud, est ou ouest. [11]

I.6.2.5.Résumé de la technologie de localisation :

Le **tableau I.1** représente les différentes techniques de localisation, leurs principale avantages et inconvénients :

Technique de localisation	Avantages	inconvénients
RSS puissance de signal	<ul style="list-style-type: none"> - Implémentation Faible - Algorithme de localisation simple - Disponibilité des modèles mathématiques d'atténuation 	<ul style="list-style-type: none"> - Nécessité d'avoir le trajet direct - Précision faible -mauvaise performance en présence de trajet multiples
AOA Angle d'arrivée	<ul style="list-style-type: none"> - Algorithme de localisation simple - nombre de stations de base fixe réduit 	<ul style="list-style-type: none"> - Nécessité d'avoir le trajet direct - Coût d'implémentation élevé, - Sensible aux trajets multiples
	<ul style="list-style-type: none"> - Précision élevée en milieu confiné 	<ul style="list-style-type: none"> - Synchronisation entre émetteur et récepteur

<p>TOA Temps d'arrivée</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Bonne estimation des paramètres - Algorithme de localisation simple 	<ul style="list-style-type: none"> - Nécessité d'avoir le trajet direct - Nécessité d'une résolution temporelle élevée au récepteur
<p>TDOA Différence des temps d'arrivée</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Précision élevée en indoor - Bonne estimation des paramètres - Algorithme de localisation simple - Pas de synchronisation entre émetteur-récepteur 	<ul style="list-style-type: none"> - Synchronisation entre récepteurs ou émetteurs - Nécessité d'avoir le trajet direct - Nécessité d'une résolution temporelle élevée au récepteur

Tableau I.1:tableau récapitulatif des métriques de localisation.[3]

I.6.3.Les méthodes de localisation :

I.6.3.1.La triangulation :

La triangulation est une méthode de positionnement qui utilise au moins deux angles d'arrivée (AOA). Pour appliquer cette méthode, le mobile doit connaître les angles θ_1 et θ_2 représentés sur la **Figure I.7**, et la distance S_1S_2 entre les deux stations de base. [3]

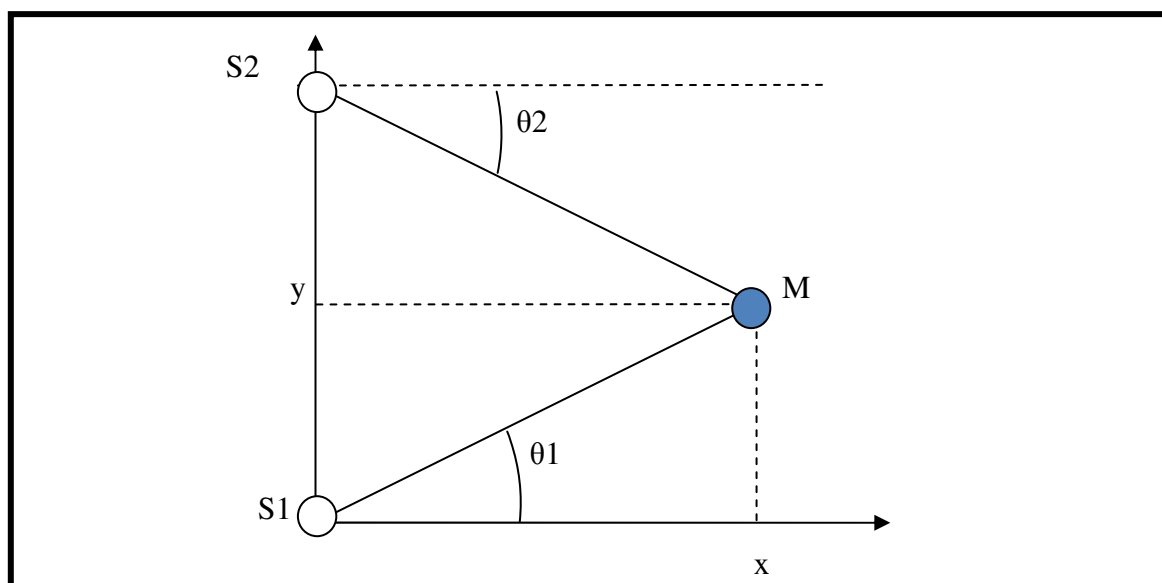


Figure I.7:Schéma du principe de l'AOA. [3]

Supposons que la station mobile M (x, y) à un emplacement inconnu soit la source du signal reçu par les stations S1 (x1, y1) et S2 (x2, y2). Mesurer l'angle d'arrivée des signaux θ_1 et θ_2 entre les axes (MS1) et (MS2) et les axes perpendiculaires à la direction (S1S2) dans S1 et S2, respectivement. En supposant que le premier signal arrive toujours le long du trajet direct, il peut être estimé à l'aide d'une antenne directionnelle ou d'un réseau d'antennes directionnelles. Afin de déterminer la position de M, nous définissons un repère avec S1 comme origine et (S1S2) comme axe des ordonnées (**Figure I.7**). Une fois ces angles estimés par la technologie AOA, nous pouvons facilement déterminer la caractéristique S1MS2 du triangle. Soit:

$$S1M = \frac{S1S2 \times \cos \theta_2}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} \quad (\text{I.1})$$

$$S2M = \frac{S1S2 \times \cos \theta_1}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} \quad (\text{I.2})$$

La position du mobile M est alors déterminée à partir des équations (I.3) et (I.4).

$$x = \frac{S1S2}{\tan \theta_1 + \tan \theta_2} \quad (\text{I.3})$$

$$y = \frac{S1S2 \tan \theta_1}{\tan \theta_1 + \tan \theta_2} \quad (\text{I.4})$$

I.6.3.2. La technique de fingerprinting :

Les méthodes de Pattern matching ou Fingerprinting sont basées sur la fusion de données sous la collecte de données. Ces données peuvent être RSS, AOA, TOA et/ou TDOA, et cela se fait en deux étapes. Dans la première étape ou étapes d'apprentissage, les caractéristiques environnementales sont mesurées à différents endroits et les données sont stockées avec des informations de référence spatiale. Cette étape est également appelée phase hors ligne, car elle est généralement effectuée avant l'activation du service de localisation fourni par le réseau. La deuxième étape ou phase en ligne démarre lors de l'opération réel de positionnement. Mesurez les mêmes caractéristiques environnementales et comparez les résultats avec les valeurs stockées (Valeurs de paramètres obtenues dans la première étape)

En fonction de l'évolution des caractéristiques mesurées dans le temps, cette méthode peut être très efficace. Cependant, lorsque la zone de couverture devient plus grande et qu'un

grand nombre de capteurs sont impliqués, la taille de la base de données augmentera considérablement, ce qui rend l'utilisation simple du fingerprinting fastidieuse en terme de temps de calcul. De plus, toute modification de la configuration (comme le déplacement d'une balise ou la modification de l'environnement) impliquera la création d'une nouvelle base de données. [3]

I.6.3.3.Méthodes basés sur le calcul de distance :

I.6.3.3.1.La trilatération :

La trilatération est une méthode qui utilise la géométrie des triangles pour déterminer la position du mobile récepteur (M) similaire à la méthode de triangulation. [3]

Soit les trois balises B1, B2 et B3, et M le nœud mobile que nous voulons localiser. L'exécution du protocole de mesure de distance produit des triplets (d1, d2, d3), et l'échange de données permet à la station mobile de connaître l'emplacement de la balise. Les formules (I. 5) et (I. 6) décrivent la relation entre B1, B2 et M. [12]

$$(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 = d_1^2 \quad (\text{I.5})$$

$$(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 = d_2^2 \quad (\text{I.6})$$

Par conséquent, la position idéale est à l'intersection des cercles C1 (B1, d1) et C2 (B2, d2). Dans le cas général, C1 et C2 se rencontrent en deux points distincts M et M'. En raison des données du point d'ancre B3, l'un de ces deux candidats peut être réservé comme position de l'appareil mobile (**Figure I.8**). [12]

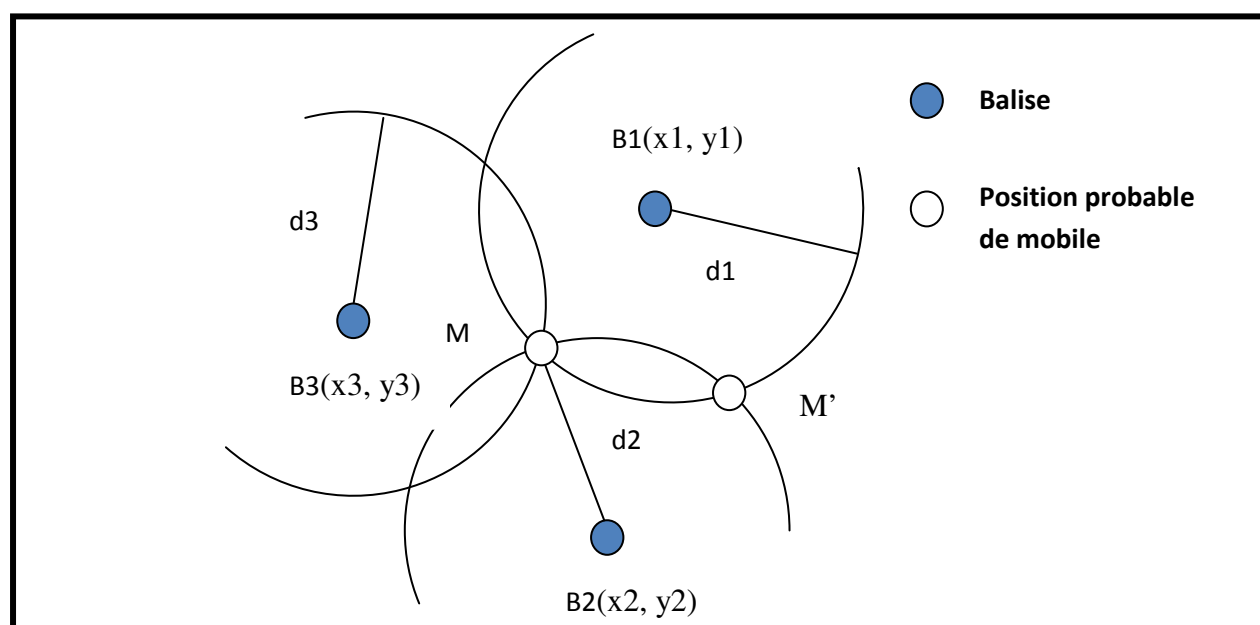


Figure I.8:Trilatération. [12]

La multilatération utilise la différence entre le temps d'arrivée du signal ou TDOA pour calculer l'emplacement.

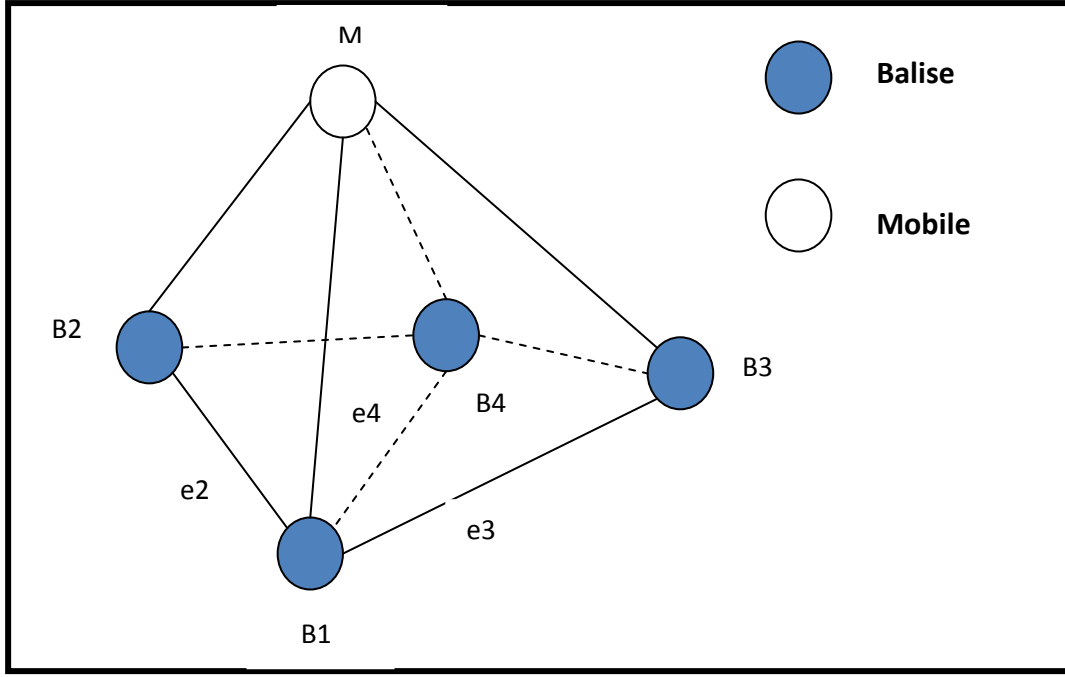


Figure I.9:Multilatération. [12]

La station mobile est en contact radio avec la balise B_i (x_i, y_i), $i = 1 \dots 4$. La station mobile envoie un message, et l'heure à laquelle le message arrive à la station i est enregistrée comme t_i . Les ancres sont synchronisés, et la différence entre ces moments peut être utilisée pour créer un système d'équations (I.7), (I.8), (I.9), où c est la vitesse de propagation, \mathbf{x}_i et \mathbf{y}_i sont les positions des nœuds B_i et e_i la distance entre le nœud B_i et une station sélectionnée comme référence temporelle sur la (Figure I.9), B_1 , joue ce rôle. [12]

$$\mathbf{0} = c(t_2 - t_4) - \frac{e_2^2}{ct_2} + \frac{e_4^2}{ct_4} + 2\mathbf{x} \left(\frac{x_2}{ct_2} - \frac{x_4}{ct_4} \right) + 2\mathbf{y} \left(\frac{y_2}{ct_2} - \frac{y_4}{ct_4} \right) + 2\mathbf{z} \left(\frac{z_2}{ct_2} - \frac{z_4}{ct_4} \right) \quad (\text{I.7})$$

$$\mathbf{0} = c(t_2 - t_3) - \frac{e_2^2}{ct_2} + \frac{e_3^2}{ct_3} + 2\mathbf{x} \left(\frac{x_2}{ct_2} - \frac{x_3}{ct_3} \right) + 2\mathbf{y} \left(\frac{y_2}{ct_2} - \frac{y_3}{ct_3} \right) + 2\mathbf{z} \left(\frac{z_2}{ct_2} - \frac{z_3}{ct_3} \right) \quad (\text{I.8})$$

$$\mathbf{0} = c(t_3 - t_4) - \frac{e_3^2}{ct_3} + \frac{e_4^2}{ct_4} + 2\mathbf{x} \left(\frac{x_3}{ct_3} - \frac{x_4}{ct_4} \right) + 2\mathbf{y} \left(\frac{y_3}{ct_3} - \frac{y_4}{ct_4} \right) + 2\mathbf{z} \left(\frac{z_3}{ct_3} - \frac{z_4}{ct_4} \right) \quad (\text{I.9})$$

À partir de la relation géométrique entre nœuds, la méthode introduite ci-dessus permet de calculer la position d'un appareil mobile dans un plan (2D). L'ajout de balises ou d'autres méthodes de mesure enrichira le système et fournira une position dans l'espace (3D).

