

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA DE BEJAÏA
FACULTE DES SCIENCES EXACTES
DEPARTEMENT D'INFORMATIQUE



جامعة بجاية
Tasdawit n Bgayet
Université de Béjaïa

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER PROFESSIONNEL EN
INFORMATIQUE

OPTION : ADMINISTRATION ET SECURITE DES RESEAUX

THEME

ÉTUDE DES ALGORITHMES DE LOCALISATION DANS UN ENVIRONNEMENT MOBILE

Réalisé par :
M. NAIT IDIR Younes
M. NOURI Fatah

Devant le jury composé de :

Président	M. OUZEGGANE Redouane	MAA	U. A/Mira Béjaia.
Examinatrice	Mme. GHERBI Meriem	MAA	U. A/Mira Béjaia
Promoteur	M. LARBI Ali	MCB	U. A/Mira Béjaia.
Co-Promotrice	Mme. MEZEGHRANE-LARBI Wahiba	MCB	U. A/Mira Béjaia.

Année Universitaire : 2019/2020

REMERCIEMENTS

Avant toutes choses, nous tenons à remercier Dieu le tout Puissant Qui nous a donné patience et persévérance pour achever notre travail.

Nous tenons à répéter nos remerciements les plus forts à MA.LARBI ainsi à Mme W.MEZEGHRANE-LARBI, pour leurs conseils et leur soutien qui ont fait beaucoup de différence au long de la préparation de ce mémoire et nous ont aidé à le finaliser.

Notre gratitude va aussi aux membres de jury d'avoir accepté de juger ce travail. Un énorme merci à nos familles et amis pour leur éternel soutien et la confiance qu'ils ont en nos capacités.

Nous remercions également tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la concrétisation de ce travail. Qu'ils trouvent tous ici l'expression de nos sincères considérations

DEDICACE

Tout pouvoir humain est composé de la patience et de courage, c'est sans doute un grand avantage d'avoir de l'esprit et de la volonté, pour atteindre nos espérances afin aboutir à un avenir meilleure.

Je dédie ce travail à mes très chers parents ; à ma mère qui ne cesse jamais de m'encourager,

A mon père qui était toujours à mes côtés à tout moment.

Que Dieu tout puissant les garde pour nous.

A mon frère et mes sœurs pour leur amour et leur soutien.

A toute ma famille sans exception.

A mon binôme Younes et toute la famille NAIT IDIR

Aux personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé, qui m'ont accompagné durant mes chemins d'étude supérieure, collègues d'étude

A tous mes amis(es) la liste est longue permettez-moi de vous dire, bien que ma main vous a rates, que je vous porte toujours dans mes souvenirs et dans mes pensées.

Fatah

DEDICACE

Tout pouvoir humain est composé de la patience et de courage, c'est sans doute un grand avantage d'avoir de l'esprit et de la volonté, pour atteindre nos espérances afin aboutir à un avenir meilleure.

Je dédie ce travail à mes très chers parents ; à ma mère qui ne cesse jamais de m'encourager,

A mon père qui était toujours à mes côtés à tout moment.

Que Dieu tout puissant les garde pour nous.

A mon frère et mes sœurs pour leur amour et leur soutien.

A toute ma famille sans exception.

A mon binôme Fatah et toute la famille NOURI

A tous les membres et athlètes de nos associations du village USA OCAY TALSA

Aux personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé, qui m'ont accompagné durant mes chemins d'étude supérieure, collègues d'étude

A tous mes amis(es) la liste est longue permettez-moi de vous dire, bien que ma main vous a rates, que je vous porte toujours dans mes souvenirs et dans mes pensées.

Younes

TABLE DES MATIERES

Table des matières.....	i
Liste de figures.....	iv
Liste des tableaux	v
Liste des algorithmes	vi
Liste des abréviations	vii
Introduction générale	1
Chapitre 01 Généralités sur les réseaux de capteur sans fil	
1.1 Introduction.....	3
1.2 Réseaux sans fil.....	3
1.2.1 Définition	3
1.2.2 Les catégories des réseaux sans fil.....	4
1.2.2.1 Selon la zone de couverture	4
1.2.2.2 Selon l'infrastructure	8
1.2.3 Réseaux Ad Hoc	10
1.2.3.1 Définition	10
1.2.3.2 Caractéristiques des réseaux ad hoc	11
1.3 Réseaux de capteur sans fil (RCSF).....	12
1.3.1 Fonctionnement des RCSFs.....	12
1.3.2 Contraintes de conception des RCSFs.....	13
1.3.3 Applications des réseaux de capteurs	14
1.4 Nœud capteur.....	16
1.4.1 Définition d'un nœud capteur	16
1.4.2 Architecture d'un nœud capteur	17
1.5 Les systèmes embarqués	19
1.5.1 Définition.....	19
1.5.2 Caractéristiques d'un système embarqué	20
1.5.3 L'architecture générale d'un système embarqué.....	20
1.5.4 Classification des systèmes embarqués	21

1.5.5 Les domaines d'application de l'électronique embarquée	22
1.5.6 Exemple d'un système embarqué.....	22
1.6 Conclusion	23

Chapitre 02 La localisation dans les RCSFs

2.1 Introduction.....	24
2.2 Définition.....	24
2.3 Objectifs de localisation	24
2.4 L'intérêt des systèmes de localisation	25
2.5 Propriétés d'un système de localisation	26
2.6 Contraintes pour un système de localisation	26
2.7 Composition d'un système de localisation	27
2.7.1 L'estimation de distance/angle.....	28
2.7.2 Le calcul de la position	28
2.7.3 Algorithme de localisation.....	28
2.8 Méthodes de localisation	29
2.8.1 Méthodes de localisation physique.....	29
2.8.1.1 La trilatération.....	29
2.8.1.2 La triangulation.....	30
2.8.1.3 La multilatération	31
2.8.1.4 Calculs des distances par calcul de temps de transit du signal	32
2.8.1.5 Calculs des distances par mesure de puissance du signal.....	33
2.8.2 Méthodes de localisation logiques	34
2.9 Algorithmes de localisation	35
A. Algorithmes à ancrs statiques et nœuds statiques	35
B. Algorithmes à ancrs statiques et nœuds mobiles	36
C. Algorithmes à ancrs mobiles et nœuds statiques	36
D. Les algorithmes à ancrs mobiles et nœuds mobiles	37
2.10 Les méthodes d'implémentation	37
A. Les méthodes centralisées	37
B. Les méthodes distribuées	37
2.11 Conclusion	38

Chapitre 03 Proposition d'une solution pour la localisation

3.1 Introduction.....	39
3.2 Propriétés du réseau et hypothèses.....	39
3.3 Processus de localisation proposé.....	39
3.3.1 Quelques définitions.....	40
3.3.1.1 Définition 1	40
3.3.1.2 Définition 2	40
3.3.2 Phase de diffusion	41
3.3.3 Phase remplissage de la table de localisation	42
3.3.4 Phase de calcul.....	44
3.4 Conclusion.....	45

Chapitre 04 Simulation et évaluation des performances

4.1 Introduction.....	46
4.2 Simulation.....	46
4.3 Choix de modèle de simulation.....	46
4.4 Paramètres de simulation.....	46
4.5 Résultats de simulation.....	47
4.5.1 L'erreur moyenne de localisation.....	49
4.5.2 Nombre de message.....	51
4.5.3 L'erreur moyenne en fonction de l'angle de déplacement	51
4.6 Conclusion	52
Conclusion générale.....	53
Bibliographie	54

LISTE DE FIGURES

Figure 1.1 Le modèle des réseaux mobiles avec infrastructure.	8
Figure 1.2 Les catégories des RCSFs.....	9
Figure 1.3 Réseaux sans fil.....	10
Figure 1.4 Réseau de capteur sans fil.....	12
Figure 1.5 Quelques exemples d'illustrations d'applications de RCSF.	16
Figure 1.6 Exemple d'un nœud de capteur.....	16
Figure 1.7 Architecture d'un capteur sans fil.....	17
Figure 1.8 Exemple d'un système embarqué.....	19
Figure 1.9 Architecture d'un système embarqué.....	20
Figure 1.10 Microcontrôleur.....	22
Figure 2.1 Composition d'un système de localisation.....	28
Figure 2.2 Trilateration.....	30
Figure 2.3 Triangulation.....	31
Figure 2.4 Multilateration.....	31
Figure 2.5 Les méthodes de localisation.....	35
Figure 3.1 L'exécution du processus de localisation proposé.....	40
Figure 3.2 Exemple explicatif de la phase 1.....	42
Figure 4.1 Déploiement aléatoire des nœuds.....	47
Figure 4.2 Déploiement des nœuds avec un modèle de mobilité.....	48
Figure 4.3 Déploiement des nœuds juste après le recalcul de notre processus.....	49
Figure 4.4 L'erreur moyenne de localisation.....	50
Figure 4.5 Nombre de messages en fonction de l'angle de déplacement.....	51
Figure 4.6 L'erreur moyenne en fonction de l'angle de déplacement.....	52

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1 Liste des caractéristiques essentielles des méthodes.....	33
Tableau 3.1 Notations utilisées	41
Tableau 3.2 Table de localisation.....	43
Tableau 4.1 Paramètres de simulation.....	47

LISTE DES ALGORITHMES

Algorithme 3.1 Diffusion des messages et remplissage de la table de localisation.....	43
Algorithme 3.2 Calcul des positions.....	44

LISTE DES ABREVIATIONS

ADC	Analog to Digital Converter
AOA	Angle of Arrival
BLR	Boucle Locale Radio
CCK	Complementary Code Keying
ETSI	European Telecommunication Standards Institute
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile communication
HomeRF	Home Radio Frequency
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IHM	Interface Homme-Machine
MANETs	Mobile Ad hoc NETWORKs
MCL	Méthode de Monte-Carlo
PDA	Personal Digital Assistant
RCSF	Réseau de Capteur Sans Fil
RF	Radio-Frequencies
RSSI	Received Signal Strength Indication
SWAP	Shared Wireless Access Protocol
TDOA	Time Difference Of Arrival
TOA	Time Of Arrival
UM	Unité Mobile
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN	Wireless Local Area Network
WMAN	Wireless Metropolitan Area Network
WPAN	Wireless Personal Area Network
WSN	Wireless Sensors Network
WWAN	Wireless Wide Area Network

INTRODUCTION GENERALE

L'émergence de l'Internet au début des années soixante-dix, les avancées récentes dans le domaine de la micro-électronique et des technologies de communication sans fil ont fait l'objet d'une renaissance technologique. Cette technologie a permis de produire un nouveau domaine de recherche: le domaine des réseaux de capteurs.

Les réseaux de capteurs sans fil sont considérés comme un type spécial de réseaux ad hoc. Les nœuds de ce type de réseaux consistent en un grand nombre de micro-capteurs capables de récolter et de transmettre des données environnementales d'une manière autonome. La position de ces nœuds n'est pas comme a priori prédéterminée. Ils sont généralement dispersés aléatoirement à travers une zone géographique, appelée champ de captage, qui représente la zone d'intérêt pour surveiller un phénomène particulier. Les données captées sont acheminées grâce à un routage multi-saut à un nœud considéré comme un "point de collecte", appelé nœud puits (station de base). Ce dernier peut être connecté à l'utilisateur du réseau via Internet ou un satellite.

Une grande majorité des applications dans les RCSFs (Réseaux de capteurs sans fil) utilise un déploiement aléatoire d'un grand nombre de capteurs, en raison de l'hostilité de la zone à surveiller, ou de son immensité. La localisation des capteurs déployés est donc nécessaire non seulement au fonctionnement du réseau (routage géographique par exemple). Cette problématique, malgré les nombreux travaux de recherche qui s'y étaient attachés, reste une problématique ouverte.

L'énergie des capteurs étant limitée, cette contrainte doit être prise en compte afin d'allonger la durée de vie du réseau.

Ce mémoire se focalise sur la problématique de la localisation mobile dans les réseaux de capteurs sans fil. Nous nous sommes intéressés de près à l'algorithme de localisation à ancres statiques et nœuds mobiles afin de l'implémenter et d'évaluer ses performances selon la métrique de la précision, nos résultats de simulation ont démontré l'efficacité de notre proposition qui assure la localisation et l'estimation des nœuds mobiles dans le RCSF.

Notre mémoire est scindé en quatre chapitres, dans le premier chapitre, nous présenterons les réseaux sans fil d'une manière globale, puis les réseaux ad hoc et un cas particulier de ces réseaux les RCSFs ainsi que leurs applications dans les différents domaines, ensuite nous allons présenter les systèmes embarqués et leurs caractéristiques. Nous allons aborder dans le deuxième chapitre les différentes méthodes et algorithmes de localisation qui nous permettront de calculer et d'estimer la position des nœuds mobiles. Le troisième chapitre sera consacré aux propriétés du réseau et hypothèses, ainsi nous présenterons un processus de localisation pour les RCSFs mobiles qui est composé de trois phases (phase de diffusion des messages, phase de remplissage de la table de localisation et phase de calcul de la position). Dans le quatrième chapitre nous allons évaluer et illustrer les performances du protocole proposé, nous présenterons en premier lieu les étapes principales de la simulation (les paramètres de simulation) qui sera utilisée sous MATLAB, Puis nous allons interpréter les résultats obtenus par la simulation. Nous terminerons par une conclusion générale et quelques recommandations.