Alors que les algorithmes introduits jusqu'ici échouent si les données fournies en entrée sont imparfaites, ceux de la seconde partie de cette section tolèrent une certaine erreur. Par conséquent, ces derniers seront appliqués au traitement des données issues du monde réel. [12]

I.7. Erreurs de localisation :

I.7.1. Modélisation des incertitudes :

Il existe plusieurs façons de modéliser l'incertitude. Le choix du modèle est important, car c'est ce choix qui détermine le modèle mathématique et la méthode d'estimation et de combinaison des données. Il existe deux principaux types d'approche:

Les approches probabilistes : Il est basé sur la théorie des probabilités, donc les variables aléatoires sont représentées par la loi de la densité de probabilité. Cette modélisation présente plusieurs avantages. En plus des outils de théorie des probabilités riches, tels que la méthode d'inférence bayésienne (basée sur le théorème de Bayes). L'algorithme peut fournir une estimation ponctuelle représentant le point le plus probable. [11]

Les approches ensemblistes : La méthode ensembliste ne nécessite aucune information statistique similaire (PDF). La seule hypothèse qui peut être vérifiée est que toutes les erreurs sont bornées. Dans la méthode ensembliste, l'état (ici, le vecteur de position) est traité comme un ensemble garanti de valeurs possibles contenues dans le domaine initial que nous essayons de minimiser. [11]

I.7.2. Évaluation des erreurs :

L'erreur quadratique moyenne ou sa racine carrée (RMS) est généralement utilisée pour évaluer l'erreur d'estimation. RMS mesure la différence entre les valeurs estimées et réelles :

$$\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\hat{x}_i - x)^2} \quad (\text{I.10})$$

Pour les méthodes probabilistes, la borne de Cramér-Rao (BCR) est un outil statistique utilisé pour exprimer la plus petite variance pouvant être obtenue pour les paramètres estimés. En comprenant la valeur de la BCR, nous pouvons comprendre la

performance finale que l'estimateur peut atteindre. De cette façon, même si nous choisissons un estimateur sous-optimal, la comparaison entre l'estimateur et le BCR permet de mieux voir le compromis performance/coût. [11]

I.7.3.Sources d'incertitudes de localisation :

On distingue principalement les sources d'incertitudes suivantes :

- Facteurs liés au signal : canal de transmission (NLOS, SNR, etc.), synchronisation.
- Facteurs liés aux techniques d'estimation de la position utilisées
- Facteurs liés à la configuration géométrique des nœuds références par rapport au nœud capteur « GDOP ». [11]

I.8.Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons rappelé quelques notions fondamentales de la localisation tel que les principales systèmes existant comme les systèmes la localisation par GPS, GSM, RFID et d'autre, ainsi ces méthodes et métriques de mesure, enfin on a décrit les erreurs de localisation qui perturbe la transmission et influence sur l'estimation de la position.

CHAPITRE II :
Les réseaux sans fils et le
standard
IEEE 802.15.4

II.1.Introduction :

Les réseaux sans fil (*Wireless Networks*) deviennent de plus en plus une technologie émergente qui permet à ses utilisateurs d'accéder à l'information et aux services électroniques où qu'ils se trouvent. Ces dernières années, le grand intérêt des particuliers, des entreprises et des industries a stimulé le succès de ces réseaux. En fait, ce type de réseau est considéré comme un nouveau type de remplacement supplémentaire des réseaux filaires conventionnels. La technologie sans fil est également dominante dans les réseaux à couverture moyenne.

II.2.Définition d'un réseau sans fil :

Un réseau sans fil est un réseau dans lequel deux ou plusieurs utilisateurs peuvent communiquer entre eux grâce à des ondes radioélectriques. Dans les réseaux sans fil, les utilisateurs peuvent rester connectés tout en se déplaçant dans une zone géographique plus ou moins étendue, c'est la raison pour laquelle on entend parfois parler de "**mobilité**". [13]

II.3.Classification des technologies réseaux :

Les technologies dites « sans fil », en particulier la norme 802.11, facilitent et réduisent le coût de connexion pour les réseaux de grande taille. Avec peu de matériel et un peu d'organisation, de grandes quantités d'informations peuvent maintenant circuler sur plusieurs centaines de mètres, sans avoir recours à une compagnie de téléphone ou de câblage. Ces technologies peuvent être classées en quatre parties :

- Les réseaux personnels sans fil : WPAN (Wireless Personal Area Network)
- Les réseaux locaux sans fil : WLAN (Wireless Local Area Network)
- Les réseaux métropolitains sans fil : WMAN (Wireless Metropolitan Area Network)
- Les larges réseaux sans fil : WWAN (Wireless Wide Area Network) . [14]

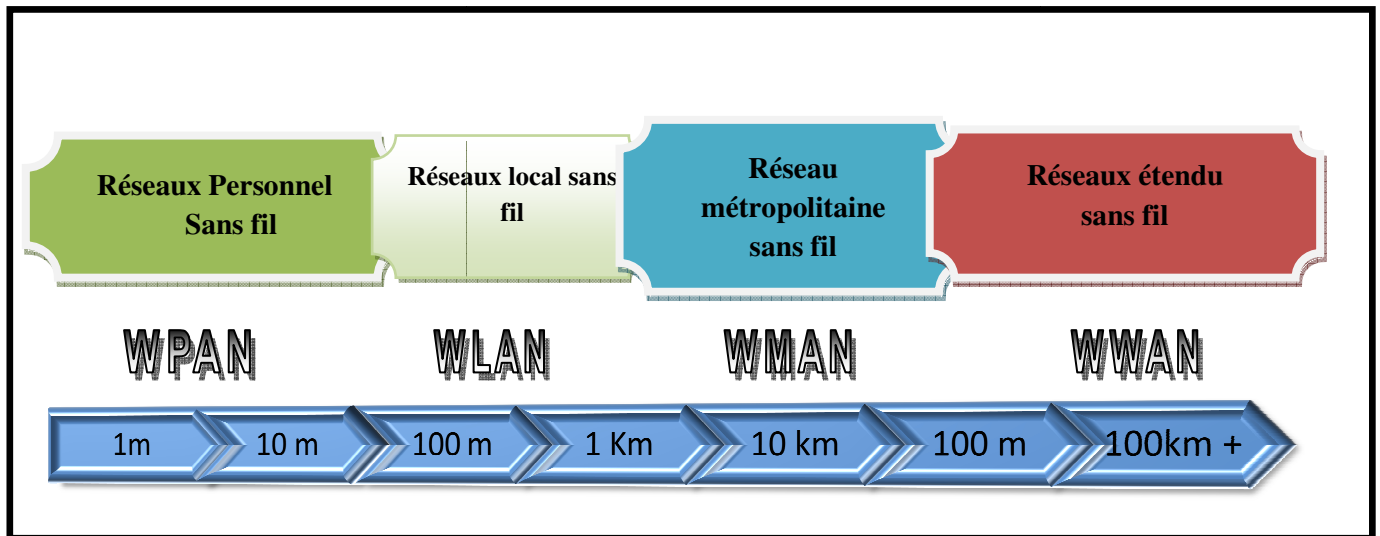


Figure II. Erreur ! Utilisez l'onglet Accueil pour appliquer 0 au texte que vous souhaitez faire apparaître ici. **11**: Différents types de réseaux sans fil. [14]

II.3.1. Réseaux locaux sans fil (WLAN) :

Le réseau local sans fil (**WLAN**) est un réseau qui peut couvrir la portée équivalente du réseau local d'une entreprise, qui est d'environ cent mètres. Il permet de relier entre eux les terminaux existants dans la zone de couverture. Il existe plusieurs technologies concurrentes :

II.3.1.1. Wifi : IEEE802.11 :

Lorsqu'il est apparu une demande pour les réseaux sans fil locaux, de nombreuses solutions sont mises sur le marché. Étant donné que les problèmes de compatibilité ne peuvent qu'empêcher la démocratisation de la technologie sans fil, un processus de normalisation a eu lieu et a abouti à la norme 802.11, également connue sous le nom de Wi-Fi. Les débits atteints vont de 1 Mb/s à 54 Mb/s, et bientôt 248 Mb/s suivant les techniques et les éventuelles extensions de la norme employées. Les portées prévues varient entre quelques dizaines et quelques centaines de mètres en fonction de la vitesse choisie et de l'environnement.

La norme originale 802.11 date de 1997. Elle décrit les couches physiques et MAC pour un débit allant jusqu'à 2 Mbit/s en radio, dans la bande des 900MHz. Des extensions ont été publiées depuis. Celles-ci viennent lui ajouter des améliorations et des modes de fonctionnement plus performants.

Cette technologie est désormais très populaire, car la plupart des ordinateurs portables en sont équipés. De plus, tous les appareils peu mobiles commencent à avoir des interfaces 802.11. Cette tendance s'observe surtout sur les téléphones mobiles. [15]

La norme initiale :

- ✓ 802.11 a fourni trois couches physiques: Radio, à étalement de spectre par utilisation de séquences directes (DSSS), débit bande de base 1Mbits/s et 2Mbits/s,
- ✓ Radio, à étalement de spectre par utilisation de sauts de fréquences (FHSS), à 1,6Mbits/s,
- ✓ Infrarouge, 1 ou 2Mbits/s.

Actuellement, seule la couche physique radio à étalement de spectre par séquences directes (DSSS) perdure. Les deux autres (Radio FHSS et infrarouge), ont été mis en service et commercialisés à la fin des années 1990, n'ont pas survécu. Depuis, les technologies a été fortement améliorées et la dernière couche physique basées sur le principe MIMO a permis d'obtenir des débits de plusieurs centaines de Mbits/s. [16]

II.3.1.1.1.Topologies :

Dans le cadre de 802.11, deux topologies sont possibles aujourd'hui:

1. Mode infrastructure :

Ce mode de fonctionnement est très similaire au protocole Ethernet des réseaux filaires. Dans ce mode, un réseau 802.11 est un ensemble de cellules de base appelé *Basic Service Set* BSS. Chaque cellule BSS a un point d'accès (AP) matérialisé par un dispositif d'émission/réception. AP permet aux ordinateurs dans le besoin d'accéder au réseau, on peut le comparer aux concentrateurs des réseaux fixes. Les APs sont généralement câblés entre eux pour créer un réseau de bornes d'accès. Donc les cellules sont reliées par une infrastructure de communication fixe et interconnectées par un système de distribution afin de former un *Extended Service Station* ESS. Les BSS d'un ESS sont différenciés via leur *BSS Identifier* (BSSID) de 6 octets correspondant à l'adresse MAC de l'AP. L'infrastructure contient un portail pour s'interfacer avec le réseau local. [13]

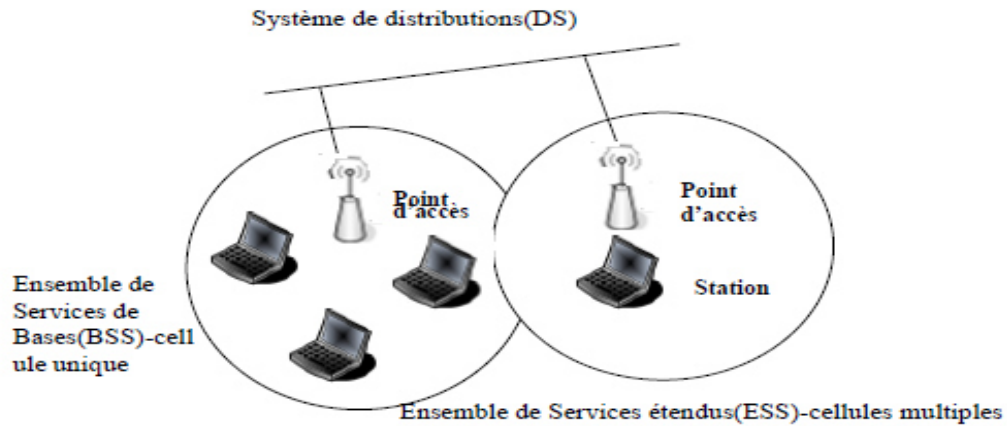


Figure II.2: Topologie Infrastructure de 802.11. [13]

1. Le mode Ad hoc :

Un réseau Ad Hoc est un ensemble de stations possédant une carte Wireless LAN sans la présence d'un AP. Contrairement au réseau à infrastructure, les stations dans un réseau Ad Hoc communiquent directement entre elles.

L'avantage de ces réseaux est qu'ils sont faciles à configurer et d'ajouter de nouvelles stations sur le réseau. L'absence de structures fixes diminue aussi le coût de leur mise en œuvre. [13]

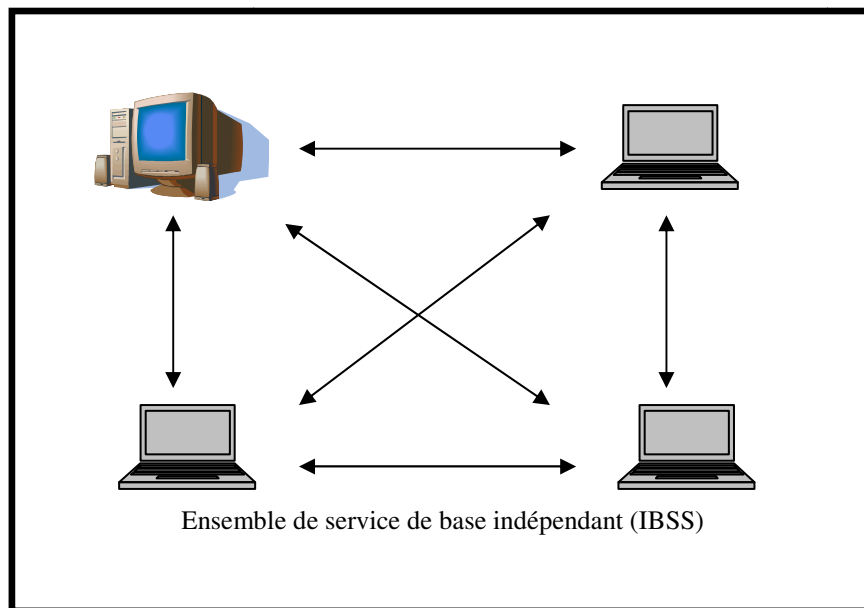


Figure II.3: Topologie Ad-hoc de 802.11. [13]

II.3.1.2.HiperLAN/2:

HiperLAN/2 (High PERformance LAN, seconde version) a été ratifiée en février 2000. Cette seconde version est radicalement différente de la première : mode infrastructure, transport natif d'ATM et UMTS, plusieurs couches physiques pour s'adapter à l'environnement électromagnétique. HiperLAN/2 a été la première technologie à mettre en œuvre la technique d'étalement de spectre OFDM. Elle propose plusieurs modulations (BPSK, QPSK, 16QAM et 64QAM) pour plusieurs débits (6, 9, 12, 18, 27,36et54Mbits/s) sur la bande des 5,4GHz-5,7GHz. Une utilisation de la bande des 17 GHz aurait également été prévue. La couche physique d'HiperLAN/2 a ensuite été reprise par 802.11a, puis 802.11g, ce qui explique les similarités des fréquences et des débits en bande de base entre HiperLAN/2 et 802.11a/g.

A l'opposé d'HiperLAN/1 qui est basée sur une topologie de réseau ad hoc, HiperLAN/2 propose un réseau sans fil d'infrastructure. Les informations échangées passent par un ou plusieurs points d'accès (AP, Access Points) qui gèrent l'accès au médium selon le principe du TDMA dynamique (repris en suite dans IEEE802.16) avec des transports d'informations en mode connecté. [16]

II.3.2.Les réseaux personnels sans fil (WPAN) :

La simplicité de la vie quotidienne est généralement la principale motivation derrière la conception de réseaux personnels sans fil. (noté **WPAN** pour Wireless Personal Area Network), ce réseau sert à relier des équipements autonomes et distantes de quelques dizaines de mètres à faible portée. Cependant, le WPAN s'adapte parfaitement au monde industriel, et parmi ses caractéristiques un débit de transmission de donnée relativement faible et une faible consommation énergétique dont elle est une préoccupation fondamentale des réseaux sans fil. [17]

II.3.2.1.IrDA :

Le mode de communication par infrarouge est simple, peu réglementé et peu coûteux. En utilisant un faisceau de lumière, ce mode est basé sur l'utilisation des mêmes fréquences que celles utilisées sur les fibres optiques. Malgré que la lumière infrarouge possède une large bande passante, offrant par conséquent des débits relativement importants, la portée de ce type de communications reste faible. Au contraire, les rayons infrarouges peuvent pénétrer le verre, mais ne peuvent pas pénétrer les obstacles opaques, ce qui est un avantage en de sécurité.

Cependant, comme les réseaux infrarouges sont sensibles aux interférences lumineuses, la coupure du faisceau lumineux implique l'interruption de la transmission. [13]

II.3.2.2.HomeRF :

Comme son nom l'indique, HomeRF est une norme de réseau destinée à un usage domestique pour partager un accès à Internet ou transporter des communications téléphoniques. Elle a été imaginée par un consortium industriel formé entre autres par HP, IBM, Siemens, Proxim, Compaq, Intel et Microsoft mais elle souffre aujourd'hui de la concurrence des autres technologies WLAN, notamment depuis que Microsoft et Intel se sont retirés du projet.

HomeRF proposait une couche physique travaillant dans la bande des 2,4GHz, en FHSS (à 50 sauts par secondes), sur une modulation de type 2-FSK ou 4-FSK. Le débit bande de base est de 1Mbits/s ou 2Mbits/s, suivant la modulation utilisée. La portée typique est de l'ordre d'une cinquantaine de mètres, pour une puissance de 100mW. HomeRF permet deux types de transports: asynchrones (typiquement pour de l'Internet via du TCP/IP) et synchrones (pour de la voix). En raison de son faible débit, HomeRF n'est pas adapté au transport de la vidéo. La capacité d'adressage est de 127 stations; il est possible de multiplexer jusqu'à 6 liaisons voix à 32kbits/s. L'accès au médium est réalisé selon le protocole SWAP, pour Shared Wireless Access Protocol, qui mélange CSMA (pour les données asynchrones) et TDMA (pour les données isochrones). [16]

II.3.2.3. Bluetooth : IEEE802.15.1 :

L'objectif initial de Bluetooth était de fournir une norme universelle pour les communications sans fil, plus performante et plus globale que les liaisons infrarouges, et était largement utilisée au début des années 90. Pour atténuer le problème majeur de l'infrarouge qui est le non contournement des obstacles, Bluetooth utilise les ondes hertziennes et plus précisément la bande de fréquence ISM de 2.402GHz à 2.480GHz. Bluetooth divise cette bande en 79 canaux de largeur 1MHz et la modulation utilisée est de type GFSK en FHSS . Le débit en bande de base est de 1Mbits/s et la fréquence nominale des sauts FHSS est de 1600Hz, soit une période (time slot) de 625µs.

Les topologies possibles d'un réseau Bluetooth sont les suivantes : point à point (1 maître, 1 esclave), piconet (1 maître, 2 à 7 esclaves) ou scatternet (jusqu'à 10 piconets communicants ensemble). Quelque soit la topologie choisie, toutes les communications de

station esclave à station esclave passent par la ou les station(s) maître(s). Les esclaves n'ont donc pas besoin d'être à portée radio les uns des autres. Bluetooth résout ainsi le problème classique de la station cachée. [18]

II.4. Standard IEEE 802.15.4 :

Le 802.15.4 est un protocole de communication défini par IEEE, dédié aux réseaux personnels sans fil à bas débit (LR-WPAN Low Rate-Wireless Personal Area Network). L'alliance ZigBee a été créée dans le but de promouvoir ce protocole. En outre, de nouvelles applications ZigBee faciles à utiliser sont également développées pour répondre aux besoins du marché dans divers domaines tels que la domotique, l'environnement et la santé. La norme ZigBee est basée sur la couche physique et la couche MAC d'IEEE 802.15.4. [19]

II.4.1.La technologie ZigBee :

La norme ZigBee est conçue pour interconnecter des capteurs sans fil qui communiquent à bas débit et faible coût et coopérant entre eux d'une manière autonome via des ondes radio. ZigBee inclut la spécification complète des couches physiques et MAC de la norme IEEE802.15.4 pour les réseaux sans fil personnels (Wireless Personal Area Networks WPAN).

II.4.1.1.Architecture du standard ZigBee :

L'architecture du standard ZigBee est composée de 4 couches: physique, liaison ou (MAC), réseau et application :

- **Couche physique** : traduit les trames envoyées et reçues en bits et gère l'utilisation de la transmission radio et la communication des canaux. La norme fournit deux couches physiques différentes, dont l'une est utilisée pour 868 / 915MHz et la deuxième couche est utilisée pour 2,4 GHz en utilisant la modulation OQPSK à spectre étalé à séquence discrète (DSSS).

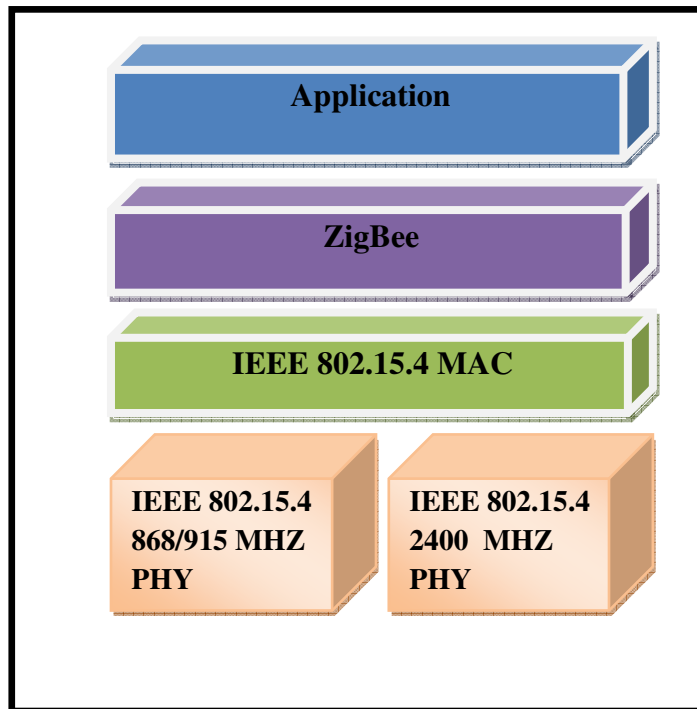


Figure II.4: Architecture du standard ZigBee. [19]

- **Couche MAC :** gère la transmission des trames et des slots de temps réservés, utilise le mécanisme CSMA/CA pour contrôler l'accès au médium sans fil, synchronise le réseau et assure la fiabilité des communications en utilisant des CRC et des retransmissions.
- **Couche réseau (ZigBee) :** définie par l'Alliance ZigBee. Cette couche assure le routage, envoie et reçoit des données avec la couche application, construit et maintient la topologie du réseau, fait l'adressage des nœuds (en supportant jusqu'à 65536 nœuds), fournit les mécanismes pour joindre, quitter et former un réseau et finalement garantit la sécurité.
- **Couche application :** la couche la plus élevée de la pile protocolaire. Elle détermine le comportement de toutes les couches inférieures. Elle est associée à plusieurs modules tel que: SSP (Security Service Provider) utilisé pour gérer les fonctions de sécurité (authentification, cryptage); APS (Application Support Sub-Layer) qui prend en charge les liaisons de périphériques et de services de messagerie et ZDO (ZigBee Device Object) qui permet la découverte des dispositifs et des services. [19]

II.4.1.2. Dispositifs du standard ZigBee :

Deux types d'entités sont présents dans ce réseau :

Les FFD (Full Function Device) et les RFD (Reduced Function Device). Un FFD peut fonctionner selon trois profils différents dans le réseau : celui d'un coordinateur du PAN (Personal Area Network), routeur ou dispositif terminal (End-Device).

Un RFD en revanche ne peut être qu'une feuille, et donc ne contient pas toutes les fonctionnalités prévues pour la couche MAC 802.15.4. Un coordinateur peut communiquer avec toute autre entité du réseau alors qu'un RFD ne peut communiquer qu'avec un FFD. Les RFD sont prévus pour des rôles applicatifs simples comme un capteur infrarouge passif chargé de faire une détection de présence ou un interrupteur commandant une source lumineuse. Un RFD est associé à un seul FFD à un instant donné. [20]

- **Coordinateur ZigBee (ZC)** : il est considéré comme un FFD. C'est l'élément qui forme la racine et maintient le reste du réseau. Chaque topologie doit avoir un seul coordinateur qui stocke les clés de sécurité et gère les données. [19]

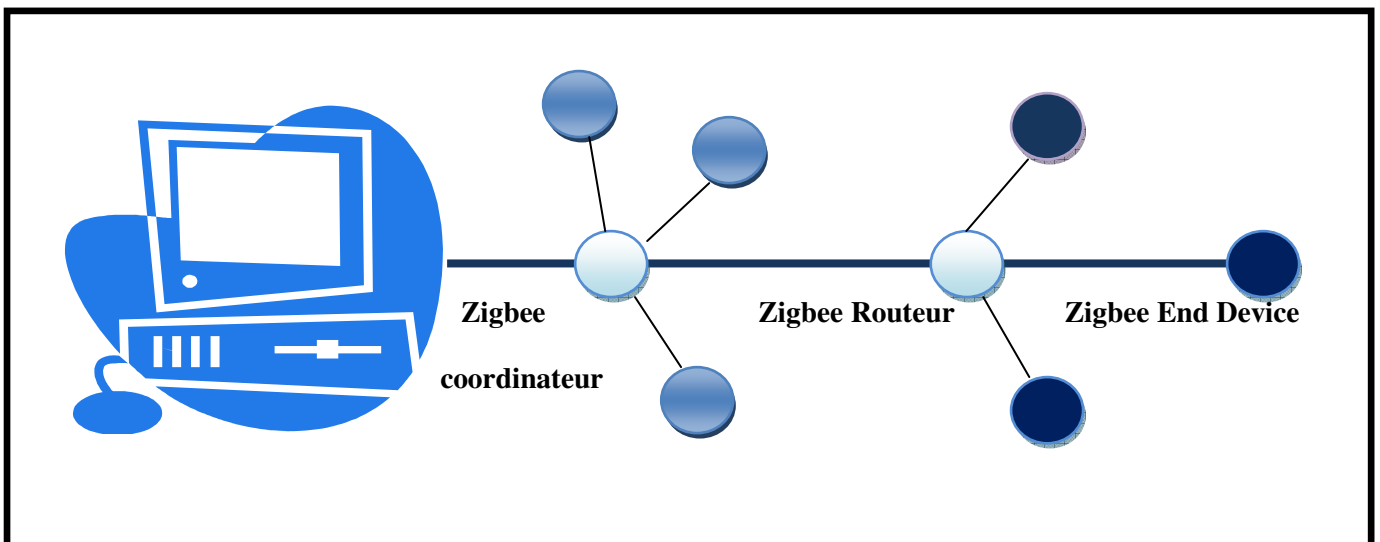


Figure II.5: Dispositifs du standard ZigBee. [19]

- **Routeur ZigBee (ZR)** : considéré aussi comme FFD, il joue un rôle intermédiaire dans le routage ou la transmission de données entre les appareils. En permettant à plusieurs nœuds de rejoindre le réseau, cela permet d'étendre la portée physique du réseau ZigBee. [19]

• **End Device:** peut être un FFD ou RFD dépendamment de l'application. C'est l'interface physique de chaque capteur. [19]

II.4.1.3.Topologies :

Selon les besoins de l'application, la norm IEEE802.15.4 propose deux topologies:

Etoile (star) ou point à point (peer to peer). Le réseau formé est appelé PAN. Ces deux topologies sont illustrées en **figures II.6 et II.7**. Au dessus de 802.15.4, la couche réseau de ZigBee permet la création de réseaux plus complexes tel que les réseaux maillés (mesh) ou arborescents (tree) grâce au routage automatique des paquets de niveau 3 (niveau réseau).

a) Topologie étoile :

Dans cette configuration, la pièce maîtresse, celle par qui tous messages passent, est le coordinateur (PAN coordinator). Il joue en quelque sorte le rôle de passerelle. Si un dispositif a souhaite dialoguer avec un dispositif B, la communication doit forcément passer par le coordinateur.