1.1 INTRODUCTION

L'évolution récente des moyens de la communication sans fil a permis la manipulation de l'information à travers des unités de calculs portables qui ont des caractéristiques particulières (une faible capacité de stockage, une source d'énergie autonome...) et accèdent au réseau à travers une interface de communication sans fil. Comparant avec l'ancien environnement (l'environnement statique), le nouvel environnement résultant appelé l'environnement mobile, permet aux unités de calcul, une libre mobilité et il ne pose aucune restriction sur la localisation des usagers.

Dans ce chapitre, nous présentons les principes et les caractéristiques des réseaux sans fil, les systèmes embarqués et leurs domaines d'application.

1.2 RESEAUX SANS FIL

1.2.1 DEFINITION

Les réseaux sans fil sont basés sur une liaison utilisant des ondes radio-électriques (radio et infrarouges) en lieu et place des câbles habituels. Il existe plusieurs technologies se distinguant d'une part par la fréquence d'émission utilisée ainsi que le débit et la portée des transmissions.

Les réseaux sans fil permettent de relier très facilement des équipements distants d'une dizaine de mètres à quelques kilomètres. De plus l'installation de tels réseaux ne demande pas de lourds aménagements des infrastructures existantes comme c'est le cas avec les réseaux filaires (creusement de tranchées pour acheminer les câbles, équipements des bâtiments en câblage, goulottes et connecteurs), ce qui a valu un développement rapide de ce type de technologies.

Grâce aux réseaux sans fil, un utilisateur a la possibilité de rester connecté tout en se déplaçant dans un périmètre géographique plus ou moins étendu, c'est la raison pour laquelle on entend parfois parler de "mobilité" [01].

1.2.2 LES CATEGORIES DES RESEAUX SANS FIL

Un réseau sans fil est un réseau où au moins deux nœuds peuvent avoir une communication sans liaison filaire. Ces réseaux de communications permettent aux utilisateurs de profiter de tous les services traditionnels des réseaux indépendamment de leurs positions géographiques. Les réseaux sans fil peuvent être classés selon deux critères :

Le premier est la zone de couverture du réseau. Qui nous permet de distinguer quatre catégories : les réseaux personnels, les réseaux locaux, le réseau métropolitain et les réseaux étendus.

Le second critère est l'infrastructure. Par rapport à ce critère les réseaux sans fil peuvent être divisés comme suit en : réseaux avec infrastructures et réseaux sans infrastructure [02].

1.2.2.1 SELON LA ZONE DE COUVERTURE

a. Réseaux personnels sans fils (WPAN)

Le réseau personnel sans fils (appelé également réseau individuel sans fils ou réseau domotique sans fils et noté WPAN pour Wireless Personal Area Network) concerne les réseaux sans fils d'une faible portée: de l'ordre de quelques dizaines mètres. Ce type de réseau sert généralement à relier des périphériques (imprimante, téléphone portable, appareils domestiques ...) ou un assistant personnel (PDA) à un ordinateur sans liaison filaire ou bien à permettre la liaison sans fils entre deux machines très peu distantes. Il existe plusieurs technologies utilisées pour les WPAN:

➤ Bluetooth

La principale technologie est IEEE 802.15.1 ou Bluetooth. Elle fut proposée par Ericsson en 1994 et fournit un taux de transmission radio théorique de 1 Mbit/s, pour une portée de 10 mètres (jusqu'à 100 m avec amplificateur). Cette technologie utilise une communication radio [03].

➤ **HomeRF (Home Radio Frequency)**

Est une spécification de réseau sans fil (Shared Wireless Access Protocol-SWAP) permettant à des périphériques domestiques d'échanger des données entre eux.

Elle a été mise au point par le HomeRFWorking Group, un groupe de sociétés actives dans le réseau sans fil incluant Siemens, Motorola et plus de cent autres sociétés. Le groupe a été dissout en janvier 2003 lorsque la norme Wi-Fi IEEE 802.11 est devenue disponible pour des usages domestiques et que Microsoft a choisi d'intégrer Bluetooth, concurrent direct de HomeRF, dans ses systèmes d'exploitation Windows, ce qui provoqua le déclin, puis l'abandon de cette spécification.

HomeRF utilisait la technique du frequency-hoppingspreadspectrum dans la bande de fréquences de 2.4 GHz avec un débit maximum de 10 Mbit par seconde. La distance maximum entre deux points d'accès était de 50 mètres. Elle permettait d'échanger à la fois des signaux provenant de téléphones traditionnels et des données numériques, permettant par exemple aux ordinateurs portables et aux téléphones portables d'utiliser la même bande passante [04].

➤ **ZigBee**

(Aussi connue sous le nom IEEE 802.15.4) permet d'obtenir des liaisons sans fil à très bas prix et avec une très faible consommation d'énergie, ce qui la rend particulièrement adaptée pour être directement intégré dans des petits appareils électroniques (appareils électroménagers, hifi, jouets, ...) [05].

➤ **Les liaisons infrarouges**

Permettent de créer des liaisons sans fil de quelques mètres avec des débits pouvant monter à quelques mégabits par seconde. Cette technologie est largement utilisée pour la domotique (télécommandes) mais souffre toutefois des perturbations dues aux interférences lumineuses.

b. Réseaux locaux sans fil (WLAN)

Le réseau local sans fil (WLAN pour Wireless Local Area Network) est un réseau permettant de couvrir l'équivalent d'un réseau local d'entreprise, soit une portée d'environ une centaine de mètres. Il permet de relier entre eux les terminaux présents dans la zone de couverture.

Il existe plusieurs technologies concurrentes :

➤ **IEEE 802.11, WiFi (Wireless Fidelity)**

IEEE 802.11 est un standard de réseau sans fil local proposé par l'organisme de standardisation Américain IEEE. La technologie 802.11 est généralement considérée comme la version sans fil de 802.3 (Ethernet). La technologie 802.11 a connu beaucoup d'évolutions, notamment la 802.11.a et la 802.11.b qui proposent une amélioration de la norme initiale en introduisant la modulation CCK (Complementary Code Keying) dans la bande des 2,4 GHz. Deux nouveaux débits sont alors disponibles, 5,5 Mbits/s et 11 Mbits/s sur une portée de quelques dizaines de mètres environ. Le 802.11.b est l'amendement de 802.11 qui a donné sa popularité au Wi-Fi. Bien que 802.11.b soit encore largement utilisé, il est maintenant supplanté par 802.11.g. Ce dernier constitue une amélioration directe de 802.11.b avec un débit bande de base de 54 Mbits/s sur la bande des 2,4 GHz [06].

➤ **Hiperlan 1 & 2**

Élaboré par l'ETSI (European Telecommunication Standards Institut), Hiperlan est exclusivement une norme européenne. La technologie de Hiperlan exploite la bande de fréquence de 5Ghz et les débits changent selon la version, ainsi : Hiperlan1 apporte un débit de 20 Mbit/s et Hiperlan2 offre un débit de 54 Mbit/s sur une portée d'action semblable dans celui de la Wi-Fi (100 mètres)

c. Les réseaux métropolitains sans fil(WMAN)

Les réseaux métropolitains sans fil ou Wireless Metropolitan Area Network (WMAN) sont aussi connus sous l'appellation de boucle locale radio (BLR). Les réseaux basés sur la technologie IEEE 802.16 ont une portée de l'ordre de quelques dizaines de kilomètres (50km de portée théorique annoncée) et un taux de transmission radio théorique pouvant atteindre 74 Mbit/s pour IEEE 802.16, plus connu sous le nom commercial de WiMAX [07].

d. Les réseaux sans fil étendus(WWAN)

Les réseaux sans fil (WWAN pour Wireless Wide Area Network) Cette catégorie possède assez peu de technologies à l'heure actuelle. Les seules technologies de WWAN

disponibles sont des technologies utilisant les satellites géostationnaires ou en orbite basse pour relier l'information entre plusieurs points du globe.

Les principales technologies sont les suivantes :

➤ **GSM**

GSM est l'abréviation de (Global System for Mobile Communication), c'est une norme établie en commun par les opérateurs européens depuis 1982, ayant pour objectif le développement d'un système de téléphonie mobile permettant des communications outre-mer. La communication a lieu par un paquet d'onde ayant deux fréquences : 900 MHz et 1800 MHz. Le GSM se distingue par plusieurs spécificités, le premier est l'aspect numérique du réseau, qui offre une qualité supérieure grâce à sa résistance aux interférences. La deuxième spécificité du réseau de GSM réside dans sa configuration cellulaire. Le territoire est subdivisé en petites cellules attachées les unes aux autres. Chaque cellule se voit assigner un certain nombre de canaux permettant les communications.

➤ **GPRS**

Le GPRS (General Packet Radio Services) est une technologie de radiocommunication par commutation de paquets pour les réseaux de GSM. Les connexions des services de GPRS sont toujours ouvertes afin d'offrir aux utilisateurs des terminaux mobiles une disponibilité de réseau identique à celle qu'ils pourraient atteindre par des réseaux d'entreprise. Le GPRS offre une connectivité d'IP de bout en bout, du terminal GPRS jusqu'à n'importe quel réseau IP.

Les terminaux peuvent être intégrés efficacement aux réseaux Internet. La vitesse "utile" sera d'environ 40 Kb/s (vitesse maximum : 171 Kb/s).

➤ **UMTS**

UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), désigne une nouvelle norme de téléphonie mobile. Le principe de l'UMTS consiste à exploiter une bande de fréquences plus grande pour faire transmettre plus des données et donc obtenir un débit plus important. En théorie, il peut atteindre 2 Mb/s.

La norme d'UMTS exploite de nouvelles bandes de fréquences situées entre 1900 et 2200 MHz. Cette technologie permet de faire passer des données simultanément et offre alors des débits nettement supérieurs à ceux atteints par le GSM et le GPRS.

1.2.2.2 SELON L'INFRASTRUCTURE

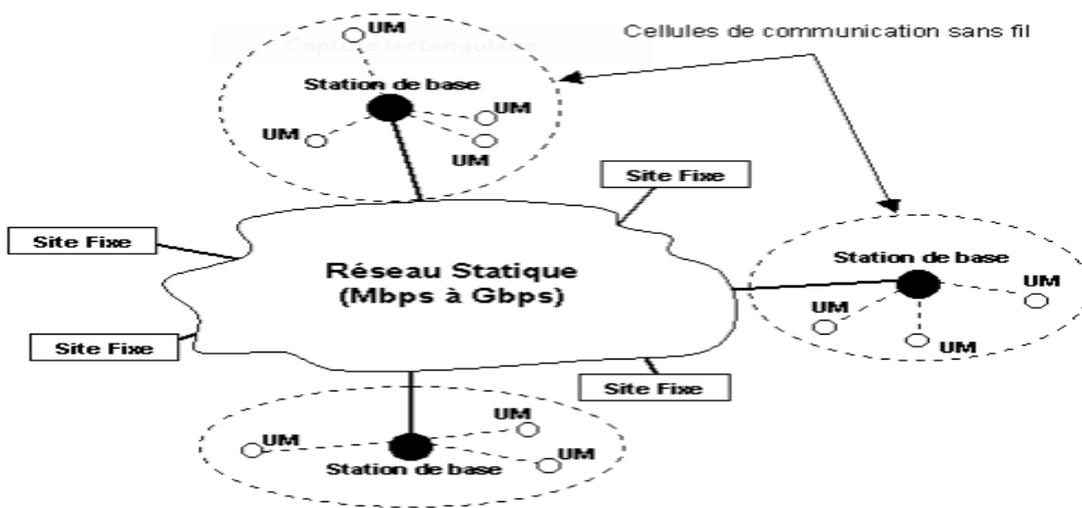
Les environnements mobiles sont des systèmes composés de sites mobiles qui permettent à leurs utilisateurs d'accéder à l'information indépendamment de leurs positions géographiques. Les réseaux mobiles ou sans fil, peuvent être classés en deux classes : les réseaux avec infrastructure et les réseaux sans infrastructure.

a. Réseaux cellulaires (avec infrastructure)

Ce type de réseaux se compose des éléments suivants (voir figure 1.1):

- Les "sites fixes" du réseau filaire.
- Les "sites mobiles", réseaux sans fil.

Certains sites fixes, appelés stations de base (SB) sont munis d'une interface de communication sans fil pour la communication directe avec les sites mobiles localisés dans une zone géographique limitée, appelée cellule de communication sans fil.



UM : UNITE MOBILE

Figure 1.1 Le modèle des réseaux mobiles avec infrastructure [8].