Dans cette topologie, les dispositifs sont très simples et n'embarquent qu'une couche simplifiée du protocole Zigbee. Le coordinateur est généralement fixe et alimenté pour assurer le fonctionnement du réseau. [18]

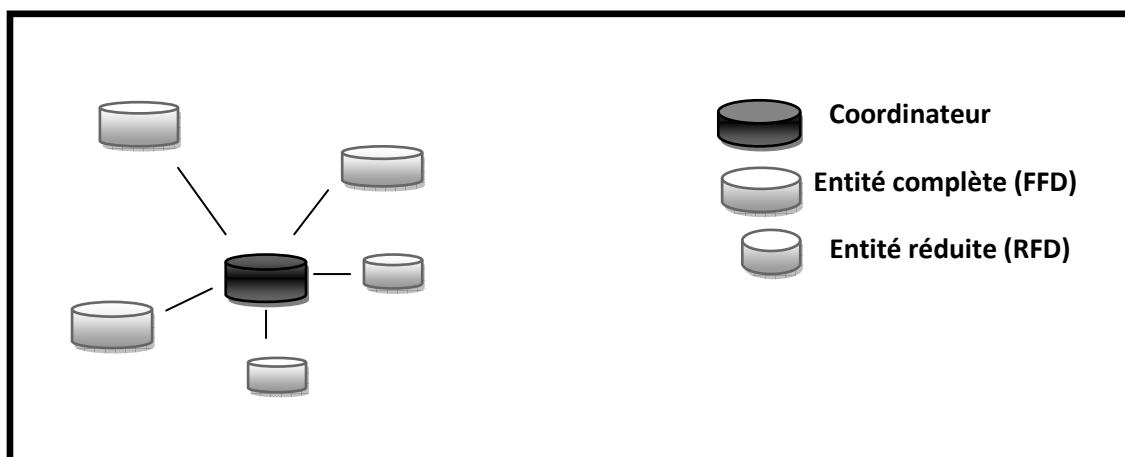


Figure II.6: Représentation de la topologie en étoile.[18]

b) Topologie point à point :

Dans la topologie point à point (peer-to-peer), si les périphériques sont à proximité, ils peuvent communiquer directement les uns avec les autres, ou ils peuvent utiliser un

coordonateur pour contacter un dispositif à plus longue distance. Dans cette topologie, les dispositifs sont plus compliqués et intègrent totalement le protocole Zigbee. Une mécanique de tables de liaison permet également à chaque dispositif de jouer le rôle de coordonnateur, permettant à deux dispositifs distants d'avoir une conversation à travers les éléments de la gamme. [18]

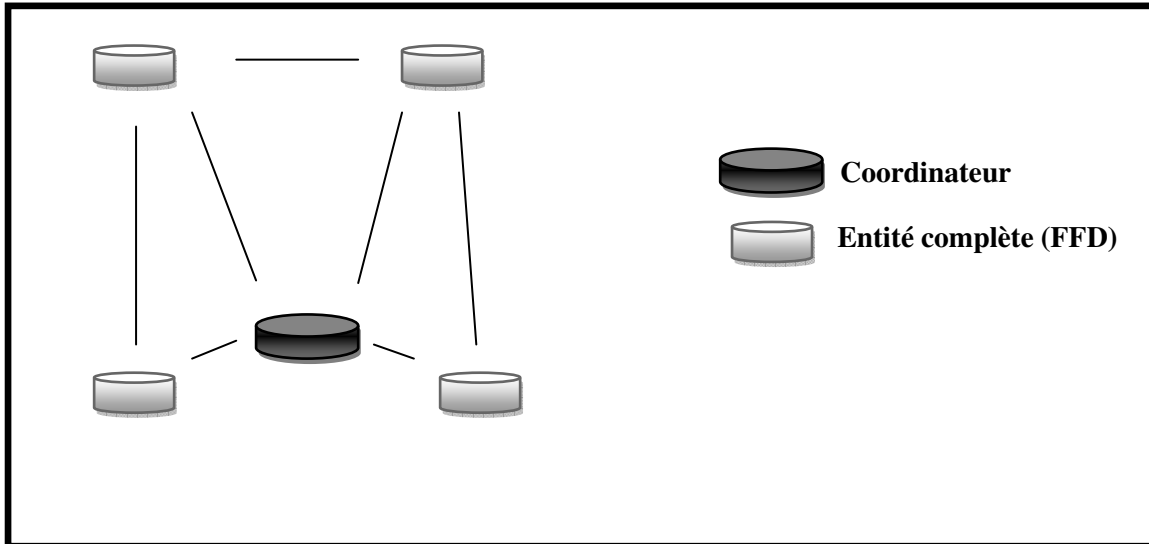


Figure II.7: Représentation de la topologie point à point. [18]

c) Topologies plus complexes :

À l'aide de la couche réseau et du système de routage de données par paquets, des topologies plus complexes peuvent être construites. La technologie ZigBee fournit une couche réseau, grâce à des algorithmes de routage automatique (tels que le cluster tree ou des réseaux maillés mesh), de telles topologies peuvent être facilement créées. [16]

II.4.1.4. Modes de fonctionnement dans IEEE 802.15.4 :

Le standard IEEE 802.15.4 propose deux modes de fonctionnement. Le premier est le mode dit non balisé (non Beacon Enabled mode) également connu sous le nom Unslotted mode où aucun mécanisme de duty cycle (réveil périodique) n'a été spécifié en l'état. Ce mode est plus adapté à des applications où les nœuds n'ont pas de limitation d'énergie (alimenté sur secteur). Dans ce mode, il n'y a pas de synchronisation entre les nœuds du réseau. Afin que ces derniers puissent communiquer entre eux ils doivent maintenir la radio allumée ou se réveiller périodiquement pour demander au coordonnateur s'il y a un message en attente, ce mode étant laissé ouvert par le standard on peut imaginer l'utilisation soit de la

technique de préambule soit d'une méthode de synchronisation. Dans ce mode, le mécanisme pour éviter les conflits sera CSMA / CA Unslotted.

Le deuxième mode appelé mode balisé (Beacon Enabled mode) ou Slotted mode, c'est le mode le plus important de la norme, et ses performances en termes de débit, de consommation d'énergie, de débit de transmission de paquets et de fiabilité ont été évaluées. De nombreuses études. Le mode Beacon Enabled est un mode dit synchroniser. Les nœuds doivent suivre une structure périodique appelée supertrame (SuperFrame) comme illustré à la **figure II.8. [22]**

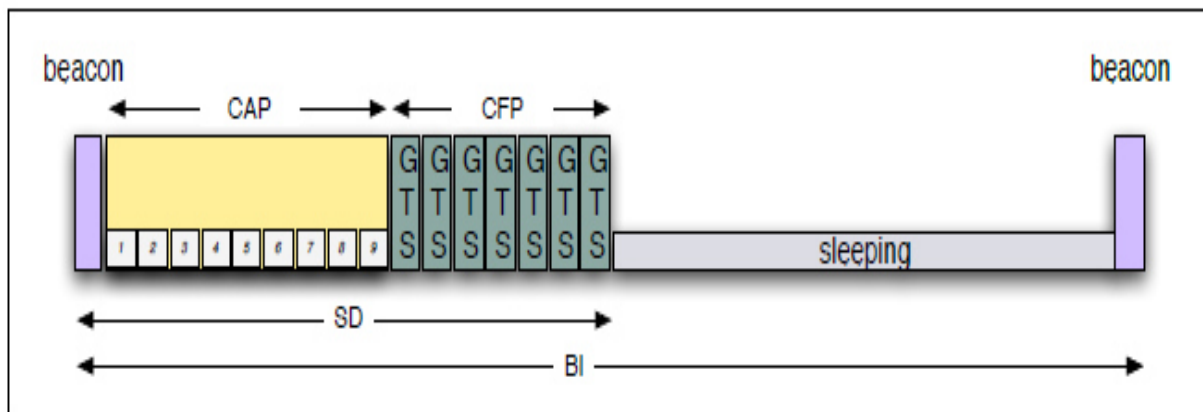


Figure II.8 : Structure de la supertrame dans IEEE 802.15.4. [22]

II.4.2. le module XBee :

XBee est une marque de radio qui prend en charge plusieurs protocoles de communication. XBee est un module RF riche en fonctionnalités, ce qui en fait une bonne solution pour les concepteurs WSN; les protocoles implémentés sur le module (tels que IEEE 802.15.4 et ZigBee) peuvent réduire considérablement la charge de travail du programmeur pour assurer la communication de données. Ils ont la capacité de communiquer avec un microcontrôleur via une connexion série, et ont également d'autres broches qui peuvent être utilisées dans des applications autonomes.

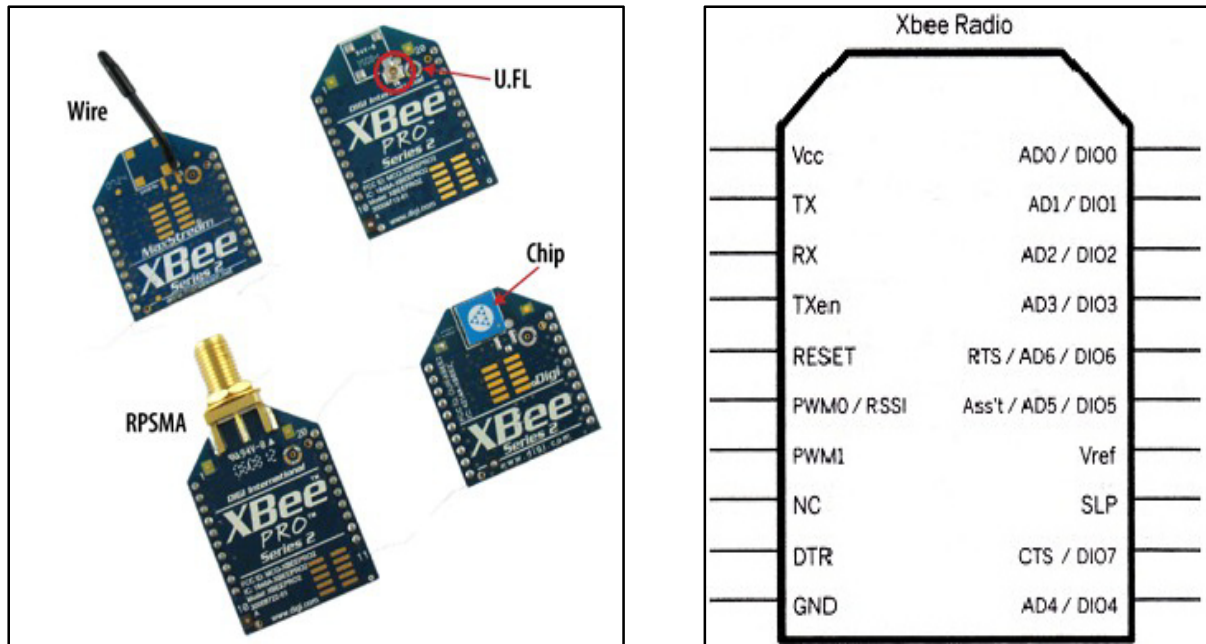


Figure II.9: Model et architecture principale du module XBee. [21]

Le module XBee a des broches d'entrée / sortie numériques (qui peuvent être utilisées pour lire l'état du capteur ou envoyer des commandes) et des broches analogiques,

Une caractéristique importante est la ligne passant, où l'entrée numérique d'un XBee peut être réfléchi vers la sortie numérique de l'autre XBee pour contrôler la sortie du deuxième module. [21]

II.4.3. Modes de fonctionnement ZigBee :

Généralement il existe deux modes de fonctionnement de ces modules :

- Un fonctionnement "transparent" : les données sont directement envoyées/reçues par le module. La configuration du module s'effectue par le biais de commande "AT"
- Un fonctionnement "direct" ou "API" : il faut fabriquer ces propres trames et les envoyer au module. Ce mode est plus puissant et rapide mais nécessite plus de programmation et un firmware de type "API". [19]

II.4.4. Caractéristiques du module ZigBee de Digi :

Le standard IEEE 802.15.4 est un protocole de paquet dont les principales caractéristiques sont les suivantes :

- La couche physique est simple.
- Un réseau ZigBee possède un coordinateur (nœud puissant) et des nœuds esclaves disposés selon des topologies variables, en étoile ou non, plates ou hiérarchiques.

- La couche MAC est également simple, l'accès des nœuds au canal étant géré à l'aide du protocole CSMA-CA.
- Le débit binaire est faible, de 20 à 250kbits/s suivant la bande de fréquence utilisée.
- La portée se situe entre 10 et 100m, dans les bandes de fréquence ISM 800/900MHz et 2.4GHz.
- Ce protocole est défini pour une durée de vie de batterie maximale, chaque capteur devant fonctionner sur une alimentation par pile pendant une durée minimum de 10 ans. [23]

➤ **Valeurs typiques :**

Pour conclure cette partie sur les généralités des deux normes, voici en résumé les valeurs typiques caractérisant IEEE802.15.4 et ZigBee :

- Débit: 250kbits/s sur le médium physique pour PHY 2450,
- Puissance d'émission typique: entre 0 et 3 dBm,
- Portée radio: quelques centaines de mètre en espace libre,
- Consommation énergétique du composant d'émission / réception (hors traitement CPU):
 - 3μA en hibernation (hibernate mode),
 - 40μA en somnolence (dozemode),
 - 1m A au repos (idle mode),
 - 30mA en émission,
 - 40mA en réception.
- Taille de la pile protocolaire (code+mémoire):
 - inférieure à 20 ko pour une entité réduite (RFD),
 - entre 40 à 60 ko pour une pile complète (FFD).
- Nombre d'entités connectables au réseau :
 - 256 dans une étoile.
 - 65536 dans un PAN maillé.
 - 18446744073709551616 adresses MAC disponibles. [16]

II.4.5. L'application XCTU :

Le logiciel xctu est une application multi plate-forme, conçue pour permettre aux développeurs d'interagir avec les modules Digi RF (XBee par exemple), via une interface graphique simple à utiliser. Il comprend des outils qui facilitent la configuration et le test des modules XBee, et des fonctionnalités uniques telles que la vue graphique du réseau, qui représente graphiquement le réseau XBee ainsi que la puissance du signal de chaque connexion, et le générateur de trames API XBee, qui aide intuitivement à construire et à interpréter les trames API pour XBee utilisé en mode API. [24]