A chaque station de base correspond une cellule à partir de laquelle des unités mobiles peuvent émettre et recevoir des messages. Alors que les sites fixes sont interconnectés entre eux à travers un réseau de communication filaire. Une unité mobile ne peut être, à un instant donné, directement connectée qu'à une seule station de base. Elle peut communiquer avec les autres sites à travers la station à laquelle elle est directement rattachée [8].

b. Réseaux Ad Hoc (sans infrastructure)

Contrairement aux réseaux sans fil basés sur les systèmes de centralisation dans ce cas aucune administration centralisée n'est disponible, ce sont les hôtes mobiles elles-mêmes qui forment, d'une manière Ad Hoc, une infrastructure du réseau [9].

Le schéma suivant résume les catégories des réseaux de capteurs sans fil :

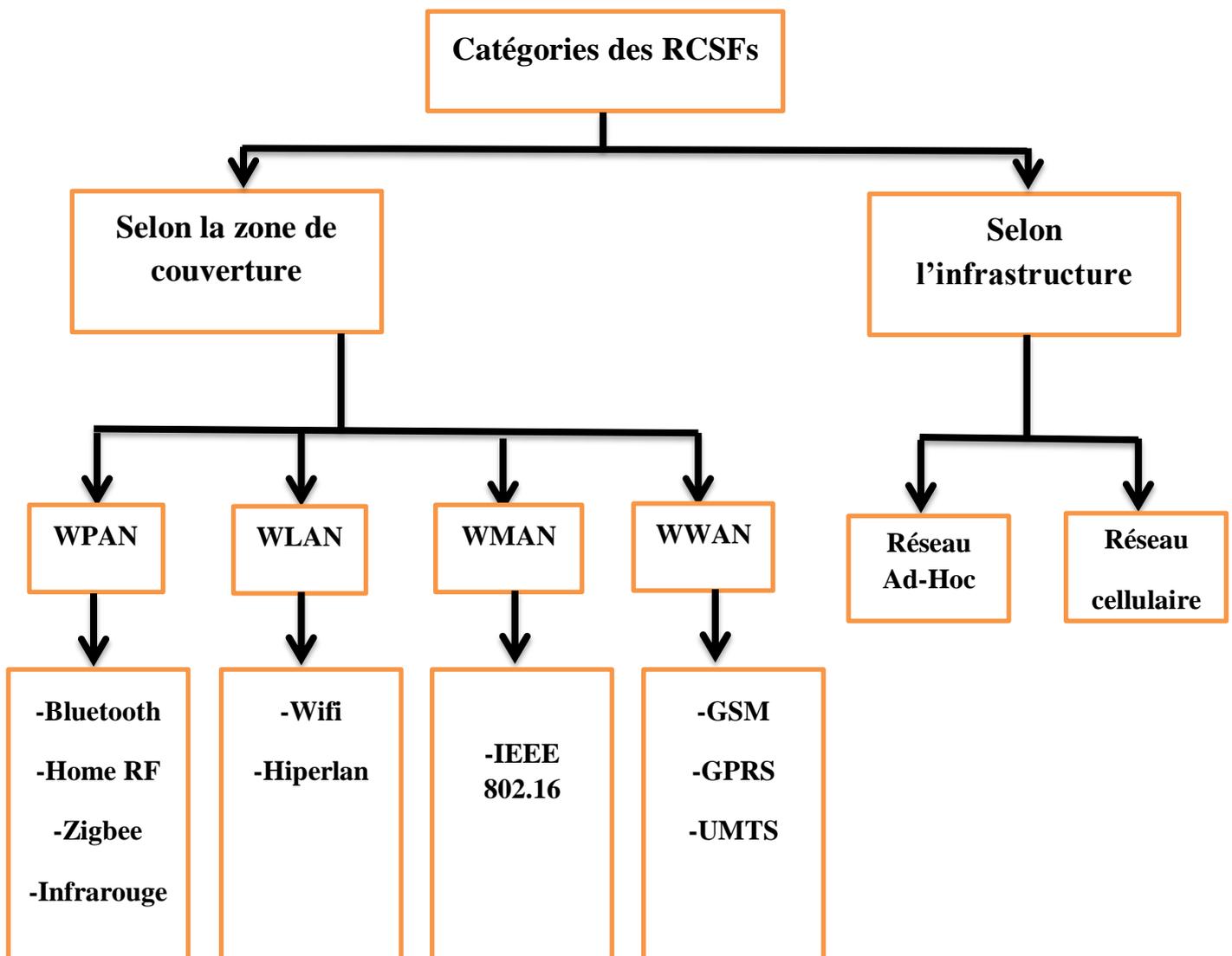


Figure 1.2 Les catégories des RCSFs

1.2.3 RESEAUX AD HOC

1.2.3.1 DEFINITION

Les réseaux ad hoc sont des réseaux sans fil, les éléments constituant (généralement appelés hôtes ou nœuds) communiquent entre eux en mode pair-à-pair et sont capables de s'auto-organiser sans infrastructure définie préalablement et sans la disponibilité d'aucune administration centralisée. Par exemple connecter un équipement à un autre équipement sans l'utilisation d'infrastructure (comme par exemple un point d'accès dans les réseaux sans fil ou un routeur dans les réseaux câblés). Les réseaux ad hoc, dont leur configuration est mobile, sont connus sous le nom de "réseaux mobiles ad hoc" ou MANETs (Mobile ad hoc networks en anglais). Dans un réseau ad hoc, un nœud peut communiquer directement avec les nœuds qui sont dans son rayon de communication (on les appelle les voisins directs). Pour communiquer avec d'autres nœuds non voisins directs (ceux qui sont en dehors du rayon de communication), un protocole de routage est nécessaire pour construire des routes entre les nœuds afin d'acheminer les données du nœud source vers le nœud destination. En d'autres termes, chaque composant du réseau agit en tant que terminal et nœud de relais, et participe au maintien de la connectivité dans le réseau tout entier [10].



Figure 1.3 Réseaux Ad Hoc(MANET) [10].

1.2.3.2 CARACTERISTIQUES DES RESEAUX AD HOC

➤ **Mobilité (Une topologie dynamique)**

La mobilité des nœuds constitue une caractéristique très spécifique des réseaux ad hoc. Cette mobilité est intrinsèque au fonctionnement du réseau. Dans un réseau ad hoc, la topologie du réseau peut changer rapidement, de façon aléatoire et non prédictible et les techniques de routage des réseaux classiques, basées sur des routes préétablies, ne peuvent plus fonctionner correctement [11].

➤ **Equivalence des nœuds du réseau**

Dans un réseau classique, il existe une distinction nette entre les nœuds terminaux (stations, hôtes) qui supportent les applications et les nœuds internes (routeurs par exemple) du réseau, en charge de l'acheminement des données.

Cette différence n'existe pas dans les réseaux ad hoc car tous les nœuds peuvent être amenés à assurer des fonctions de routage.

➤ **Liaisons sans fil (Une bande passante limitée)**

Les technologies de communication sans fil sont indispensables à la mise en place d'un réseau ad hoc. Malgré des progrès très importants, leurs performances restent et resteront en dessous de celles des technologies des réseaux filaires. La bande passante est moins importante, alors que le routage et la gestion de la mobilité génèrent davantage de flux de contrôle et de signalisation que dans une architecture de réseau filaire. Ces flux doivent être traités de façon prioritaire pour prendre en compte rapidement les modifications de topologie.

➤ **Autonomie des nœuds (Des contraintes d'énergie)**

La consommation d'énergie constitue un problème important pour des équipements fonctionnant grâce à une alimentation électrique autonome. Ces équipements intègrent des modes de gestion d'énergie et il est important que les protocoles mis en place dans les réseaux ad hoc prennent en compte ce problème.

➤ **Vulnérabilité (Une sécurité physique limitée)**

Les réseaux sans fil sont par nature plus sensibles aux problèmes de sécurité. Pour les réseaux ad hoc, le principal problème ne se situe pas au niveau du support physique mais

principalement dans le fait que tous les nœuds sont équivalents et potentiellement nécessaires au fonctionnement du réseau.

1.3 RESEAUX DE CAPTEUR SANS FIL (RCSF)

Les réseaux de capteurs sans fil ou WSN (Wireless Sensor Networks) constituent une catégorie particulière de réseaux ad hoc. Ces derniers sont conçus pour répondre à des problématiques de communications où l'homme est souvent un acteur principal (accès à un réseau global comme Internet, téléphonie, télécommande. . .). Les WSN's offrent des moyens de communication très souvent spontanés entre objets autonomes, généralement sans aucune intervention humaine. Il existe des différences considérables entre les réseaux de capteurs et les réseaux ad hoc [14].

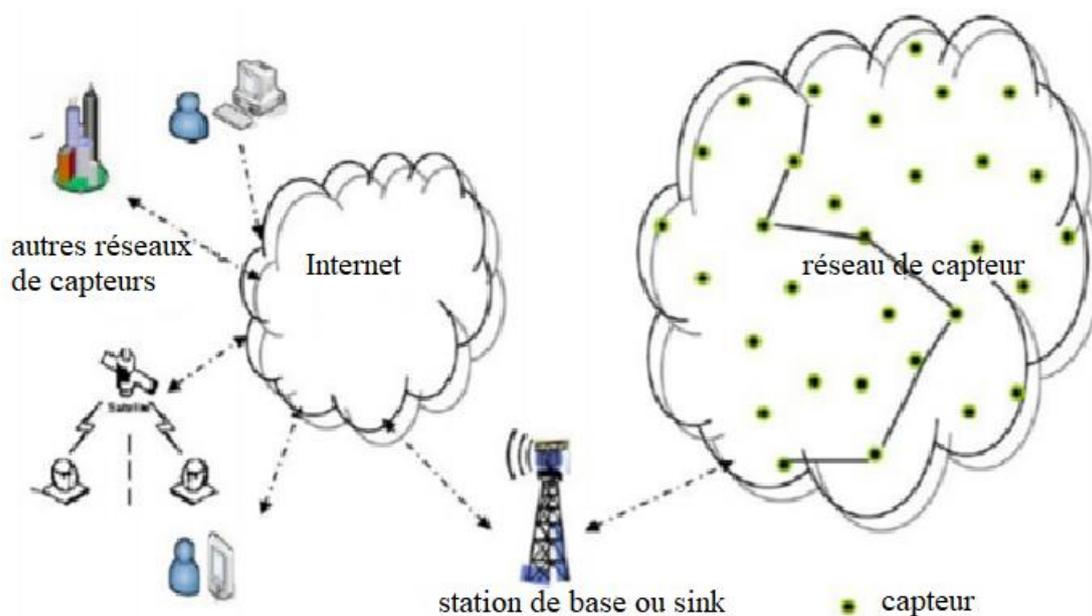


Figure 1.4 Réseau de capteur sans fil [14]

1.3.1 FONCTIONNEMENT DES RCSFs

Un RCSF est composé d'un grand nombre de capteurs placés dans une zone d'intérêt donnée. Ils coopèrent ensemble dans le but d'accomplir une tâche commune, très souvent dédié à la surveillance, celle des : champs de bataille dans les applications militaires, zones à risque ou difficilement accessibles, environnement, parkings, entrepôts, places publiques, forêts (afin de pouvoir détecter en temps réel les incendies), surveillance de troupeaux sur les pâturages, contrôle de la production industrielle, contrôle et suivi environnemental, etc. Chaque capteur déployé dans sa zone de surveillance doit rendre compte en permanence de l'état de l'environnement qui l'entoure afin de détecter et mesurer d'éventuels paramètres sur

cet environnement et de les transmettre, le cas échéant, à une station de base via un mécanisme de routage donné, qui est souvent une communication multi-sauts. Les rayons de détection et de communication de chaque capteur étant limités, chaque nœud capteur doit ainsi accepter de relayer les données collectées par d'autres nœuds capteurs afin de les acheminer, de proche en proche, jusqu'au centre de traitement, soit le lieu où ces données doivent être traitées et éventuellement exploitées par un utilisateur final donné connecté au réseau via Internet ou un système satellite [15].

1.3.2 CONTRAINTES DE CONCEPTION DES RCSFs

Les principaux facteurs et contraintes influençant l'architecture des réseaux de capteurs peuvent être résumés comme suit :

- · **La tolérance aux fautes** : La tolérance aux fautes est la capacité de maintenir les fonctionnalités du réseau en présence de fautes. La fiabilité des réseaux de capteurs sans fil est affectée par des défauts qui se produisent à cause de diverses raisons telles que le mauvais fonctionnement du matériel ou à cause d'un manque d'énergie. Ces problèmes n'affectent pas le reste du réseau.
- **Le facteur d'échelle (Scalability)** : Le nombre de nœuds de capteurs augmente sur un réseau sans fil et ce nombre peut atteindre le million. Un nombre aussi important de nœuds engendre beaucoup de transmissions entre les nœuds et peut imposer des difficultés pour le transfert de données [16].
- **Les coûts de production** : Souvent les réseaux de capteurs sont composés d'un très grand nombre de nœuds. Le prix d'un nœud est critique afin de pouvoir concurrencer un réseau de surveillance traditionnel [17].
- **L'environnement** : Les capteurs sont souvent déployés en masse dans des endroits tels que des champs de bataille, à l'intérieur de grandes machines, au fond d'un océan, dans des champs biologiquement ou chimiquement souillés, par conséquent, ils doivent pouvoir fonctionner sans surveillance dans des régions géographiques éloignées [18].
- **La topologie de réseau** : Le déploiement d'un grand nombre de nœuds nécessite une maintenance de la topologie. Cette maintenance est réalisée en trois phases : Déploiement, post-déploiement (les capteurs peuvent bouger, ne plus fonctionner,...) et redéploiement de nœuds additionnels [18].