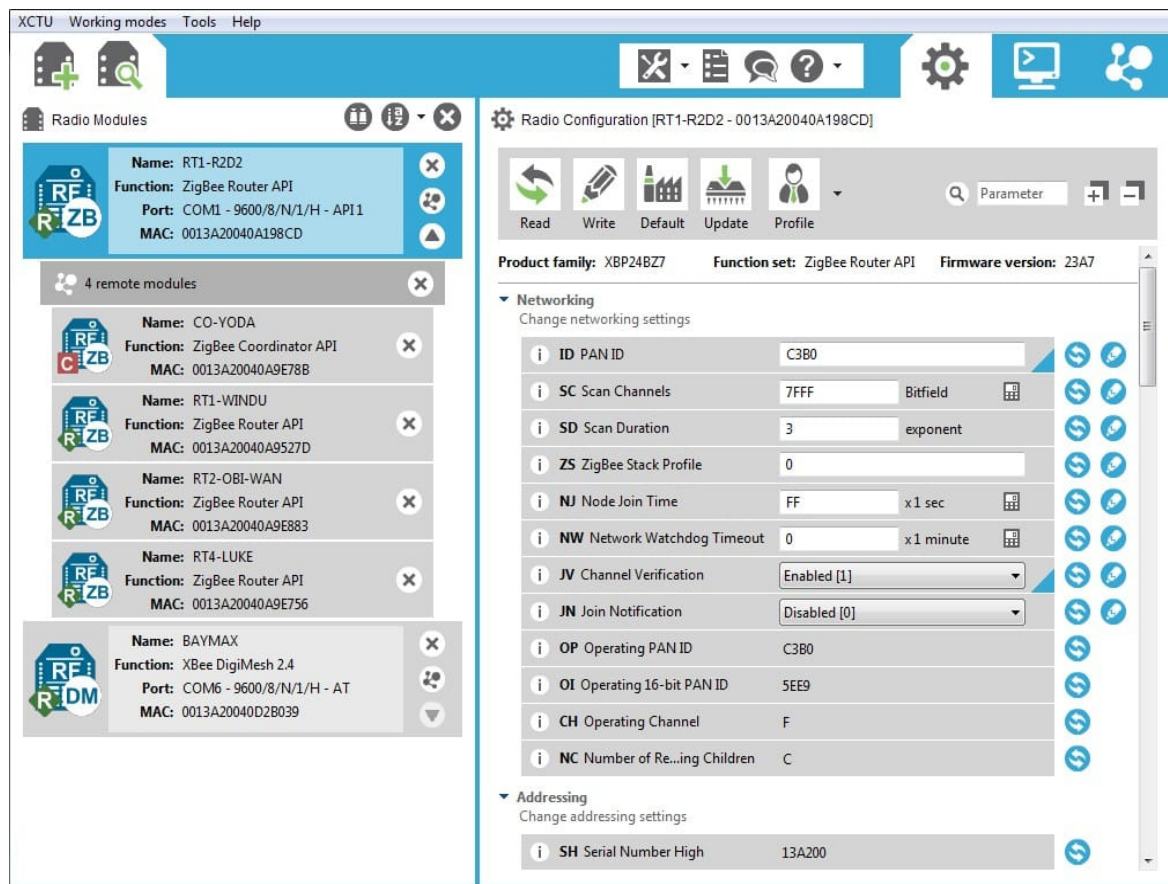


Figure II.10: interface principal du logiciel Xctu.

Les autres fonctionnalités de XCTU incluent les fonctionnalités suivantes :

- Gérer et configurer plusieurs périphériques RF, même des périphériques connectés à distance (par liaison radio).
- La gestion automatique des modifications du mode et de la vitesse de transmission.
- Enregistrer les sessions de console et les charger sur un autre ordinateur exécutant XCTU.
- Générez facilement tout type de cadre API pour enregistrer sa valeur.

- Décode une trame API et affiche ses valeurs de trame spécifiques.
- Récupération : Récupérez les modules radio dont le micro logiciel est endommagé ou en mode de programmation.
- Effectuez un test de portée entre 2 modules radio du même réseau.

II.5. Conclusion :

Ce chapitre a donc introduit les connaissances de bases, commençant par la définition et les différentes catégories de réseaux sans fil, et plus précisément les réseaux locaux (wifi et Hiperlan2) et les réseaux personnels (Bluetooth , infrarouge , HomeRF et IEEE802.15.4) , nous avons aussi donné une description approfondie sur la technologie ZigBee et enfin, on a fait un parcours rapide sur le module XBee et l'application XCTU.

Chapitre III :

Réalisations pratiques

III.1.Introduction :

Ce chapitre est dédié à la présentation de toutes les étapes de la mise en œuvre pratique de la localisation basée sur le module XBEE de Zigbee, en passant par la présentation de la méthode de mesure RSS et de l'architecture générale du système utilisé, et enfin à discuter des résultats obtenus.

III.2.Qu'est-ce que le RSSI :

La distance entre deux nœuds peut être estimée en mesurant l'énergie du signal reçu [24]. Cette méthode appelée **RSSI** (Received Signal Strength Indication) est basée sur le calcul de la distance entre l'émetteur et le récepteur à partir de la puissance du signal reçu associée à un modèle de propagation dans l'environnement. [26]

III.2.1.Le modèle logarithmique :

En raison de la nature du signal radio, lorsque des signaux sont transmis de l'émetteur au récepteur, la force du signal (RSSI) diminue avec la distance. Le modèle de la perte en chemin (path loss) peut être divisé en : modèles empiriques, modèles semi-empiriques et modèles déterministes. Les modèles empiriques sont basés sur des données de mesure simples (peu de paramètres) utilisent des propriétés statistiques peu précises. Les modèles déterministes, spécifiques au site nécessite une grande quantité d'informations géométriques du site, un effort de calcul très important mais avec une précision. Les modèles semi-empiriques basés sur des modèles empiriques et des aspects déterministes. [27]

De nombreuses études ont montré que la perte en chemin qui s'appelle aussi le modèle en espace libre (free space model) peut suivre la formule :

$$PL(d) = PL(d_0) - 10 \times N \times \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_\delta \quad \text{(III.1)}$$

Où:

d : la distance entre le récepteur et émetteur.

d_0 : la distance de référence.

$PL(d)$: la puissance du signal (en dbm) du récepteur pour une distance d .

$PL(d_0)$: la puissance du signal (en dbm) du récepteur pour une distance de référence d_0 .

N : le coefficient d'atténuation du milieu considéré.

X_δ variable aléatoire gaussienne (en dB) de valeur moyenne nulle et d'écart-type δ .

Dans le processus d'application pratique, il est souhaitable de prendre $d_0 = 1m$, puis de collecter les valeurs RSSI du récepteur. Ainsi, le modèle simple peut être représenté comme suit:

$$PL(d) = A - B \times \log(d) \tag{III.2}$$

Les valeurs de A et B peuvent être déterminées par ajustement de courbe, après un collecte d'une grande quantité de données dans l'environnement réel. [27]

D'ou

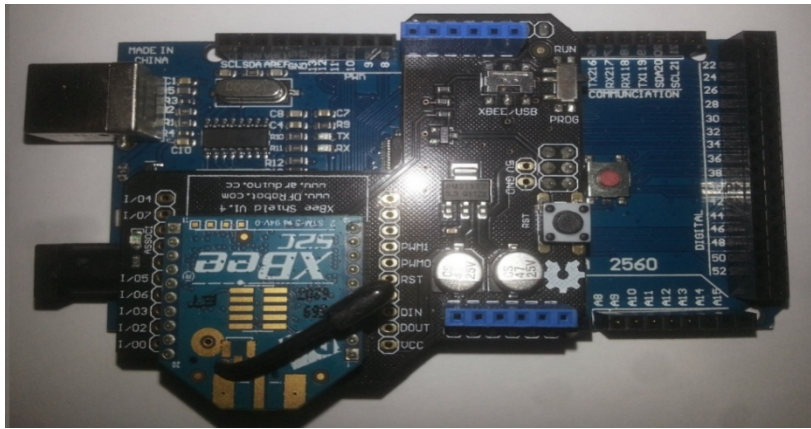
$$\log(d) = \frac{A-PL(d)}{B} = b_0 + b_1 \times PL \tag{III.3}$$

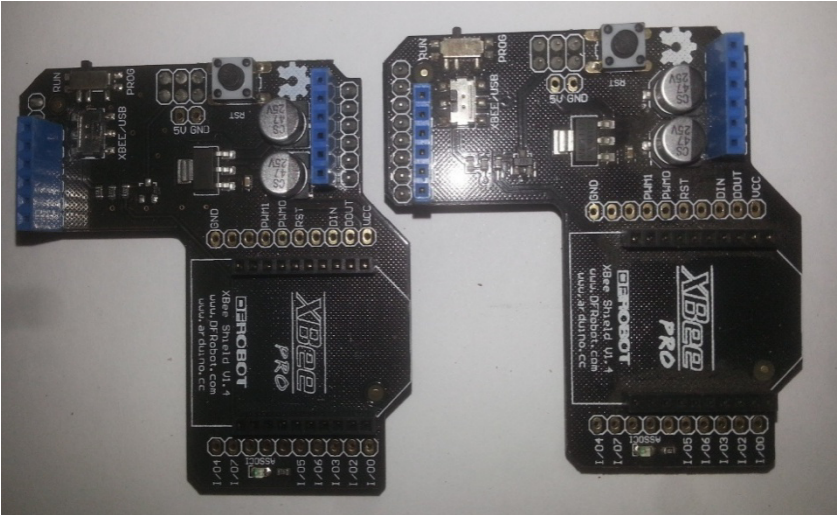
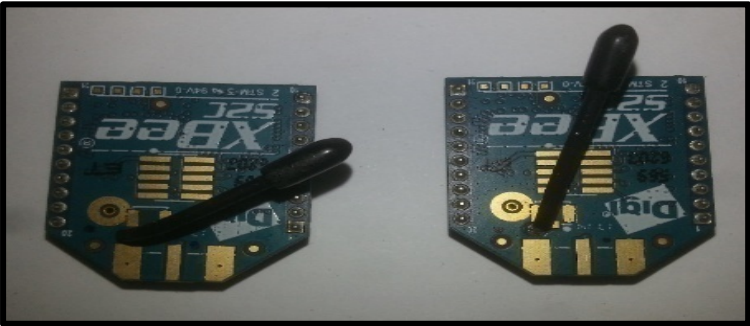


Où :

$$b_0 = \frac{A}{B} \quad ; \quad b_1 = \frac{-1}{B} .$$

III.3.Etude de l'environnement de travail :

III.3.1.Outils matériels :

Matériel	Nom
	<p>Deux cartes Arduino Uno</p>

	<p>Deux Shield Xbee DF0015</p>
	<p>Deux modules Xbee S2C Coordinateur routeur</p>
	<p>PC Portable</p>
	<p>Batterie 5 Volts</p>

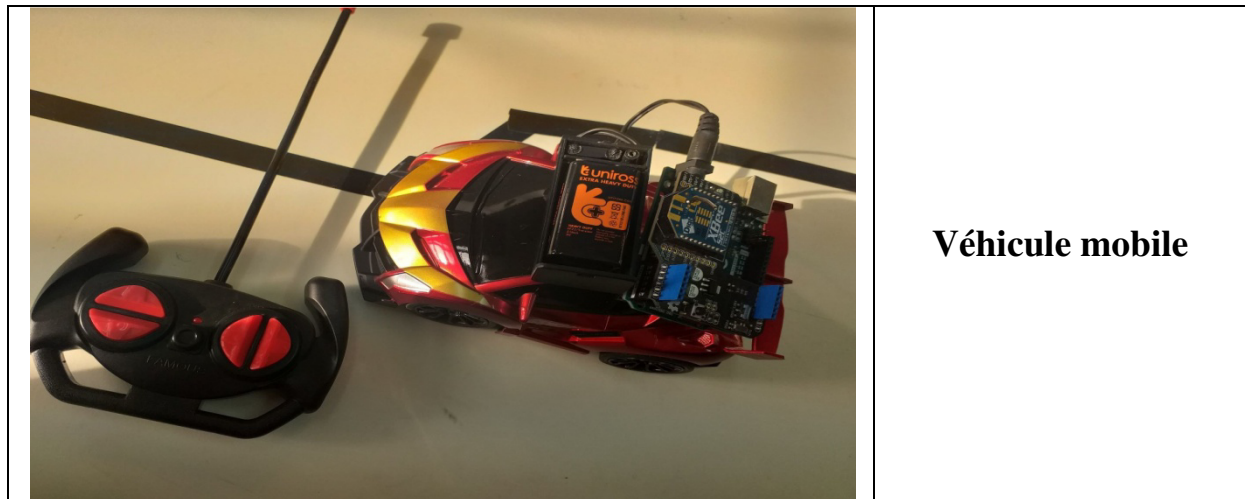


Tableau III.1:Matériels utilisés dans la chaîne de transmission.

III.3.2.Configuration de module Xbee :

Installez tout d'abord le logiciel X-CTU, Connectez notre module Xbee à la carte arduino avec un Shield, branchez le module a un PC à l'aide d'un câble USB.

- Exécutez le logiciel X-CTU et cliquez sur le bouton " Discover radio modules" :

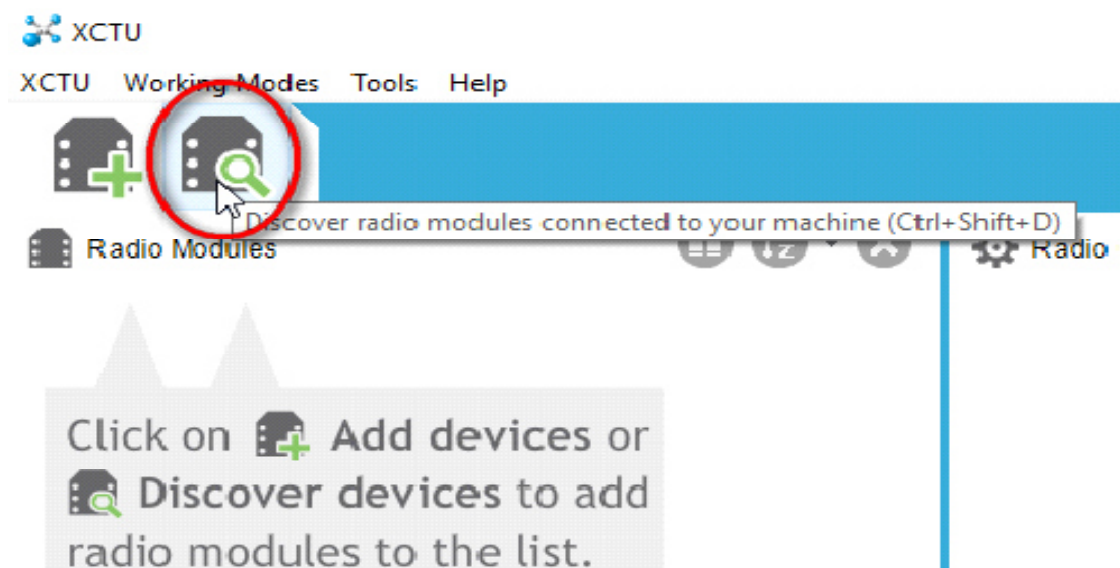


Figure III.1:Découvert des modules radios connectés à la machine.