- **Les contraintes matérielles** : La principale contrainte matérielle est la taille du capteur, qu'il s'adapte aux différents environnements (fortes chaleurs, eau,...), qu'il soit autonome et très résistant vu qu'il est souvent déployé dans des environnements hostiles.
- **Les médias de transmission** : Dans un réseau de capteurs, les nœuds sont reliés par une architecture sans fil. Pour permettre des opérations sur ces réseaux dans le monde entier, le média de transmission doit être standardisé. On utilise le plus souvent l'infrarouge, le Bluetooth et les communications radio Zig Bee.
- **La consommation d'énergie** : Un capteur est limité en énergie (<1.2J). Dans la plupart des cas le remplacement de la batterie est impossible. Ce qui veut dire que la durée de vie d'un capteur dépend grandement de la durée de vie de la batterie. Dans un réseau de capteurs (multi-sauts) chaque nœuds collecte des données et envoie/transmet des valeurs. Le dysfonctionnement de quelques nœuds nécessite un changement de la topologie du réseau et un routage des paquets. Toutes ces opérations sont gourmandes en énergie, c'est pour cette raison que les recherches actuelles se concentrent principalement sur les moyens de réduire cette consommation [19].

1.3.3 APPLICATIONS DES RESEAUX DE CAPTEURS

La miniaturisation des micro-capteurs, le coût de plus en plus faible, la large gamme des types de capteurs disponibles (thermique, optique, vibrations, etc.) ainsi que le support de communication sans fil utilisé, permettent l'application des réseaux de capteurs dans plusieurs domaines parmi lesquels [20] :

- **Découvertes de catastrophes naturelles** : Nous pouvons créer un réseau autonome en dispersant les nœuds dans la nature. Des capteurs peuvent ainsi signaler des événements tels que feux de forêts, tempêtes ou inondations. Ceci permet une intervention beaucoup plus rapide et efficace des secours.
- **Détection d'intrusions** : En plaçant, à différents points stratégiques, des capteurs, nous pouvons ainsi prévenir des cambriolages ou des passages de gibier sur une voie de chemin de fer (par exemple) sans avoir à recourir à de coûteux dispositifs de surveillance vidéo.
- **Applications métiers** : Nous pourrions imaginer devoir stocker des denrées nécessitant un certain taux d'humidité et une certaine température (min ou max). Dans

ces applications, le réseau doit pouvoir collecter ces différentes informations et alerter en temps réel si les seuils critiques sont dépassés.

- **Contrôle de la pollution** : Nous pourrions disperser des capteurs au-dessus d'un emplacement industriel pour détecter et contrôler des fuites de gaz ou de produits chimiques. Ces applications permettraient de donner l'alerte en un temps record et de pouvoir suivre l'évolution de la catastrophe.
- **Agriculture** : Des nœuds peuvent être incorporés dans la terre. Nous pouvons ensuite questionner le réseau de capteurs sur l'état du champ (déterminer par exemple les secteurs les plus secs afin de les arroser en priorité). Nous pouvons aussi imaginer équiper des troupeaux de bétail de capteurs pour connaître en tout temps, leur position ce qui éviterait aux éleveurs d'avoir recours à des chiens de berger.
- **Surveillance médicale** : En implantant sous la peau de mini capteurs vidéo, nous pouvons recevoir des images en temps réel d'une partie du corps sans aucune chirurgie pendant environ 24h. Nous pouvons ainsi surveiller la progression d'une maladie ou la reconstruction d'un muscle.
- **Contrôle d'édifices** : Nous pouvons inclure sur les parois des barrages des capteurs qui permettent de calculer en temps réel la pression exercée. Il est donc possible de réguler le niveau d'eau si les limites sont atteintes. Nous pouvons aussi imaginer inclure des capteurs entre les sacs de sables formant une digue de fortune. La détection rapide d'infiltration d'eau peut servir à renforcer le barrage en conséquence. Cette technique peut aussi être utilisée pour d'autres constructions tels que ponts, voies de chemins de fer, routes de montagnes, bâtiments et autres ouvrages d'art.

Les images de la figure 1.5 montrent quelques exemples d'illustrations d'applications de RCSF.

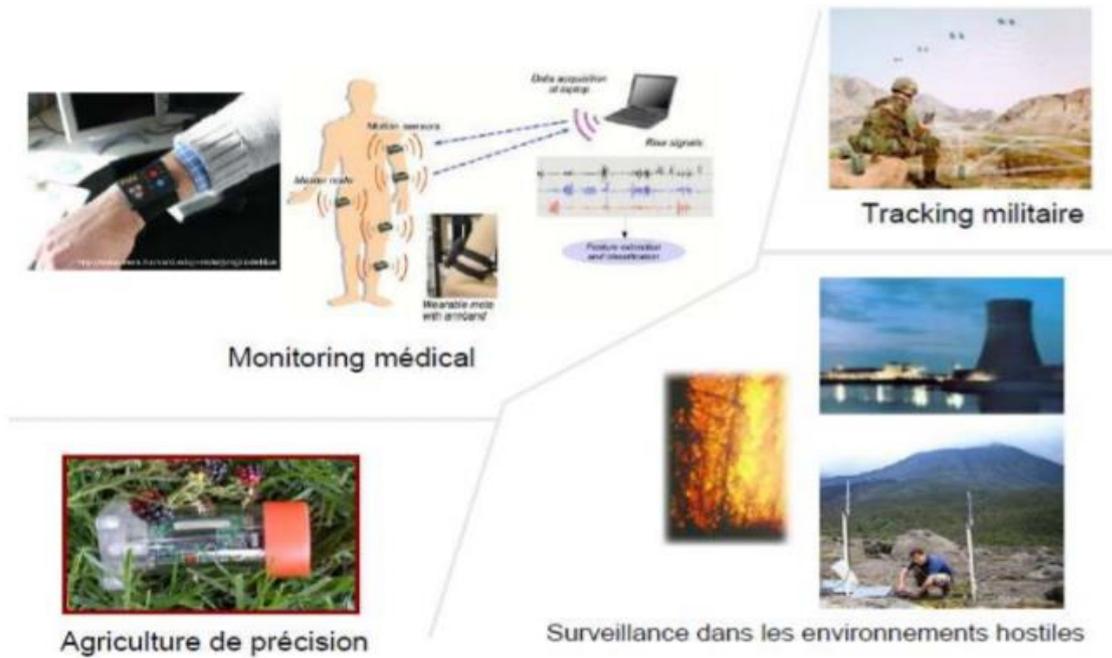


Figure 1.5 Quelques exemples d'illustrations d'applications de RCSF.

1.4 NŒUD CAPTEUR

1.4.1 DEFINITION D'UN NŒUD CAPTEUR

Un capteur est un petit appareil autonome capable d'effectuer des mesures simples sur son environnement immédiat, comme la température, la vibration, la pression, etc. Chaque capteur assure trois fonctions principales : la collecte, le traitement et la communication de l'information vers un ou plusieurs points de collecte appelés station de base (SB) [12].

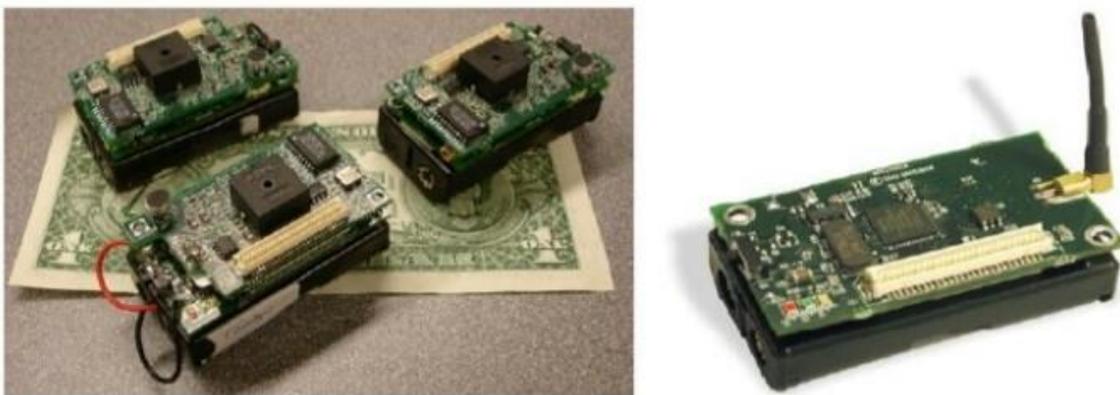


Figure 1.6 Exemple d'un nœud capteur [12].

1.4.2 ARCHITECTURE D'UN NŒUD CAPTEUR

L'architecture générale présentée dans la littérature est schématisée sur la figure 1.7. L'architecture comprend quatre (04) éléments de base pour le fonctionnement du capteur : une unité de détection, une unité de traitement, une unité d'émission /réception et une unité de puissance. Néanmoins, d'autres éléments optionnels peuvent d'être intégrés pour certaines applications spécifiques, à savoir : un système de localisation géographique, un générateur d'énergie et un mobilisateur. Chacun de ces éléments sera détaillé dans ce qui suit [13] :

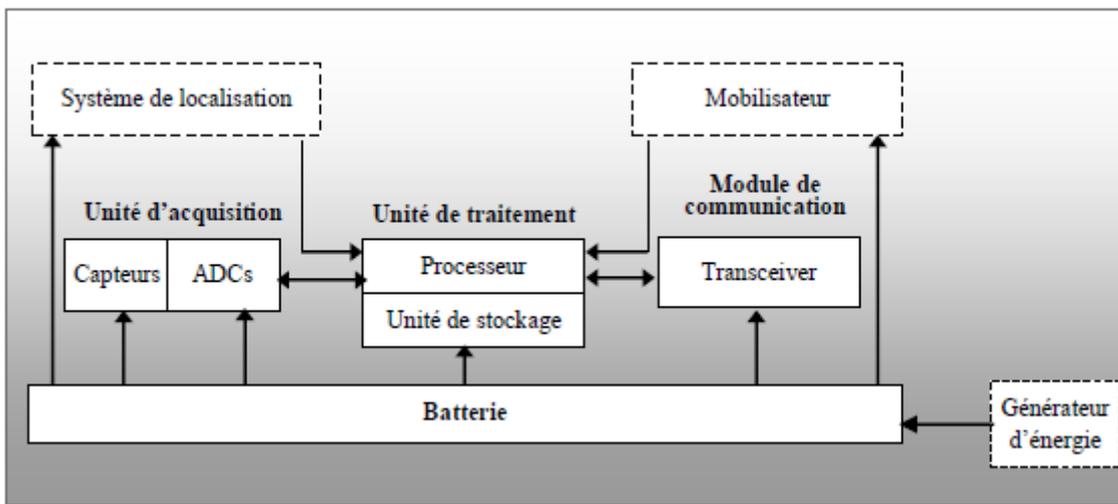


Figure 1.7 Architecture d'un capteur sans fil [13]

- **L'unité de détection (d'acquisition) :** est la composante principale d'un nœud sans fil qui se distingue de tout autre système embarqué avec ces capacités de communication. L'unité de détection peut inclure généralement plusieurs sondes, qui fournissent des informations collectées du monde physique. Chaque unité est responsable de collecter des informations d'un certain type, tel que la température, l'humidité, ou la lumière. Elle se compose habituellement de deux sous-unités : une sonde et un convertisseur analogique-numérique (ADC). Les signaux analogiques produits par la sonde, basés sur l'observation du phénomène, sont convertis en signaux numériques par le (ADC) puis introduit dans l'unité de traitement.
- **L'unité de traitement :** l'unité de traitement est le contrôleur principal du nœud sans fil. Elle se compose d'une mémoire à bord ou peut être associée à une petite unité de stockage intégrée sur la carte intégrée. L'unité de traitement contrôle les procédures qui permettent au nœud d'exécuter des opérations de détection, des algorithmes associés et de collaborer avec les autres nœuds par la communication sans fil.