- Sélectionner le port COM correspondant au "XBee USB Explorer"

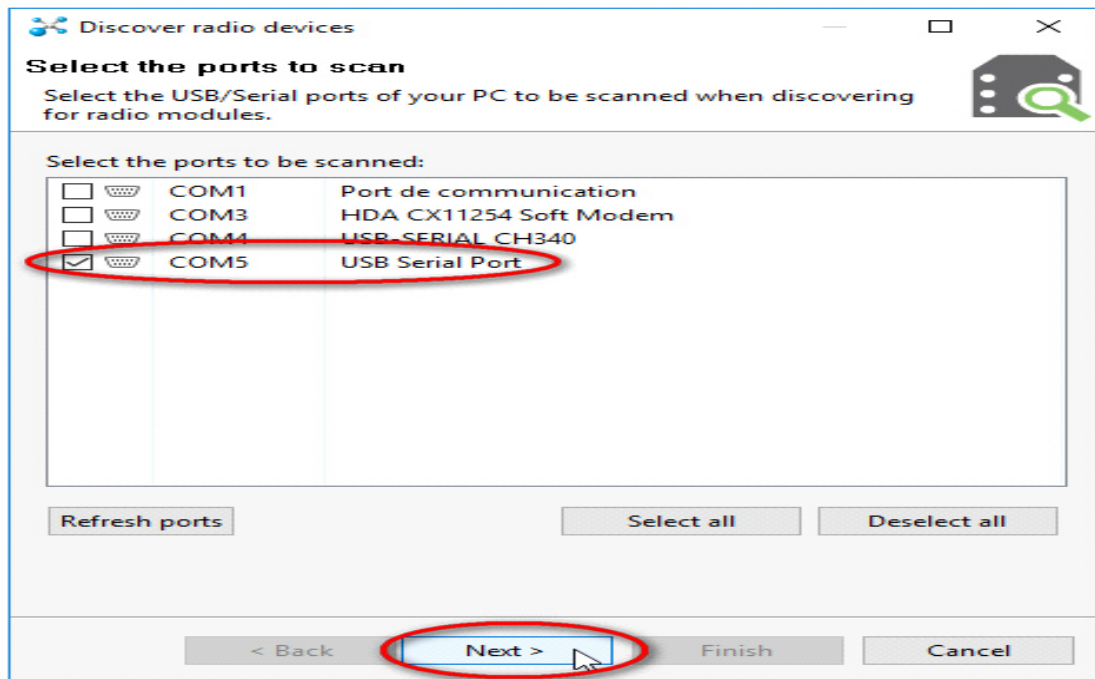


Figure III.2 : La sélection du port COM correspondant.

- o Vérifier la configuration du port COM

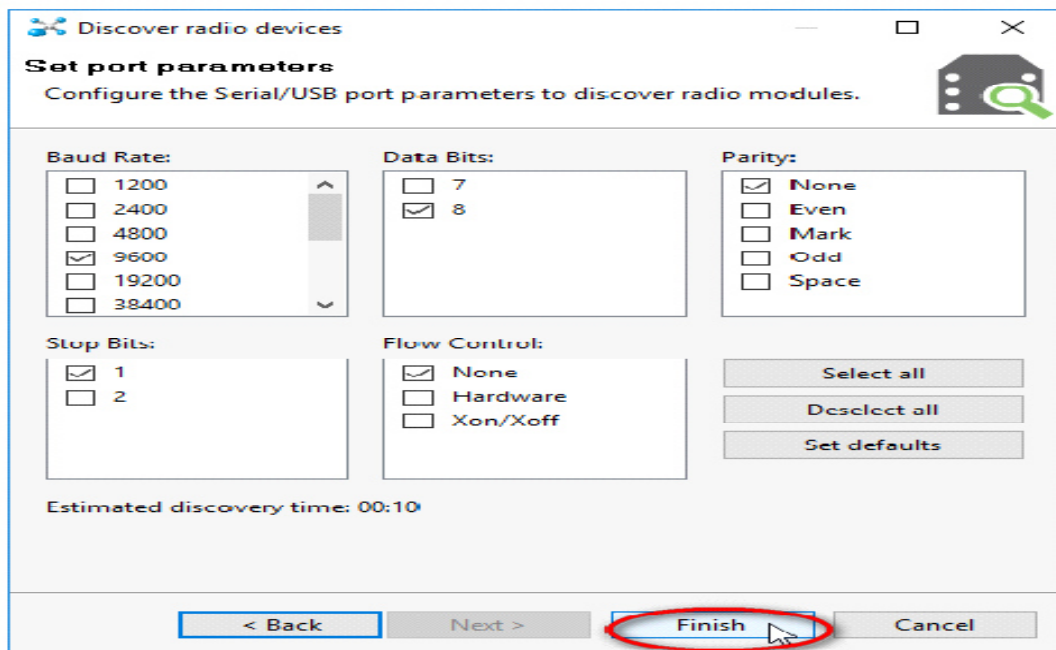


Figure III.3 : Vérification des paramètres du port COM.

- o Sélectionner le module détecté et cliquer sur le bouton "Add selected devices" :
- o Cliquer sur le module affiché.

La configuration doit être appliquée sur les deux modules de transmission et de réception pour qu'ils puissent communiquer entre eux. Ils doivent avoir le même channel et le même PAN ID, alors les paramètres à modifier sont CH et ID.

➤ **Pour l'émetteur XBee :**

- ID PAN (Personal Area Network): qui est le numéro de réseau : **3332**
- SC (Scan Channels) : **C**.
- CE (Coordinateur Enable): **Coordinateur**
- AP API Enable : **API Enable 2**

➤ **Pour récepteur XBee :**

- ID PAN (Personal Area Network): qui est le numéro de réseau : **3332**
- SC (Scan Channels) : **C**.
- CE (Coordinateur Enable): **Routeur**
- AP API Enable : **API Enable2**

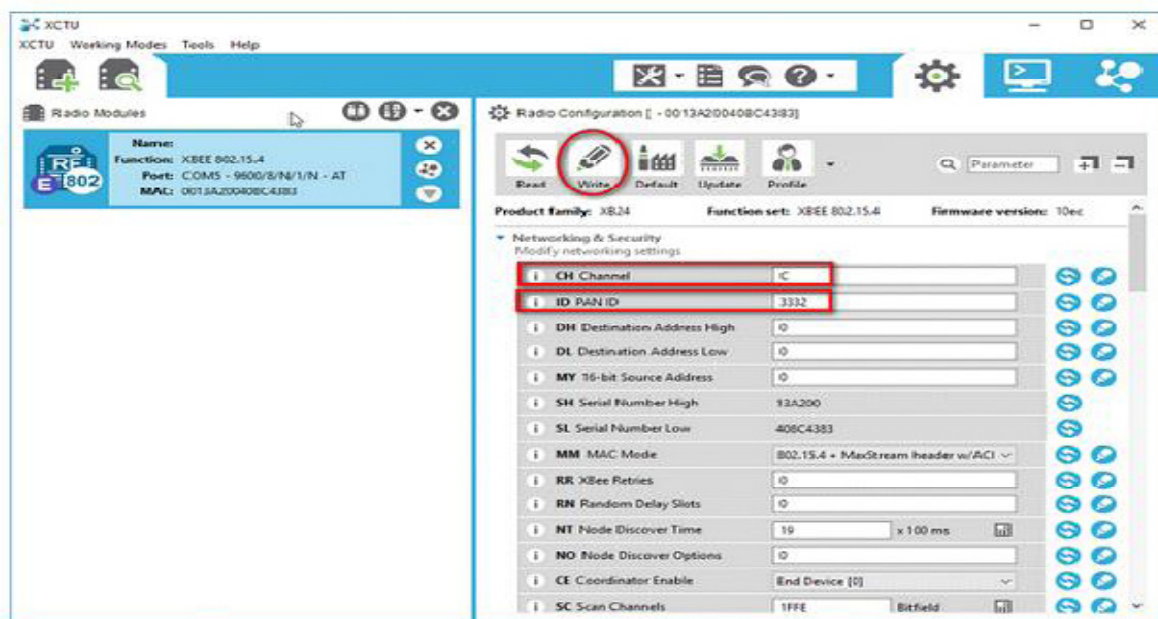


Figure III.4 : Paramètres à modifier.

III.3.3. Configuration du réseau :

Le module de routeur XBee est configuré pour une transmission d'accords de signal de 0,5 s et un intervalle de répétition de 10 ms. Nous avons lancé le scan réseau sous XCTU du module de coordination pour intégrer le routeur dans les réseaux.

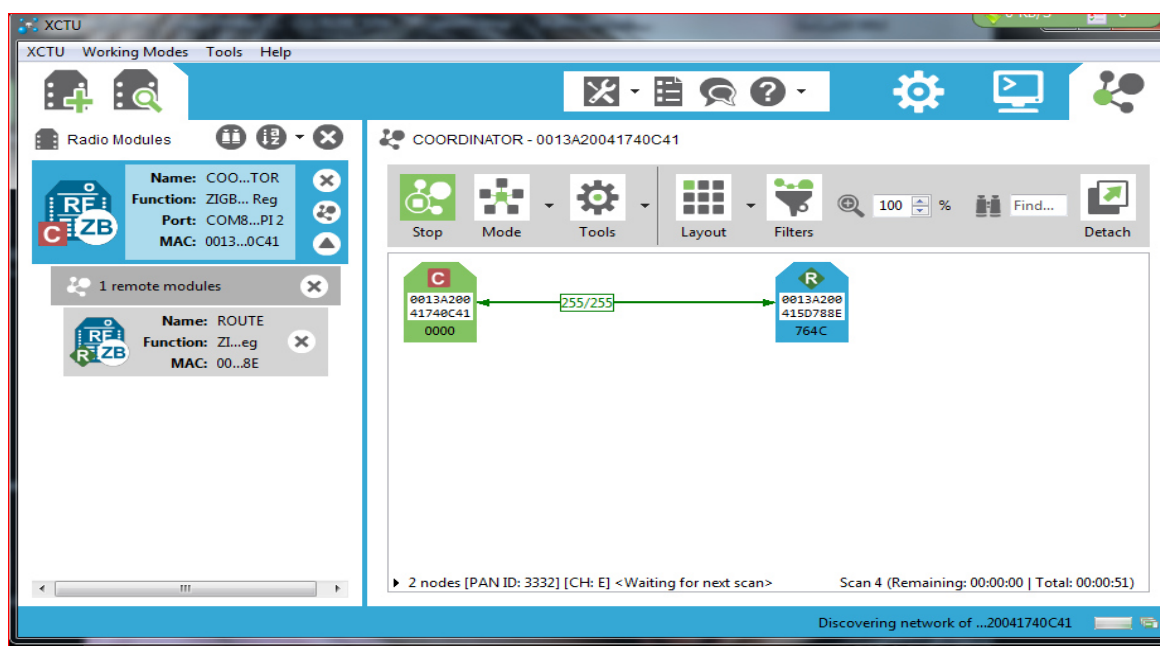


Figure III.5 : Connexion des deux modules XBee.

III.4.Description de montage principale :

Les composantes pratiques de notre montage expérimental peuvent être divisées en deux parties, partie fixe et partie mobile comme montre la **figure III.6**. Le fonctionnement de ces deux parties est la suivant :

A. La partie fixe :

- Le module XBee (configuré en coordonateur) est connecté à un PC via un port USB configuré comme port série RS232.
- Un programme sous Matlab envoie la commande AT 'DB' au module XBEE sur son port de communication série. Cette commande est une demande au module XBEE d'envoyer le RSSI du dernier message reçu.
- Dès que le module XBee reçoit la commande AT 'DB' sur son port série, il va répondre sur ce même port avec un message contenant la valeur du RSSI de dernier message reçu sur son antenne.
- Le programme Matlab va lire la valeur du RSSI reçu sur le port USB(port série du PC) et la sauvegarder dans un vecteur.

B. La partie mobile

- Alimentation de module Xbee .
- Le module XBee reçoit une commande AT 'DB' sur son antenne. il scanne la commande reçu.
- Le module va envoyer une réponse via l'antenne au module XBee partie fixe.
- Cette valeur du RSSI envoyée à la partie fixe est unutil.

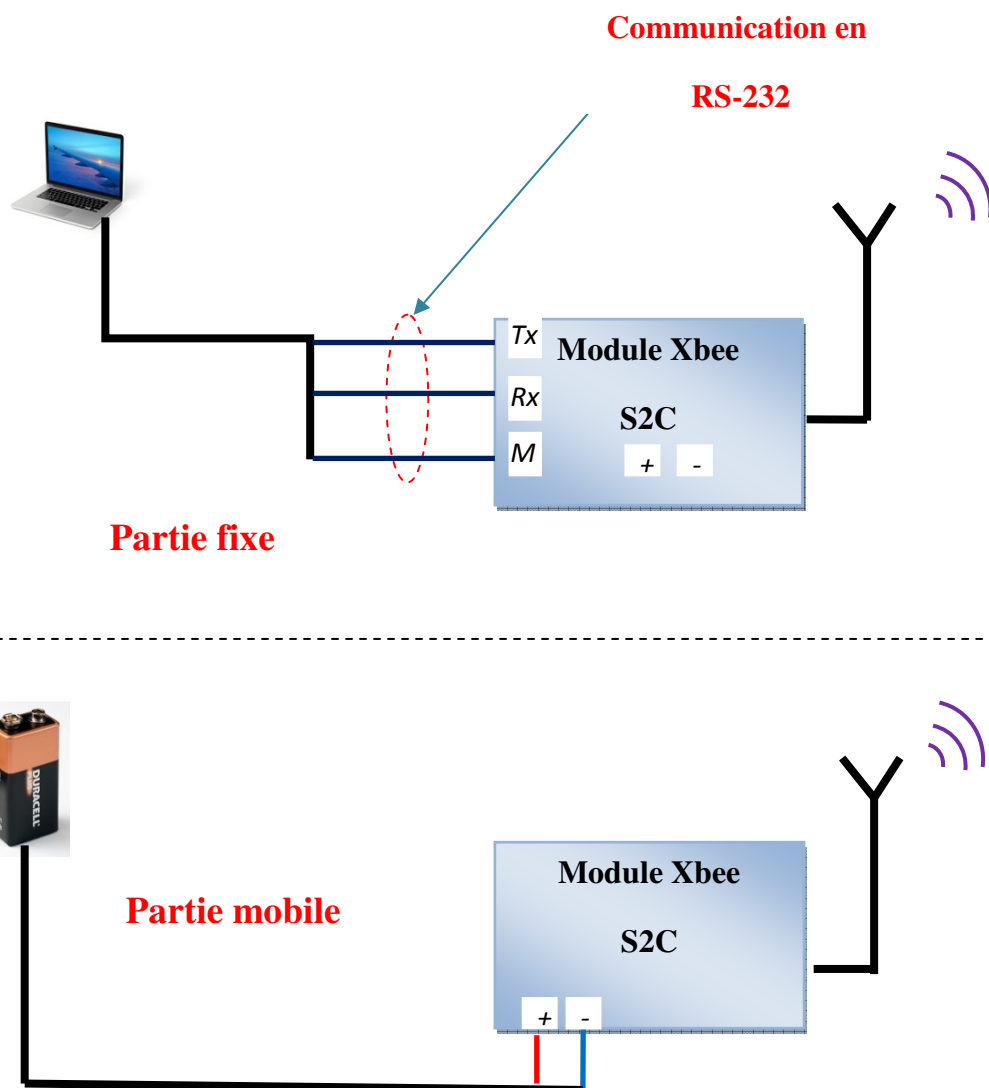


Figure III.6: Schéma électrique de montage.