- **L'unité d'émission/réception** : la communication entre deux nœuds sans fil quelconques est exécutée par l'unité émetteur/récepteur. Une unité d'émetteur/récepteur met en application les procédures nécessaires pour convertir les bits à transmettre dans des ondes radio-fréquences (RF) pour qu'ils soient récupérés correctement à l'autre extrémité. Essentiellement, le WSN est relié en réseau grâce à cette unité.
- **L'unité de puissance** : un des composants les plus importants d'un nœud sans fil est l'unité de puissance. Habituellement, l'alimentation par batterie est utilisée, mais d'autres sources d'énergie sont également possible (énergie solaire). Chaque composant dans le nœud sans fil est actionné par l'unité de puissance, et la capacité limitée de cette unité exige un fonctionnement et rendement optimum pour les tâches effectuées par chaque composant.
- **Le système de localisation géographique** : dans plusieurs applications WSN, les tâches de détection et les techniques de routage ont besoin de connaître la localisation géographique d'un nœud. Ainsi, il est commun pour qu'un nœud soit équipé d'un système de localisation géographique. Ce système peut se composer d'un module de GPS pour un nœud de haut niveau ou bien d'un module de software qui implémente des algorithmes de localisation qui fournissent des informations sur l'emplacement du nœud par des calculs distribués.
- **Le mobilisateur** : un mobilisateur peut parfois être nécessaire pour déplacer un nœud pour accomplir ses tâches. Le support de mobilité exige des ressources énergétiques étendues qui devraient être fournies efficacement. Le mobilisateur peut, également, opérer dans étroite interaction avec l'unité de détection et le processeur pour contrôler les mouvements du nœud.
- **Le générateur de l'énergie** : tandis que l'alimentation par batterie, est la plupart du temps, utilisée dans les nœuds, un générateur électrique supplémentaire peut être utilisé pour des applications où une plus longue vie de réseau est essentielle. Pour des applications extérieures, des piles solaires sont utilisées pour générer une alimentation électrique. De même, des techniques de récupération d'énergie pour l'énergie thermique ou cinétique peuvent également être utilisées.

1.5 LES SYSTEMES EMBARQUES

1.5.1 DEFINITION

Les systèmes embarqués sont des systèmes électroniques qui sont complètement intégré au système qu'ils contrôlent dont le but de rendre des services bien précis (contrôle, surveillance, communication).

Un système embarqué combine généralement diverses technologies qui relèvent des domaines de la mécanique, de l'hydraulique, de la thermique, de l'électronique et des technologies de l'information [21].



Figure 1.8 Exemple d'un système embarqué [21]

1.5.2 CARACTERISTIQUES D'UN SYSTEME EMBARQUE

Le système embarqué doit prendre en compte les caractéristiques suivantes pour définir, construire, analyser, développer et exploiter les logiciels adaptés [22].

- **Autonomie** : Les systèmes embarqués doivent en général être autonomes de plusieurs points de vue. Tout d'abord ils doivent remplir leur mission pendant de longues périodes avec une intervention humaine limitée. Cette autonomie nécessite des capacités d'auto-configuration et d'auto-réparation. L'autonomie est aussi d'ordre énergétique.
- **Interaction** : Les systèmes embarqués interagissent avec l'environnement physique et humain. Ils doivent donc embarquer des logiciels capables de gérer les sources multiples de l'interaction (et de la communication) et les différentes échelles de temps qui peuvent être impliquées.
- **Communication** : Bien que la première caractéristique des systèmes embarqués soit l'autonomie, donc une capacité de traitement locale, les échanges d'information avec les autres systèmes prennent une part de plus en plus essentielle dans le fonctionnement de tous les systèmes informatiques.

- **Réactivité:** Les logiciels embarqués sont déployés dans un environnement physique, avec lequel ils interagissent en permanence. Ceci implique qu'ils sont soumis à des contraintes de temps-réel reliant leur temps d'exécution au temps de réaction de l'environnement. Comme l'environnement ne peut pas attendre, le système et l'environnement ne peuvent pas se synchroniser. Au-delà des contraintes temps-réel, les logiciels embarqués sont très souvent soumis à des contraintes dites non fonctionnelles, concernant par exemple l'occupation mémoire, la consommation d'énergie, ou les paramètres de sûreté de fonctionnement (sûreté, fiabilité, disponibilité...).
- **Robustesse, sécurité et fiabilité:** L'environnement est souvent hostile, pour des raisons physiques (chocs, variations de température, impact d'ions lourds dans les systèmes spatiaux,..) ou humaines (malveillance). C'est pour cela que la sécurité -au sens de la résistance aux malveillances et la fiabilité au sens continuité de service sont souvent rattachées à la problématique des systèmes embarqués.

1.5.3 L'ARCHITECTURE GENERALE D'UN SYSTEME EMBARQUE

Il peut être décomposé en deux équipements : équipements permanentes (CPU+RAM) et équipements supplémentaires (Entrées/sorties, IHM, Mémoire de masse) [23]. (Figure 1.9)

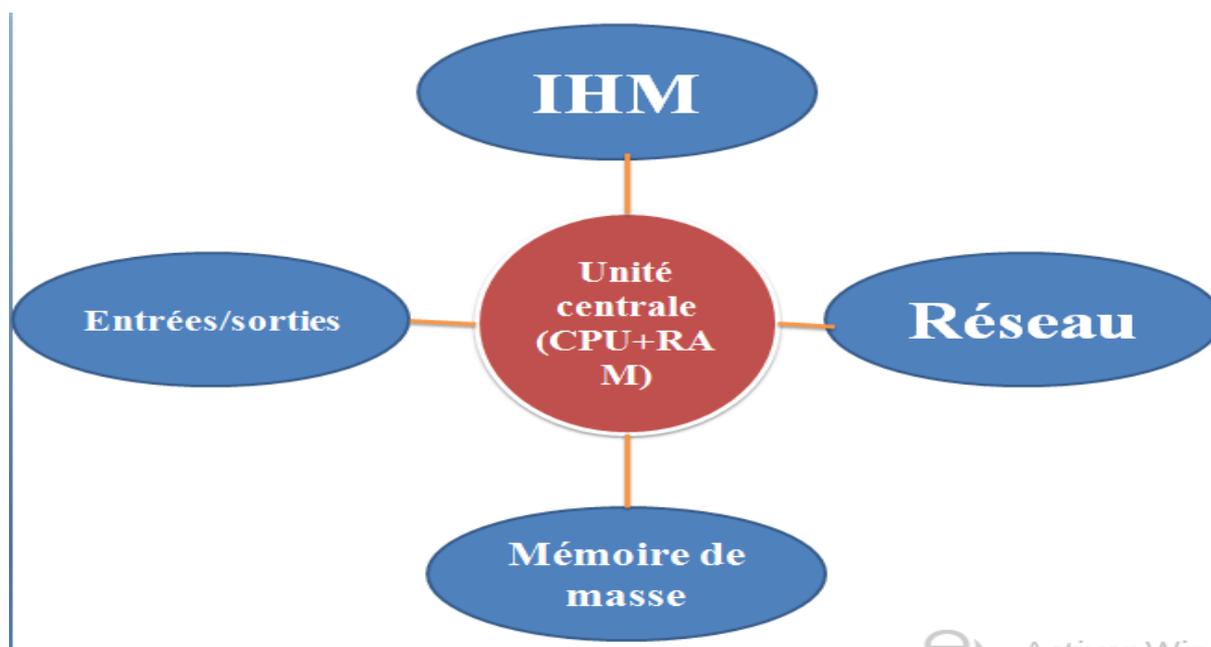


Figure 1.9 Architecture d'un système embarqué

Équipements permanents:

- **CPU:** microprocesseur (s) ou des microcontrôleurs.
- **RAM:** mémoire centrale.

Équipements supplémentaires:

- **Mémoire de masse:** Afin de sauvegarder les informations du système dans une mémoire externe (Disque dur, Mémoire flash, Utilisation de ROM, CD, DVD, Disque à distance).
- **Entrées:** fournir des informations sur l'état du système (Les capteurs/convertisseurs (pression, audio, température, ...), le clavier, boutons poussoirs ou télécommandes (infrarouge, Bluetooth, radio,...), Les lecteurs de codes-barres).
- **Sorties:** afficher les résultats (Les écrans et afficheurs LCD, imprimante en tous genres comme papier, étiquette, photos, etc).
- **IHM:** Communication entre l'humain et la machine (écran avec les dispositifs « touchScreen»).
- **Réseau.**

1.5.4 CLASSIFICATION DES SYSTEMES EMBARQUES

- **Système Transformationnel :** Activité de calcul, qui lit ses données et ses entrées lors de son démarrage, qui fournit ses sorties, puis meurt.
- **Système Interactif :** Système en interaction quasi permanente avec son environnement, y compris après l'initialisation du système, la réaction du système est déterminée par les événements reçus et par l'état courant (fonction des événements et des réactions passées), le rythme de l'interaction est déterminé par le système et non par l'environnement.
- **Système Réactif ou Temps Réel :** Système en interaction permanente avec son environnement, y compris après l'initialisation du système, la réaction du système est déterminée par les événements reçus et par l'état courant (fonction des événements et des réactions passées), mais le rythme de l'interaction est déterminé par l'environnement et non par le système.

1.5.5 LES DOMAINES D'APPLICATION DE L'ELECTRONIQUE EMBARQUEE

Les systèmes embarqués sont utilisés dans des différents domaines d'application tel que dans le transport, l'aéronautique, le militaire les télécommunications, l'électroménager, les équipements médicaux, les guichets bancaires automatiques ...etc. Son utilisation dans ces multiples domaines traduit bien l'importance du marché de l'embarquer de nos jours [21].

1.5.6 EXEMPLE D'UN SYSTEME EMBARQUE

Nous allons prendre l'exemple de microcontrôleur

Un microcontrôleur (en notation abrégée μc , ou uc ou encore MCU en Anglais) est un circuit intégré qui rassemble les éléments essentiels d'un ordinateur : processeur, mémoires (mémoire morte pour le programme, mémoire vive pour les données), unités périphériques et interfaces d'entrées-sorties.

Les microcontrôleurs se caractérisent par un plus haut degré d'intégration, une plus faible consommation électrique et un coût réduit par rapport aux microprocesseurs polyvalents utilisés dans les ordinateurs personnels. Par rapport à des systèmes électroniques à base de microprocesseurs et autres composants séparés, les microcontrôleurs permettent de diminuer la taille, la consommation électrique et le coût des produits.

Les microcontrôleurs sont fréquemment utilisés dans les systèmes embarqués, comme les contrôleurs des moteurs automobiles, les télécommandes, les appareils de bureau, l'électroménager, les jouets, la téléphonie mobile, etc.



Figure 1.10 Microcontrôleur

1.6 CONCLUSION

Les réseaux de capteurs sans fil constituent un des domaines de recherche les plus vaste vu la multitude de leurs domaines d'application, par conséquent plusieurs axes de recherche ce sont dégagés pour le développement de nouvelles solutions parmi ces axes de recherche nous pouvons citer: initialisation, auto-configuration, localisation, couverture, déploiement, communication, topologie dynamique, collecte des données, requêtes et traitement, etc.

Dans le prochain chapitre nous allons nous focaliser sur les techniques de localisation dans les RCSFs existantes dans la littérature.

2.1 INTRODUCTION

L'utilisation de plus en plus des réseaux locaux sans fil à haut débit permet aux utilisateurs et aussi à des objets de rester connectés tout en se déplaçant. Ce paradigme a stimulé beaucoup d'intérêt pour le développement d'applications et de services prenant en compte la position physique.

Pour cela, il a fallu mettre en place des méthodes de localisation pour permettre à un utilisateur mobile ou un objet d'interagir avec son environnement physique. Ces interactions regroupent par exemple l'impression d'un document sur l'imprimante la plus proche ou le guidage d'un utilisateur à l'intérieur d'un bâtiment ou encore la collecte d'information dans une zone bien précise et les envoyer vers une plateforme centrale. Ces méthodes de localisation peuvent également jouer un rôle prépondérant dans des situations d'urgence où il est nécessaire de localiser rapidement des éléments actifs du réseau.

Les techniques de localisation dans les WSN's (Wireless Sensor Networks) sont utilisées pour estimer l'emplacement des capteurs sans position connu auparavant dans le réseau en utilisant les informations de position de quelques capteurs spécifiques dans le réseau et leurs inter mesures tels que : la distance, le décalage horaire d'arrivée, l'angle d'arrivée et la connectivité. Les capteurs avec les informations de localisation, a priori connus, sont appelés ancres ou références et leurs emplacements peut être obtenu en utilisant un système de positionnement global (GPS), ou bien en installant des points d'ancrage à des points avec des coordonnées connues

2.2 DEFINITION

La localisation est un procédé permettant de positionner un objet sur un plan ou une carte géographique, cette opération est réalisée à l'aide d'un terminal capable d'être localisé en temps réel ou de façon différée, les positions enregistrées peuvent être stockées au sein du terminal et être extraites postérieurement, ou être transmises en temps réel vers une plateforme logiciel de localisation [24].

2.3 OBJECTIFS DE LOCALISATION

La localisation dans les réseaux de capteurs sans fil consiste généralement à déterminer les coordonnées géographiques des différents capteurs. La localisation des nœuds est nécessaire, non seulement pour localiser les différents évènements survenus dans la zone surveillée, mais

aussi pour le développement de protocoles de routage de l'information récoltée, pour la couverture de la zone d'intérêt, pour l'agrégation des données.