III.5.Scénarios expérimentaux :

Notre sujet d'étude porte sur la méthode de localisation par RSSI. Comme nous l'avons présenté à la section III.2, tout d'abord on doit choisir l'environnement et le modèle

de propagation, dans notre cas nous avons utilisés deux environnements indoor/outdoor avec une propagation en LOS.

III.5.1.milieu de travail :

Le milieu de travail est le couloir du laboratoire de département des Génie Électrique dans notre faculté, il est à 23 mètre.



Figure III.7: Milieu de travail.

Notre réseau est constitué de deux modules Xbee communiquent entre eux via une liaison sans fil et communiquent avec le PC via un câble USB avec une communication série.

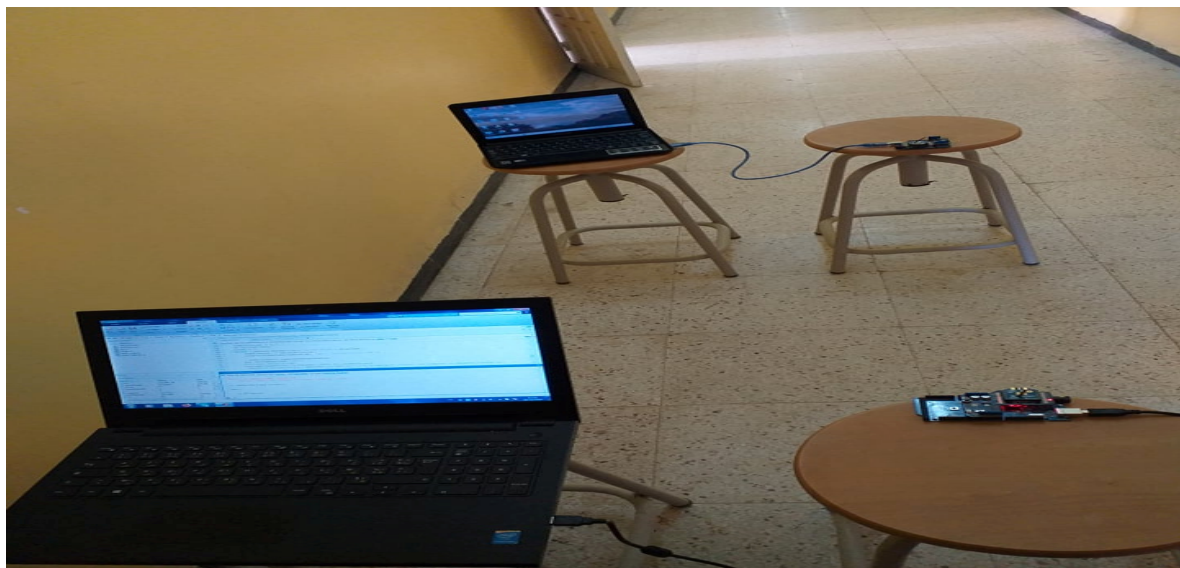


Figure III.8: Photo du Matériels utilisés.

III.6. Tests et résultats :

Notre expérience est divisée en deux parties :

- Extraction de la valeur de n et de A pour définir le modèle de propagation.
- Mesure de la distance entre l'émetteur et le récepteur porté par un véhicule.

III.6.1. extraction de la valeur de n et A :

La valeur de RSS est donnée selon l'équation suivante :

$$RSS = -10 \times n \times \log(d) + A \quad (\text{III.4})$$

Sachent que :

n : Constante de propagation du signal.

d : distance entre l'émetteur et le récepteur.

A : Puissance du signal reçue à une distance de 1 mètre.

Pour avoir calculé les valeurs de n et A , on a effectué des mesures de RSS à des distances connues. Dans notre cas on a appliqué le test 10 fois pour chaque distance.

III.6.1.1. Environnement LOS:

Le tableau III.2 représente les valeurs du RSS mesurés en dBm obtenu en fonction de la distance d via un programme MATLAB.

D	RSS1	RSS2	RSS3	RSS4	RSS5	RSS6	RSS7	RSS8	RSS9	RSS 10	RSS moy
1m	-30,13	-29,93	-31	-30,73	-35	-42,20	-34,13	-39,06	-35	-34	-34.11
2m	-31,64	-37,06	-35,66	-37,86	-47,20	-52,73	-34,35	-41,93	-39,66	-43,40	-40.14
3m	-32,71	-44,33	-53,31	-39,73	-46,40	-37,60	-49,80	-41,33	-39	-36,40	-42.06
4m	-34,86	-57,92	-37	-38,86	-34,73	-43,46	-43,80	-37,33	-51,80	-46,93	-42.66
5m	-38,05	-47,07	-41,33	-46,33	-51,86	-46,46	-45,05	-41,93	-38,33	-40,64	-43.70
6m	-46,37	-47,60	-46,80	-47,66	-57,33	-39,71	-46,40	-53,06	-44,06	-51	-46.99
7m	-49,33	-54,20	-45,12	-48,80	-45,06	-44,53	-45,80	-41,73	-41,60	-55,06	-47.12
8m	-47,05	-38,60	-42,26	-46,53	-52,92	-43,40	-42,46	-44,06	-40,20	-48,60	-44.60
9m	-47,20	-44,66	-44,20	-43,13	-41,60	-40,86	-41,07	-44,26	-43,86	-47,46	-43.73

10m	-45,92	-37,73	-39,67	-51,53	-55,40	-43,13	-45,50	-48	-43	-47,93	-45.78
11m	-49,73	-47,06	-58,86	-50,33	-46,40	-46	-42,46	-45.46	-44,50	-44,13	-47.49
12m	-49,06	-49,93	-48,40	-49,80	-52,53	-40,93	-57,06	-49,80	-45,66	-48,06	-49.12
13m	-50,07	-46,13	-46,46	-46,42	-42,81	-45,26	-48,73	-44,80	-49,13	-46,33	-46.61
14m	-41,20	-42	-40,26	-52,20	-48,33	-45,33	-48,20	-46,75	-42,93	-46,73	-45.39
15m	-49,73	-53,52	-50,64	-46,14	-43,13	-41,26	-48,73	-44,66	-43,06	-47,85	-46.87
16m	-39,56	-40,66	-40,80	-40,93	-47,53	-44,69	-48,46	-42,92	-48,86	-51,20	-44.56
17m	-41	-41,60	41,93	-45	-47,12	-46,13	-49,33	-44,60	-51,40	-54,50	-46.26
18m	-53,53	-47,66	-48,33	-40,33	-40	-42,40	-49,66	-42,33	-47,33	-50,73	-46.23
19m	-44,73	-46,26	-44,53	-47,60	-46,68	-49,93	-45,93	-48,86	-43,88	-44,60	-46.30
20m	-53,17	-57,66	-54,60	-44,06	-43,21	-47,56	-47,86	-47,70	-42,50	-44,66	-48.29
21m	-48,20	-56,13	-56,86	-49,93	-47,13	-48,66	-58,80	-52,60	-49	-60,80	-52.81
22m	-50,06	-52,13	-43,80	-45,86	-47,87	-48,06	-47,60	-51,53	-47	-45,60	-47.95
23m	-44,93	-44,53	-43,50	-52,50	-47,20	-45,73	-40,93	-51,06	-53,50	-56,60	-47.99

Tableau III.2: Les valeurs de RSS mesuré.

D'après ces mesures la valeur de A est de -34.11 dBm qui est le résultat de la valeur moyenne des mesures du RSS à 1m.

Pour la valeur de n on a tracé la valeur moyenne des RSS en fonction de d (Voir la **figure III.9**). Puis on a tracé la courbe théorique du RSS en fonction de d pour des valeurs de n entre 1 et 2. On a constaté que la courbe du RSS moyenne est très proche de la courbe théorique pour $n=1.2$. Ce résultat est obtenu par le calcul d'écart entre les courbes théoriques et la courbe des mesures pratiques ($RSS = f(d)$).

Donc le modèle de propagation utilisé a comme valeur de $A=-34.11$ dBm et $n =1.2$.

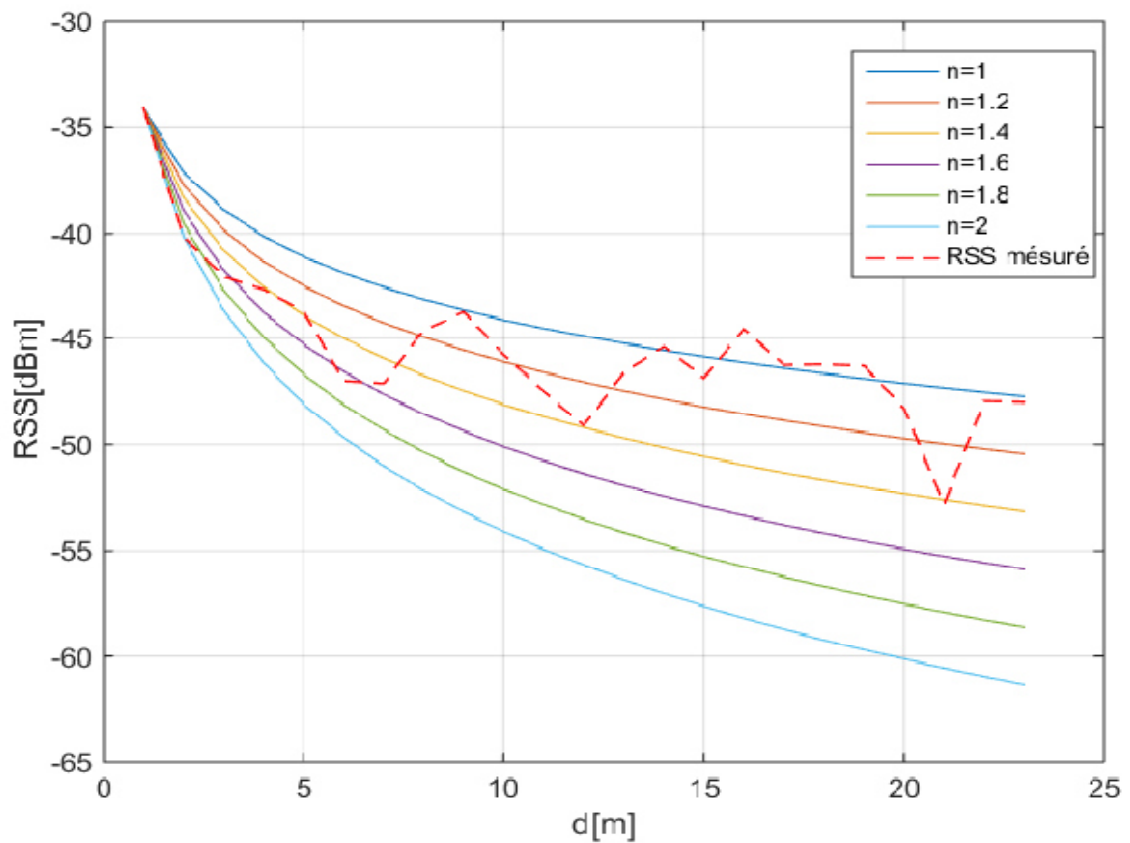


Figure III.9: Courbes théorique et mesuré du RSS en fonction de d .

Distances calculées :

On a utilisé l'équation III.5 pour convertir les valeurs du RSS reçu à des distances.

$$d = 10^{\frac{-34.11 + \text{RSS}(d)}{10 \cdot 1.2}} \quad (\text{III.5})$$

La figure III.10 montre la distance réelle et la distance mesurée suite au déplacement du véhicule mobile.

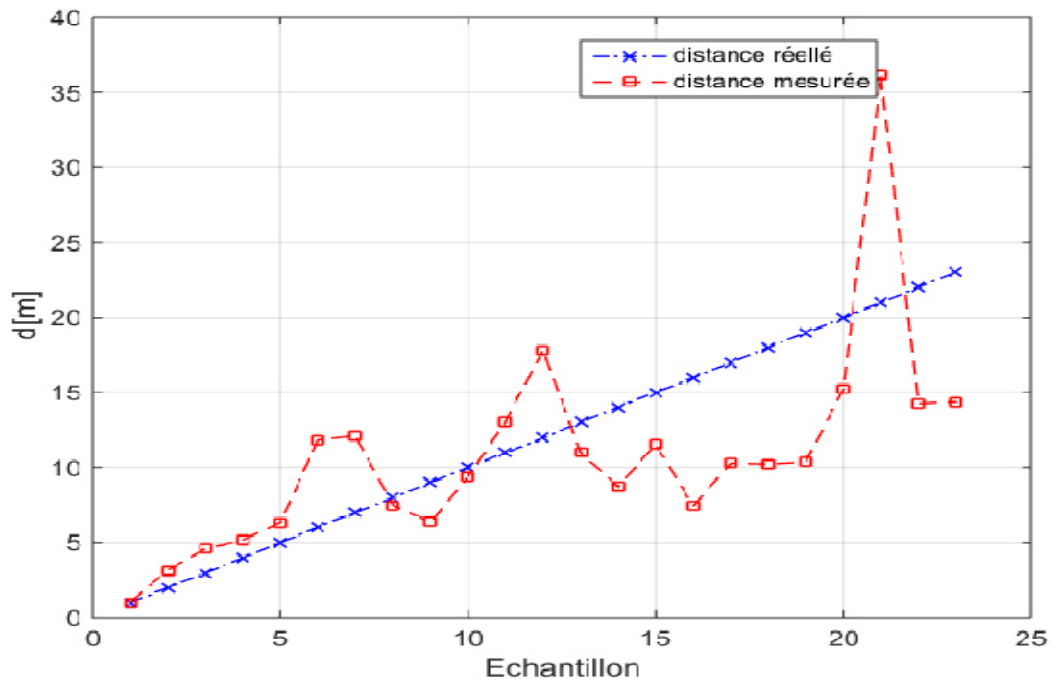


Figure III.10: Distance réelle et distance mesurée.