2.4 L'INTERET DES SYSTEMES DE LOCALISATION

Les positions des capteurs peuvent être prédéterminées et préconfigurées. Mais, en général, les capteurs ont un déploiement aléatoire, car ils sont utilisés sur des terrains inaccessibles, embarqués sur des engins mobiles ou sur le lieu d'un désastre ou leur nombre (très grand) ne permet pas de préconfigurer la position. Pour cela, un système de localisation est nécessaire afin de fournir aux nœuds leurs positions. Les systèmes de localisation sont identifiés comme une clé technologique pour le développement et l'utilisation des RCSFs. Cependant, leur utilisation n'est pas exclusive aux RCSFs. La localisation est importante pour plusieurs aspects, parmi lesquels [25] :

➤ **L'identification des données collectées**

Cela consiste à projeter les données/événements sur la position de collecte/occurrence. L'un des objectifs majeurs des RCSFs est de surveiller une zone d'intérêt. Cependant, après que les données soient collectées, il est important d'identifier la région d'où viennent ces données.

➤ **L'agrégation des données collectées**

Cela permet aux nœuds intermédiaires de corréler et de fusionner les données qui proviennent de la même région quand ces données sont transmises via le réseau.

➤ **L'adressage des nœuds**

Cela permet d'utiliser la position des nœuds comme identifiant unique dans le réseau.

➤ **L'administration du réseau**

Cela permet d'administrer et d'interroger les nœuds localisés dans une région, évaluer la couverture des nœuds, et de générer une carte d'énergie disponible dans chaque nœud.

➤ **Les algorithmes géographiques**

Ce sont des algorithmes qui utilisent l'information de localisation des nœuds pour optimiser l'utilisation des ressources du RCSF. Parmi ces algorithmes : le routage, le contrôle de la topologie, le contrôle de la densité des nœuds et le suivi d'objets mobiles (object tracking).

2.5 PROPRIETES D'UN SYSTEME DE LOCALISATION

La localisation peut être définie comme la position d'un objet ou d'une personne dans un repère. Un système de localisation doit avoir les propriétés suivantes [25] [26] [27] :

- Une technique d'estimation de position.
- Un repère qui permet d'obtenir des positions et qui les organise de façon cohérente.

Trois types de position sont observés :

- Les positions absolues renseignent sur la position réelle de l'objet sur le globe terrestre- longitude et latitude - ou dans l'espace - longitude, latitude et altitude
 - Les positions relatives indiquent juste une direction par rapport à un voisinage donné- à droite au bout de la rue par exemple.
 - Les positions symboliques désignent par exemple une salle, un espace particulier.
- Une précision de position : une position peut aller d'un point dans le cas d'une grande précision à une surface (ou volume) si la précision de position est moins importante.
 - Une architecture particulière : un système de positionnement en intérieur - dans un bâtiment par exemple - ne possède pas les mêmes contraintes qu'un système de localisation d'extérieur.
 - le cout (matériel, infrastructure, etc).

2.6 CONTRAINTES POUR UN SYSTEME DE LOCALISATION

Un système de localisation doit respecter un ensemble de contraintes imposées par les spécificités des RCSFs dû à leurs limitations (ressources matérielles : puissance du processeur, mémoire, énergie) et applications. Parmi ces contraintes [28] :

- **Auto-organisation**

Les RCSF sont utilisés dans des applications diverses. Dans plusieurs applications (si ce n'est pas la majorité des cas) le RCSF est indépendant de toute infrastructure ce qui implique que l'algorithme de localisation doit être distribué. Dans le reste des cas, l'algorithme de localisation peut être centralisé.

- **Evolutivité (extensibilité, échelle)**

L'algorithme de localisation peut être appliqué aussi bien à un RCSF dense qu'à un RCSF avec un nombre réduit de nœuds. La plupart des algorithmes de localisation sont sensibles à la

densité des nœuds, s'il n'y a pas assez de nœuds l'algorithme donne des résultats imprécis [29].

➤ **Robustesse**

L'algorithme de localisation doit être tolérant aux problèmes de communication ainsi qu'aux imprécisions des distances et des positions dues notamment aux faits suivants :

- Les liens de communications entre deux nœuds sont asymétriques. En effet, la communication entre deux nœuds peut passer dans un sens, sans pour autant passer dans l'autre sens.
- Les ondes radio ne se propagent pas de la même façon dans tous les milieux. Elles se propagent différemment sur l'herbe (gazon), sable ou sur l'asphalte (réflexion et absorption).
- Les obstacles (environnants) et les irrégularités du terrain : Les obstacles peuvent cacher les nœuds ce qui donne de mauvaises mesures et par conséquent une mauvaise localisation.
- Topologie non convexe : Les coordonnées des nœuds qui se trouvent dans les extrémités d'un RCSF sont souvent moins précises à cause du manque de mesure de distances. En effet, il n'y a pas assez de nœuds dans le voisinage et de plus tous les nœuds accessibles sont dans le même côté [30]. Exemple : Si les capteurs sont distribués sur un champ rectangulaire, les capteurs qui se trouvent près des quatre coins (angles) du rectangle seront mal localisés.

➤ **EFFICACITE DANS L'UTILISATION DES RESSOURCES DU RCSF**

Même si le système de localisation est indispensable pour le bon fonctionnement du RCSF, il n'est pas le but principal du réseau. Il doit utiliser les ressources du capteur d'une manière efficace pour ne pas les épuiser. Les concepteurs des algorithmes de localisation doivent minimiser les coûts en termes d'énergie, matériel et déploiement de leurs algorithmes de localisation.

2.7 COMPOSITION D'UN SYSTEME DE LOCALISATION

Un système de localisation peut être décomposé en trois parties distinctes. Chaque partie a son propre objectif et méthodes de résolution. Elles seront étudiées séparément. Ces trois parties (sous-systèmes) sont : [31]

2.7.1 L'ESTIMATION DE DISTANCE/ANGLE

Cette partie permet d'estimer la distance et/ou l'angle entre deux nœuds. Cette information est utilisée par la suite par les deux autres parties (estimation locale).

2.7.2 LE CALCUL DE LA POSITION

Cette partie permet d'estimer la position d'un nœud en se basant sur les mesures de distances et/ou d'angles disponibles et sur les positions des nœuds de références (ancres, amers) en utilisant la triangulation par exemple.

2.7.3 ALGORITHME DE LOCALISATION

C'est la partie la plus importante du système de localisation. Elle définit la manière avec laquelle les informations disponibles (distances, angles, positions des nœuds déjà localisés) sont manipulées afin que la grande partie ou la totalité des nœuds puissent estimer leurs positions.

Les performances du système de localisation sont directement liées aux performances de chaque partie. La Figure 2.1 illustre la décomposition du système de localisation en sous-systèmes. Les nœuds représentés par des cercles gris sont des amers, les autres nœuds (en blanc) sont des nœuds qui ne sont pas encore localisés.

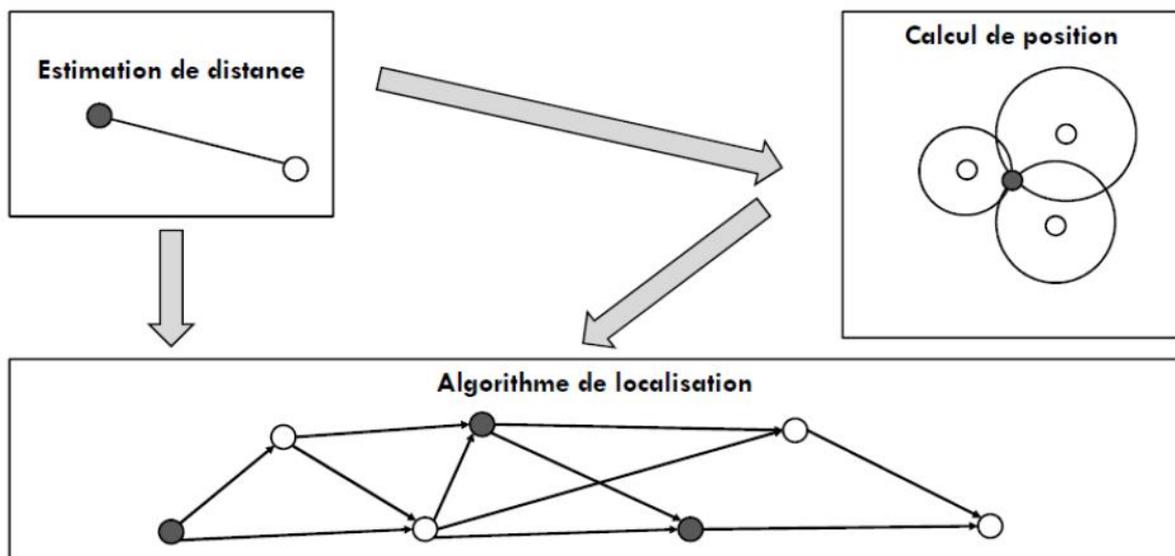


Figure 2.1 Composition d'un système de localisation [31].

2.8 METHODES DE LOCALISATION

La localisation dans les WSN's repose sur des mesures. Il y a plusieurs facteurs qui influent sur le choix de l'algorithme à utiliser pour une application spécifique et la précision de l'emplacement estimée.

Il existe deux grandes classes de méthodes géométriques à notre disposition pour tirer parti de ces informations, à savoir :

2.8.1 METHODES DE LOCALISATION PHYSIQUE

Considérons un nœud A, pour estimer sa position au moins 3 points de référence, que nous appelons : N1, N2, N3 sont nécessaires.

2.8.1.1 LA TRILATERATION

La position estimée d'un nœud quelconque (M) est calculée en fonction des positions des nœuds de référence et de leur distance au nœud M. [32]

Soient trois nœuds d'ancrages B1, B2 et B3, M est le nœud que nous voulons localiser. Les positions (x_i, y_i) des balises ainsi que les distances D_i sont connus. La relation entre M, B1 et B2 peut être écrit comme :

$$(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 = d_1^2$$

$$(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 = d_2^2$$

M est donc situé à l'intersection des cercles C1 (B1, d1) et C2 (B2, d2). Un troisième cercle généré en utilisant les informations de B3 nous permet de choisir la position correcte entre les deux solutions du cas général de deux cercles entrecroisés, figure 2.2

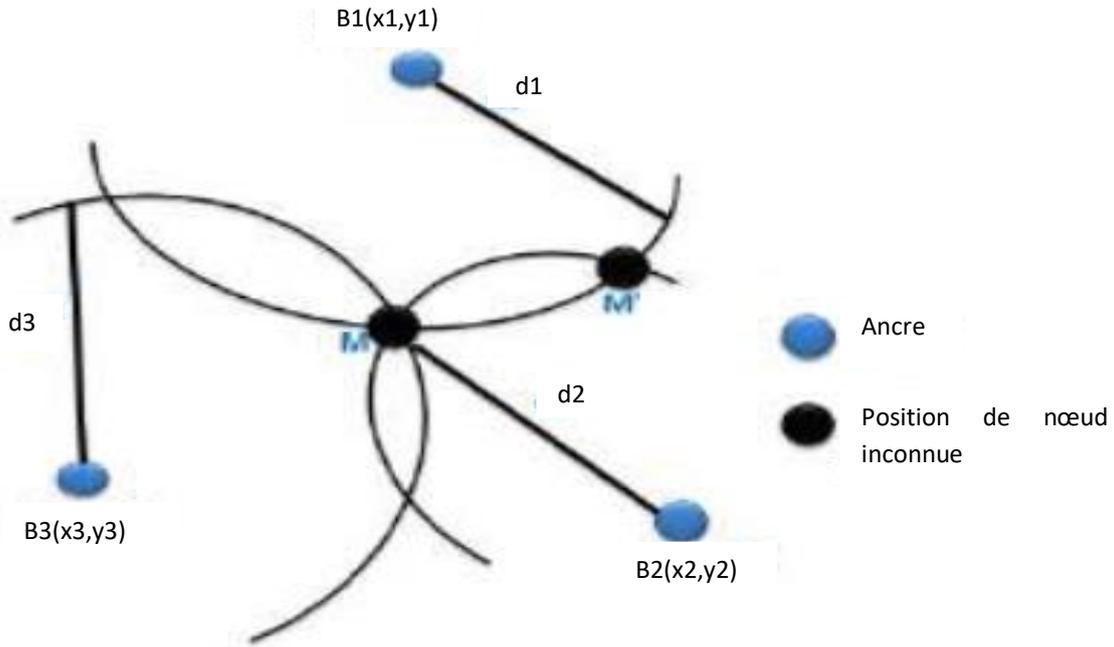


Figure 2.2 Trilateration

2.8.1.2 LA TRIANGULATION

Afin d'appliquer cette méthode, le nœud capteur inconnue doit être conscient de la distance entre les deux ancrés et les angles α et β comme indiqué sur la Figure (2.3). La loi des rendements sinus :

$$a = \frac{d \times \sin\alpha}{\sin(\pi - \alpha - \beta)}$$

$$b = \frac{d \times \sin\beta}{\sin(\pi - \alpha - \beta)}$$

Une fois que les caractéristiques du triangle sont connues, les coordonnées du troisième sommet peuvent être calculées. Comme indiqué en décrivant trilatération, troisième ancre ou une hypothèse supplémentaire permettra l'identification de la solution correcte [32].