On constate un écart remarquable entre la distance réelle et la distance mesurée. Cet écart est dû aux différents types d’erreur dans les opérations de mesures. Dans notre cas les erreurs sont surtout dû aux interférences et aux multi trajets.

III.6.1.2. Environnement Out-Door :

Le **tableau III.3** représente les valeurs du *RSS* mesurés en dBm obtenu en fonction de la distance *d* via un programme MATLAB.

Distance (m)	RSS
1	-34.29
2	-41.88
3	-48.48
4	-44.60
5	-54.82
6	-50.68
7	-48.86
8	-52.31
9	-61.41
10	-47.23
11	-55.06
12	-53.70
13	-53.86
14	-53.53
15	-53.53

16	-56.81
17	-55.50
18	-57.43
19	-55.93
20	-60.77

Tableau III.3: Les valeurs de RSS mesuré.

La valeur de A à 1m est de -34.29 dBm.

n est entre 1.6 et 2.6. On a constaté que la courbe du RSS moyenne est très proche de la courbe théorique pour n=2. Donc le modèle de propagation utilisé a comme valeur de

A=-34.29 dBm et n =2.0.

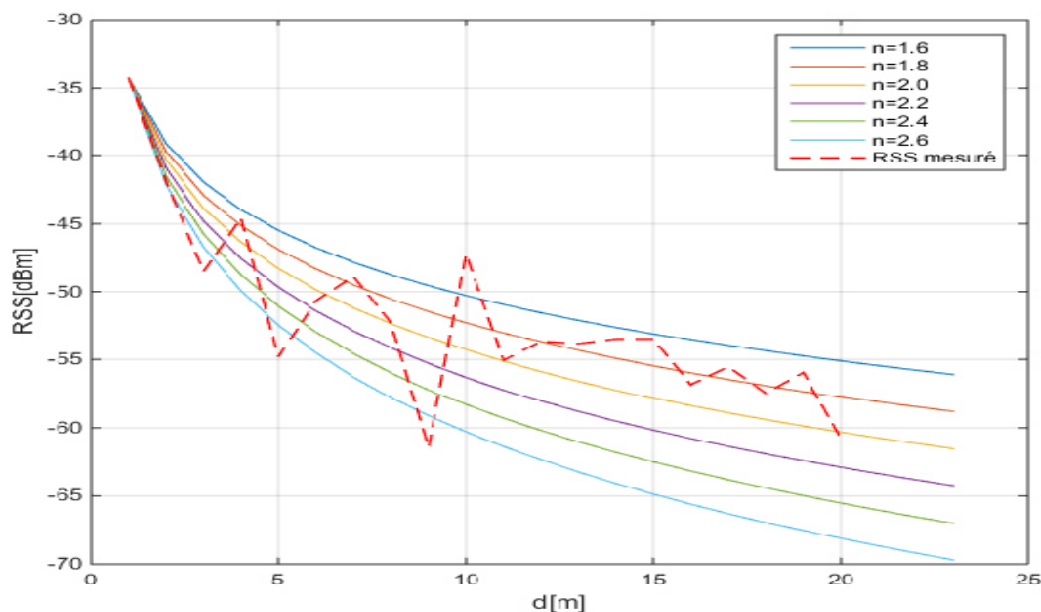


Figure III.11 : Courbes théorique et mesuré du RSS en fonction de d.

Distances calculées :

On a utilisé l'équation III.6 pour convertir les valeurs du RSS reçu à des distances.

$$d = 10^{\frac{-34.29 + RSS(d)}{10 \cdot 2}} \tag{III.6}$$

La figure III.12 montre la distance réelle et la distance mesurée suite au déplacement du véhicule mobile dans un milieu Out-door.

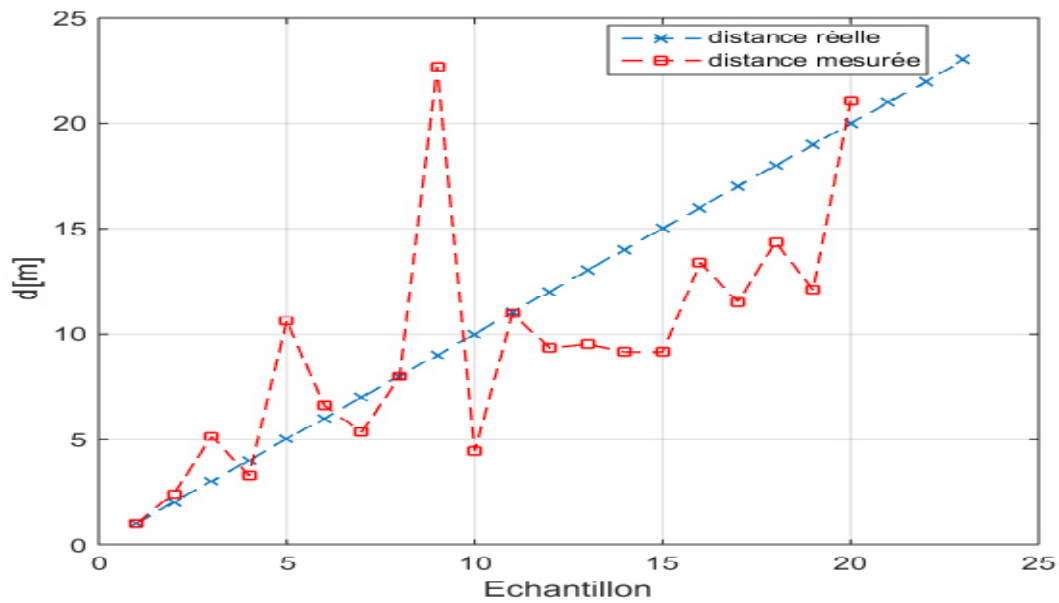


Figure III.12: Les distances calculées.

III.3.7. Conclusion :

Ce chapitre mène une étude expérimentale sur la mesure de la distance entre deux modules XBee, notamment en utilisant la puissance du signal reçu pour déterminer la distance entre deux systèmes de communication ZigBee. Les résultats qui ont été présentés confirment l'aptitude du système à être utilisé dans des applications de localisation. Bien que les tests ont présenté des erreurs flagrantes dues à la qualité des matériels utilisés, et à l'environnement de communication.

Conclusion

Générale

Conclusion générale :

Ces dernières années, les réseaux sans fil ont fait des progrès considérables, ce développement est même entré dans le domaine de la localisation.

Dans notre projet, nous avons choisi une technologie de communication sans fil appelée technologie Zigbee en raison de sa portabilité, de son coût, de sa capacité à établir facilement un réseau de communication.

Dans le premier chapitre, nous avons parlé du système de localisation, de son principe de fonctionnement, leur technique et leur différente métrique de mesure. Dans le deuxième chapitre, nous avons discuté des réseaux sans fil et donné quelques exemples et la description du protocole Zigbee et de son interface logicielle (XCTU). Enfin, au troisième chapitre, nous avons montré les différentes étapes pour mesurer la distance entre un émetteur et un récepteur en ce basant sur la puissance du signal reçu et les modules Xbee, qui assure la communication sans fil entre les deux entités du système.

Parmi les différentes techniques de localisation, la technique RSS qui se base sur la puissance de signal reçu, elle est utilisée dans différentes applications en raison de sa simplicité et de son faible coût, mais sa précision sera réduite en raison de l'influence du canal de propagation.

Dans notre travail, nous avons constaté que le milieu de propagation indoor/outdoor et le type de propagation LOS/NLOS influence sur la valeur de la puissance du signal (RSS). Elle est mieux dans un environnement outdoor que dans un environnement indoor, car dans un environnement intérieur, les ondes radio seront diffractées, réfléchies et réfractées par les murs, les meubles et autres obstacles, ce qui est la cause des perturbations au niveau du signal.

Ce projet nous permet d'améliorer nos connaissances et nos compétences dans ce domaine. Et comme suite à ce travail, on propose d'utiliser le réseau sans fil ZigBee pour localiser des objets mobile dans un plan à deux dimensions dans le domaine biomédical.

Référence

Bibliographiques

Référence bibliographiques:

- [1] LAUD G. et OLIVIER B. « Systèmes de géolocalisation », cours, janvier 2010.
- [2] SEGHIER N. « Localisation d'un mobile dans un réseau UMTS », mémoire Magister en électronique, Université des sciences et de la Technologie Oran, 2013.
- [3] KOSSONOU K. « Etude d'un système de localisation 3-D haute précision basée sur les techniques de transmission Ultra Large Bande à basse consommation d'énergie pour les objets mobiles communicants », Thèse de doctorat, électronique, Université de Valenciennes, 2014.
- [4] ABID M. « Système de localisation en temps réel basés sur les réseaux de communication sans fil », thèse de doctorat, génie électrique et informatique, Université de Sherbrooke(Québec) Canada, 2016.
- [5] DREVELLE V. « Étude de méthodes ensemblistes robustes pour une localisation multi sensorielle intégrée. Application à la navigation des véhicules en milieu urbain », thèse de doctorat, Automatique, Université de Technologie de Compiègne, 2011.
- [6] ROUSSEL N. « Application de la réflectométrie GNSS à l'étude des redistributions des masses à la surface de la Terre », thèse de doctorat, Télédétection et Géodésie Spatiale, Université d'Université Toulouse III - Paul Sabatier, 2015.
- [7] NAHIMANA D. « Impact des multi trajets sur les performances des systèmes de navigation par satellite : contribution à l'amélioration de la précision de localisation par modélisation bayésienne » thèse de doctorat, Automatique et Informatique Industrielle, école centrale de Lille, 2009.
- [8] AHRIZ R. « Application des techniques d'apprentissage à la géolocalisation par radiofingerprint », thèse de doctorat, électronique, Université Pierre & Marie Curie - Paris 6, 2010.

Références bibliographiques

[9] BOUDRIES A. « Maintien de la Connectivité dans les Réseaux Ad hoc sans fil », thèse de doctorat, Réseaux et Systèmes Distribués, Université Ferhat Abbas de Sétif 1, 2014.

[10] CHEKKOURI A. « Véhicule connecté contribution à la communication véhicule-réseau mobile et la localisation coopérative » thèse de doctorat en PHILOSOPHIÆ, génie informatique, Université de Montréal, 2015.

[11] SAAD C. «Quelques contributions dans les réseaux de capteurs sans fil : Localisation et Routage », thèse de doctorat, informatique, 'Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse, 2008.

[12] DALCE R. « Méthodes de localisation par le signal de communication dans les réseaux de capteurs sans fil en intérieur », thèse de doctorat, informatique et système embarqués, Université de Toulouse, 2013.

[13] HEDNA S. « Gestion de l'économie d'énergie dans les réseaux sans fil 802.11 Ad Doc » , mémoire Magister en informatique, Département d'informatique, université El Hadj Lakhder, Batna, Algérie.

[14] BELABDELLI A. et OUKAZ M.« dimensionnement d'un réseau sans fil wifi », mémoire d'ingénieur d'état, faculté de technologie, Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen, Tlemcen, Algérie, 2012.

[15] OUDIDI K. « Routage Et Qualité De Service Dans Les Réseaux Sans Fil Spontanés » , Thèse de doctorat, informatique, École Nationale Supérieure d'Informatique et d'Analyse des Systèmes, Université Mohammed V – Souissi, Maroc, 2010 .

[16] BOSSCHE A.« proposition d'une nouvelle méthode d'accès déterministe pour un réseau personnel sans fil à fortes contraintes temporelle », thèse de doctorat, génie informatique Automatique et traitement du signal, École doctorale système, université de Toulouse II, France, 2007.

Références bibliographiques

[17] BAKKARI M. et RACHIDI A. et BENTAMA A. et KHATORY A. « Implémentation du Wireless Personal Area Network (WPAN) dans les PME marocaines : cas du protocole ZigBee », conférence , December 2014, Fes, Maroc.

[18] BOSSCHE A. et Val T. et Campo E. « Métrologie pour l'analyse comparative des performances temporelles des liens Bluetooth », conférence, Mars 2005, Tunisie.

[19] BERDAI I. « Etude comparative des protocoles ZigBee Pro et ZigBee IP », thèse de doctorat, génie électrique, université du Québec, Montréal, Canada, 2016.

[20] CHALHOUB G. « Macari : une méthode d'accès déterministe et économe en énergie pour les réseaux de capteurs sans fil », thèse de doctorat, informatique, Ecole Doctorale Sciences Pour L'ingénieur De Clermont-Ferrand, université Blaise Pascal, France, 2012.

[21] Haji Mahmoud K. « data collection and processing from distributed system of wireless sensors », thèse doctorat, informatique, université masarykiana, Brno, 2013.

[22] ABDEDDAIM M.N. « Analyse des performances d'un réseau de capteurs exploitant le standard IEEE 802.15.4 », thèse de doctorat, Science et technologie de l'information, informatique, université de Grenoble, Grenoble, France, 2012.

[23] CAMUS M. « Architecture de réception RF très faible cout et très faible puissance. Applications aux réseaux de capteurs et au standard ZigBee », thèse de doctorat, Micro et Nano Technologie, université de Toulouse III, Toulouse, France, 2008.

[24] <https://www.digi.com/products/embedded-systems/digi-xbee/digi-xbee-tools/xctu?fbclid=IwAR0MdrJmhtfO2mplDOkR6jQ8RSY3dmAt6PZZWEicTVlwldmtqQiT582D8> . consulté le : 13/11/2020.

[25] A. ROXIN, J. et GABER, M. WACK et A. NAIT SIDI MOH « Survey of Wireless Geolocation Techniques », IEEE Globecom Workshops, 2007.

[26] Evanaska M. Barbosa N. « conception d'un système d'antennes de localisation en temps réel avec réseau de capteurs sans fil », thèse doctorat, optique et radiofréquences, université de Grenoble, Français, 2013.

Références bibliographiques

[27] Qun CHEN, Hua LIU, Min YU, Hang GUO, “ RSSI Ranging Model and 3D Indoor Positioning with ZigBee Network”, Proceeding of the IEEE/ION Position, Location and Navigation Symposium, 23-26 Avril 2012, Myrtle Beach, SC, USA.

[28] technique d'ingénieur , La géolocalisation : une technologie qui change le monde, [en ligne] «<https://www.techniques-ingenieur.fr/actualite/articles/geolocalisation-technologie-change-monde-55489/>», consultée le 24 décembre 2020.