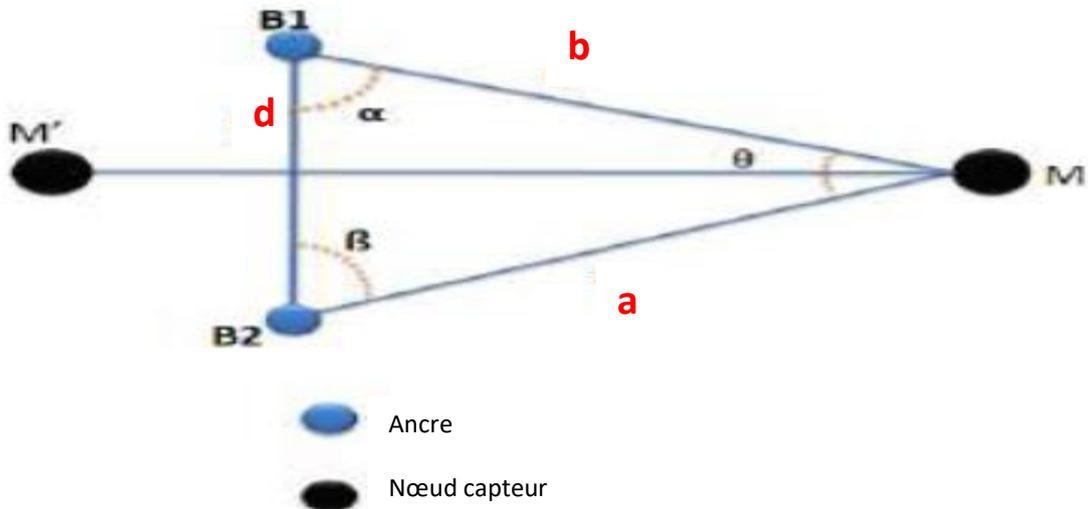


Figure 2.3 Triangulation

Le point M se retrouve à l'intersection des droites passant par les couples (B1, M) et (B2, M) figure (2.3). En définissant un nouveau repère dont l'origine est B1 où (B1, B2) se confond avec l'axe des ordonnées.

2.8.1.3 LA MULTILATERATION

La multilatération nécessite des informations en temps plutôt que la distance. La différence de temps d'arrivée d'un signal (TDOA) est utilisée pour déterminer la position. La figure (2.4) présente le cas avec le capteur étant en mesure d'atteindre quatre ancres qui sont synchronisés. Le nœud capteur diffuse un frame. Chaque ancre reçoit les trame de l'heure locale de réception, et calcule ensuite la différence entre ce marqueur de temps et celui fourni par une ancre de référence réglée [32].

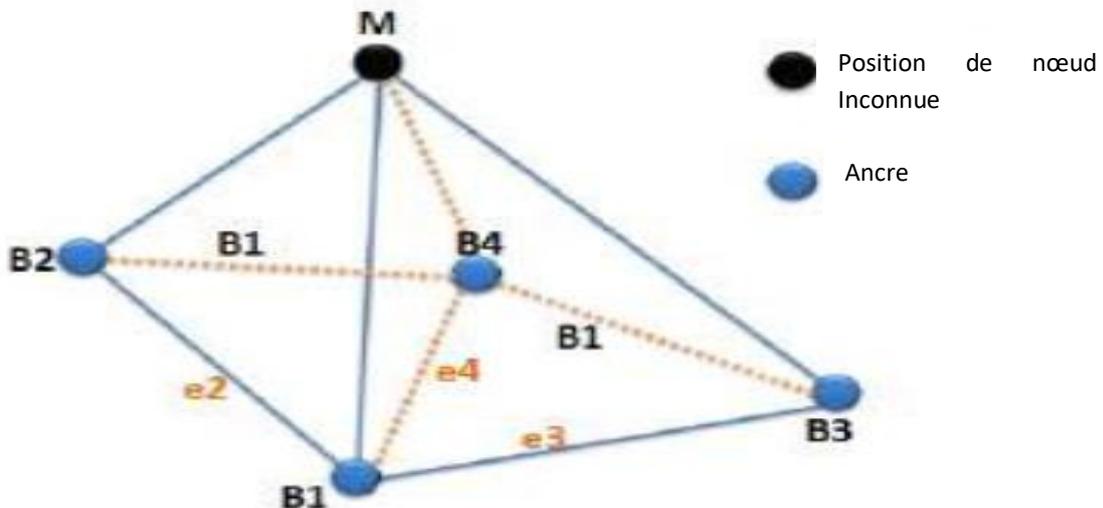


Figure 2.4 Multilateration

e_i : La distance de la référence choisie pour le nœud, B_i : Pour le cas représenté à la figure (2.4) B_1 est la balise de référence.

2.8.1.4 CALCULS DES DISTANCES PAR CALCUL DE TEMPS DE TRANSIT DU SIGNAL

Cette méthode utilise la méthode du calcul des temps de transit du signal reçu comme suit : à partir d'ondes radio reçues en visibilité directe par trois nœuds du réseau dont la localisation est connue, la position du nœud récepteur peut être calculée à partir de la formule suivante :

$$D = V \times T$$

Où D : représente la distance entre les nœuds émetteur et récepteur.

V : la vitesse de propagation du signal.

T : le temps de propagation du signal sur le médium.

Pour le calcul des distances, plusieurs méthodes sont proposées :

- 1. ToA (Time of Arrival) :** Si la vitesse de propagation du signal dans l'air ainsi que le temps du début de l'émission sont connus, il est possible dans ce cas de déterminer avec précision la distance qui sépare un nœud émetteur d'un nœud récepteur [33].
- 2. TDoA (Time Difference of Arrival) :** Une approche différentielle et utilise des signaux de natures différentes, l'ultrason et la radio par exemple. La différence des temps d'arrivée de ces signaux permettra de calculer la distance entre deux nœuds sans qu'il y ait la nécessité d'une forte synchronisation [34].
- 3. AoA (Angle of Arrival) :** Dans cette méthode, chaque nœud capteur est doté de plusieurs antennes (ou d'une antenne sectorielle). Il est ainsi capable d'estimer l'angle d'arrivée du signal reçu. Cette information reçue par plusieurs nœuds voisins permettra d'appliquer une triangulation et d'obtenir une distance relative [35].
- 4. Combinaison TDoA et AoA :** La solution proposée est une combinaison des deux approches TDoA et AoA, afin d'accroître la précision de la localisation et de l'étendre à des environnements 3D. Cette solution consiste en une amélioration des techniques utilisées en 2D en y combinant l'exploitation du temps et des angles d'arrivée [36].

2.8.1.5 CALCULS DES DISTANCES PAR MESURE DE PUISSANCE DU SIGNAL

Cette approche utilise le principe de l'atténuation progressive du signal au fur et à mesure de la distance parcourue. La mesure de la puissance ou RSSI (Receive Signal Strength Indicator) du signal reçu par nœud permet d'estimer la distance entre les nœuds [37].

La technique RSSI se base sur la puissance du signal reçu pour estimer la distance entre les deux points d'émission et de réception, la formule générale pour calculer la puissance du signal reçu dans un espace libre est :

$$Pr = Pr(d_0) - 20 \log_{10}(d/d_0)$$

Où

d : Est la distance entre les stations de bases.

p_0 : La puissance du signal reçu à distance d_0 de l'antenne mobile.

Le tableau suivant représente les différentes caractéristiques des méthodes citées précédemment

Méthodes	Précision	Distance maximale	Matériel supplémentaire	Défis
RSSI	2-4m	La portée	Rien	Variations du RSSI, interférences
ToA	2-3m	La portée	Rien	Synchronisation des nœuds
TDoA	2-3m	Quelques mètres (2-10 m)	Capteur à ultrason	La distance maximale
AoA	Quelques degrés (5°)	La portée	Ensemble de capteur	Travailler avec des nœuds de petite taille

Tableau 2.1 Liste des caractéristiques essentielles des méthodes décrites dans les paragraphes précédents [37].

2.8.2 METHODES DE LOCALISATION LOGIQUES

La localisation logique repose sur l'échange d'informations de voisinage entre les nœuds du réseau telles que les tables de routage ou la topologie du réseau. Plusieurs solutions sont proposées dans la littérature, nous citons :

- **Méthode des badges actifs** : Dans cette méthode, chaque nœud du réseau transmet périodiquement (chaque 10 secondes par exemple) des messages de type hello à destination de nœuds statiques appelées ancres (ou balises) placés à des endroits précis. Par exemple, dans un bâtiment, le rôle principal d'une ancre est de relayer les informations jusqu'au puits de données. La position du nœud sera associée à celle du nœud ancre qui a reçu le message hello en dernier [38].
- **Méthode des intersections des signaux** : Le même principe des nœuds ancres est repris dans cette approche. Chaque nœud capteur tient compte du nombre d'ancres à sa portée, de leur portée radio et de leur position afin d'estimer sa position dans une zone. Cette zone correspond à l'intersection des zones couvertes par les ancres qu'il reçoit. Par conséquent, il est nécessaire d'avoir un nombre important d'ancres à portée des nœuds pour augmenter la précision de la localisation [39].
- **Méthode de Monte-Carlo (MCL)** : Dans cette approche, la localisation est réalisée sous forme de filtrage des positions impossibles des nœuds dans le réseau en utilisant aussi le principe des nœuds ancres. La méthode Monte-Carlo calcule d'abord les distributions des positions possibles des nœuds et en fonction des positions précédentes. En fonction des positions précédentes des stations mobiles et des observations obtenues à l'aide des nœuds ancres déployés dans le réseau, l'algorithme filtre les positions impossibles [40].

Le schéma suivant résume les différentes méthodes de localisation :

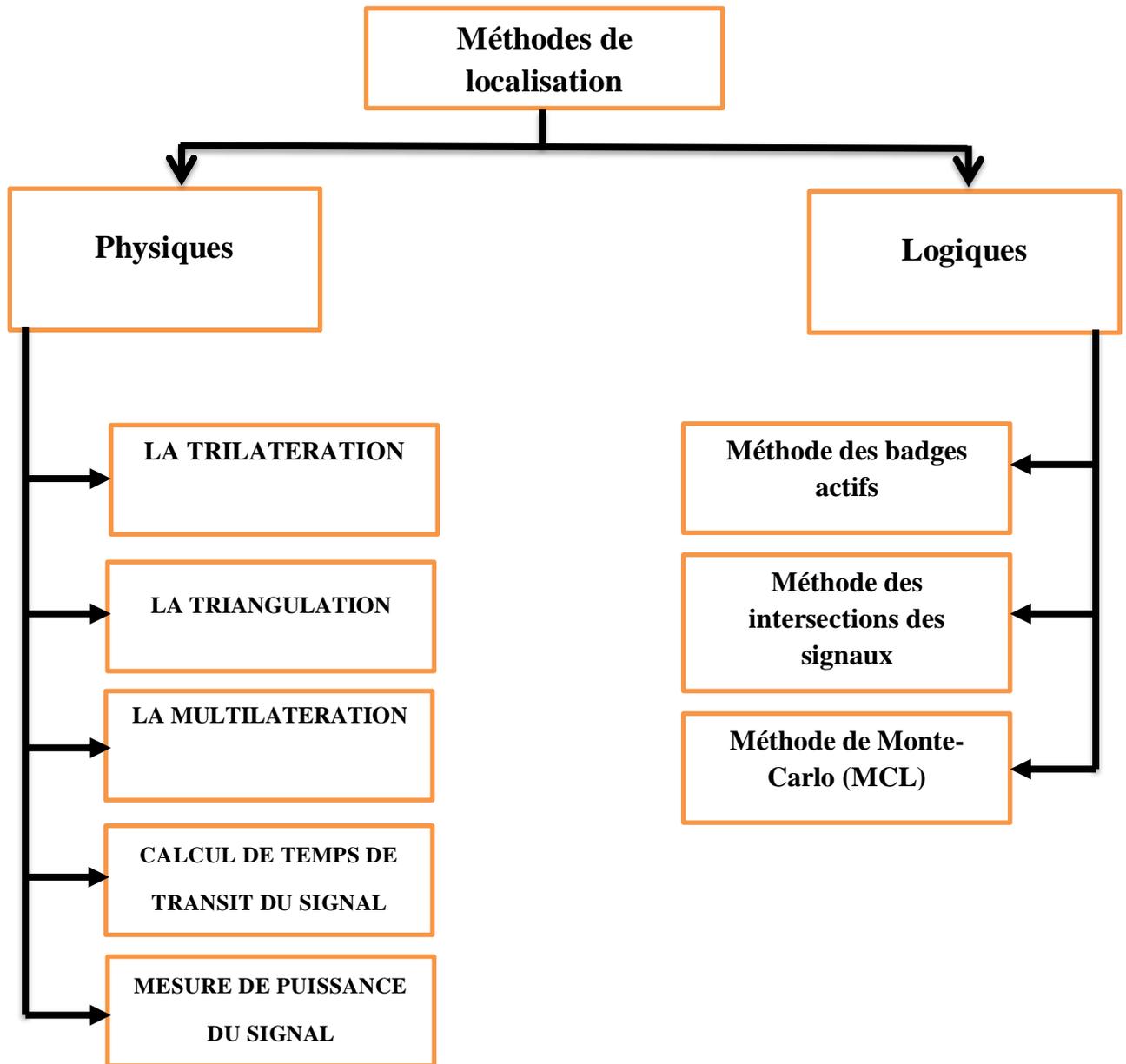


Figure 2.5 Les méthodes de localisation

2.9 ALGORITHMES DE LOCALISATION

Dans cette section nous allons présenter les différentes catégories des algorithmes de localisation.

A. ALGORITHMES A ANCRES STATIQUES ET NŒUDS STATIQUES

Dans ce cas tous les nœuds ont des positions fixes. Ces algorithmes peuvent être classifiés en deux sous classes :

- **Algorithme Range-based** : Exigent de mesurer la distance entre les nœuds à localiser et les nœuds ancrés et utilisent différentes techniques de mesure de distance (RSSI, AOA, etc.) pour estimer la position d'un nœud.
- **Algorithme Range-Free** : Les algorithmes de cette catégorie n'exigent pas la mesure de la distance ou de l'angle entre les nœuds, mais estiment la distance entre deux nœuds suivant l'information de connectivité ou celle de l'énergie consommée lors de la transmission d'un signal.

B. ALGORITHMES A ANCRES STATIQUES ET NŒUDS MOBILES

L'utilisation du nœud mobile est étroitement liée à notre vie quotidienne. Ceux-ci peuvent être divisés en deux catégories :

- **Algorithmes prédictif** : Le principe de ces algorithmes consiste en la prédiction des coordonnées des nœuds mobiles en se basant sur l'historique de leurs positions précédentes.
- **Algorithmes à base de clusters** : Ces algorithmes sont plus appropriés pour les RCSF. Ils divisent le réseau en plusieurs clusters, et chaque nœud ancre localise respectivement les nœuds simple se trouvant dans son propre cluster.

C. ALGORITHMES A ANCRES MOBILES ET NŒUDS STATIQUES

À présent, quelques algorithmes de localisation qui utilisent des nœuds ancrés mobiles afin de localiser des nœuds statiques. Nous distinguons deux catégories :

- **Algorithmes de localisations géométriques** : Ces algorithmes changent le problème de localisation en un problème géométrique et calculent ainsi les coordonnées des nœuds inconnus en se basant sur les relations géométriques entre les nœuds mobiles et les nœuds fixes.
- **Algorithmes pour planification de la trajectoire** : Une ancre mobile diffuse des paquets contenant des informations sur sa position à un moment donné tout en se déplaçant selon une trajectoire spécifique et les nœuds reçoivent ces paquets afin de pouvoir estimer leurs positions. Cette approche réduit le coût d'un RCSF, et offre plus de précision.

D. LES ALGORITHMES A ANCRES MOBILES ET NŒUDS MOBILES

Le processus de localisation de tels algorithmes peut être compliqué si nous tenons compte de l'environnement ou les nœuds peuvent être déployés, ce qui peut représenter une contrainte pour la mobilité des nœuds, par exemple : algorithmes à distribution probabiliste. Nous remarquons que tous les algorithmes de localisation ont une caractéristique commune est qu'ils requièrent tous des nœuds ancrés (ou nœud de référence) afin de localiser les nœuds mobiles (dans la position est inconnue).

2.10 LES METHODES D'IMPLEMENTATION

Nous distinguons deux façons d'implémenter un algorithme de localisation selon leur organisation de calcul [40] :

A. LES METHODES CENTRALISEES

Les algorithmes centralisés sont conçus pour fonctionner sur une machine centrale très puissante au niveau ressources. Les nœuds capteurs recueillent des informations (signal, voisins, distances, etc.) de leur environnement et les transmettent à une station de base qui à son tour les analyse, calcule les positions et les transmet aux nœuds. Les algorithmes centralisés contournent le problème des ressources limitées des nœuds en acceptant des coûts de communications très élevés pour envoyer les informations à la machine centrale. Ces algorithmes deviennent de plus en plus coûteux quand la taille du réseau augmente, car ça épuise les nœuds qui sont trop proches de la station de base qui subissent un très grand nombre de communications. En outre, les algorithmes centralisés exigent qu'une station de base puissante soit déployée parmi les nœuds, ce qui n'est pas toujours possible. Dans le cas où c'est possible, le problème de la mise à l'échelle peut être résolu en déployant plusieurs stations de bases. Cependant, la centralisation permet à un algorithme d'être plus complexe, car les calculs se font sur la machine centrale et non pas par les nœuds eux-mêmes.

B. LES METHODES DISTRIBUEES

Dans le cas d'un algorithme distribué, tous les nœuds communiquent avec leurs voisins pour estimer les distances et échanger les informations de voisinage, afin de dériver leur position. Par conséquent, à la fin du processus de localisation, chaque nœud doit connaître sa position ainsi que celles de ses voisins sans l'aide d'aucune unité centrale. Les algorithmes distribués, extrapolent généralement les positions des nœuds à partir de celles des ancres. Ainsi, ils localisent les nœuds directement dans le système de coordonnées global de ces ancres.

Comme le calcul des positions se fait par les nœuds eux-mêmes, les algorithmes distribués ne sont pas complexes. Pour les réseaux à grande échelle, on considère qu'une méthode distribuée est nécessaire car les méthodes centralisées demanderaient trop de communication pour l'acheminement des informations vers l'unité centrale et consommeraient donc trop d'énergie.

2.11 CONCLUSION

En plus de garantir une bonne qualité de service, les réseaux de capteurs en fonction du domaine d'application sont amenés à prendre en compte la mobilité et le déplacement des nœuds ce qui extrait nécessairement le concepteur de ce réseau à prévoir une solution de localisation. Nous avons abordé dans ce chapitre les différentes méthodes et algorithmes de localisation qui nous permettront de suivre tout déplacement des nœuds.

Dans le prochain chapitre nous allons présenter notre proposition qui concerne une technique de localisation dans les RCSFs. Le processus de localisation sera décrit en détail par des illustrations et des schémas explicatifs.

3.1 INTRODUCTION

La détermination des positions exactes des nœuds mobiles dans la zone de déploiement pour un réseau de capteur sans fil est l'une des conditions principales de fiabilité et d'efficacité du réseau, ces positions nous permettent de garder trace et de rassembler les informations des nœuds dans leur zone de déploiement. L'estimation des positions correctes des nœuds en tenant compte de la mobilité accentue la complexité du processus de localisation.

Dans ce qui suit, nous présenterons un processus de localisation pour les RCSFs mobiles, ce processus se base sur la diffusion des messages à partir de la station de base, chaque nœud recevant le message diffusé doit remplir sa table de localisation afin d'estimer sa position.

3.2 PROPRIETES DU RESEAU ET HYPOTHESES

Dans notre travail, nous considérons un réseau de capteurs sans fil de superficie $L * L$ composé de N nœuds mobiles déployés aléatoirement afin de collecter continuellement les événements pouvant se produire sur la zone de déploiement. La solution proposée tient compte des hypothèses suivantes :

- La station de base est placée au centre de la région d'intérêt, elle est dotée d'une énergie illimitée.
- La communication de la station de base est en mode diffusion directionnelle suivant un axe bien déterminé.
- La station de base est en mesure de diffuser pour atteindre n'importe quel nœud de la région d'intérêt.
- Chaque message de diffusion contient deux informations principales l'angle de diffusion (Θ_{diff}) et la puissance de transmission de signal.
- Tous les nœuds du réseau sont homogènes.
- Chaque nœud doit remplir sa table de localisation après avoir reçu une diffusion.

3.3 PROCESSUS DE LOCALISATION PROPOSE

Notre processus se déroule en trois phases : phase de diffusion des messages par la station de base, puis vient la phase de calcul des distances RSSI et le remplissage de la table de localisation et enfin la phase de calcul de la position.

3.3.1 QUELQUES DEFINITIONS

3.3.1.1 DEFINITION 1

Zone d'intérêt : c'est une zone géographique dans laquelle les nœuds du réseau sont déployés, afin de surveiller un phénomène quelconque et d'en collecter des données.

3.3.1.2 DEFINITION 2

RSSI (Received Signal Strength Indication): La mesure du RSSI représente la qualité relative d'un signal qui sera reçu sur un appareil. RSSI indique le niveau de puissance qui est reçu après toute perte possible au niveau de l'antenne et du câble. Par conséquent, plus la valeur du RSSI est élevée, plus le signal est fort.

La figure 3.1 nous montre l'organigramme de l'exécution du processus de localisation proposé :

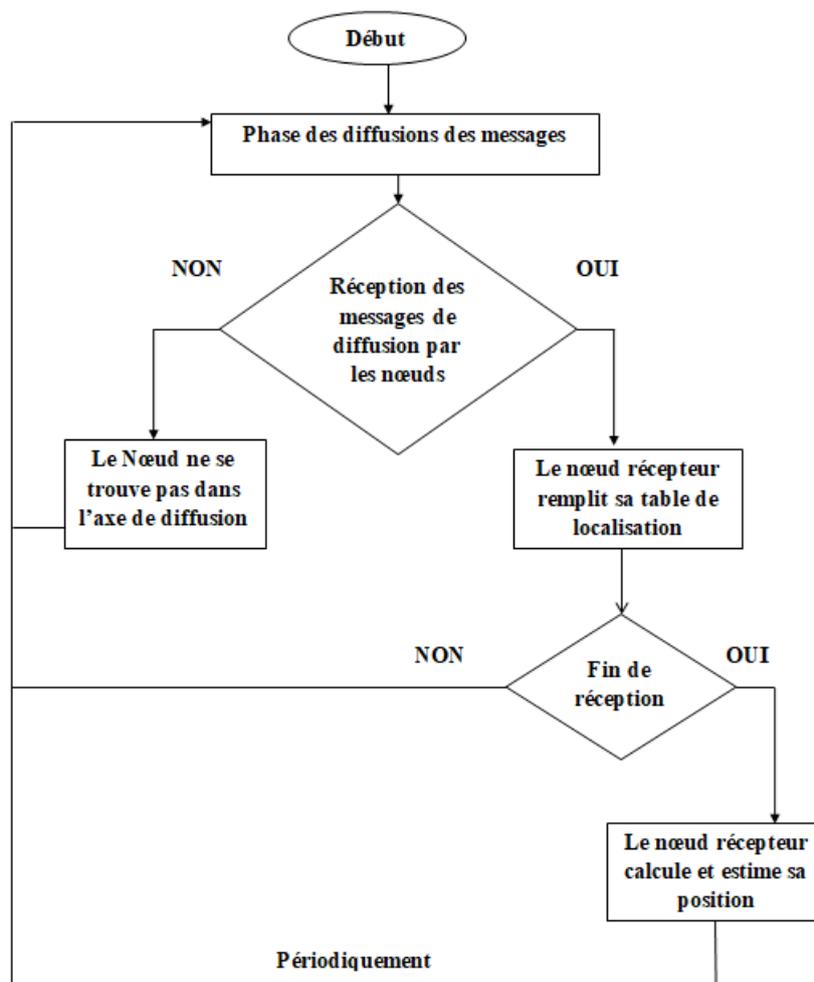


Figure 3.1 L'exécution du processus de localisation proposé

Avant de décrire les phases de notre solution, nous résumons les notations utilisées dans le tableau suivant :

Notation	Signification
TetaDep	L'angle de déplacement de diffusion
TourCo	Trajectoire de diffusion
NbrNoe	Nombre de nœuds
θ_{Diff}	L'angle de diffusion
P_{TRS}	Puissance de transmission
P_{REP}	Puissance de réception
$Dist_{RSSI}$	Distance RSSI
Dist	Somme des distances RSSI
$S\theta_{Diff}$	Somme des angles de diffusion
C_X	Cordonné X du nœud
C_Y	Cordonné Y du nœud
Tab_{LOC}	Table de localisation

Tableau 3.2 Notations utilisées

3.3.2 PHASE DE DIFFUSION

La station de base qui se trouve dans les coordonnées $(L/2, L/2)$, diffuse des messages à destination des nœuds du réseau, les axes de diffusion sont séparés de 5° d'intervalle, les faisceaux de diffusion de la station de base et de taille de 10° c.à.d. 5° de part et d'autre de l'axe de diffusion.

La figure suivante illustre la diffusion des messages et les axes des diffusions.

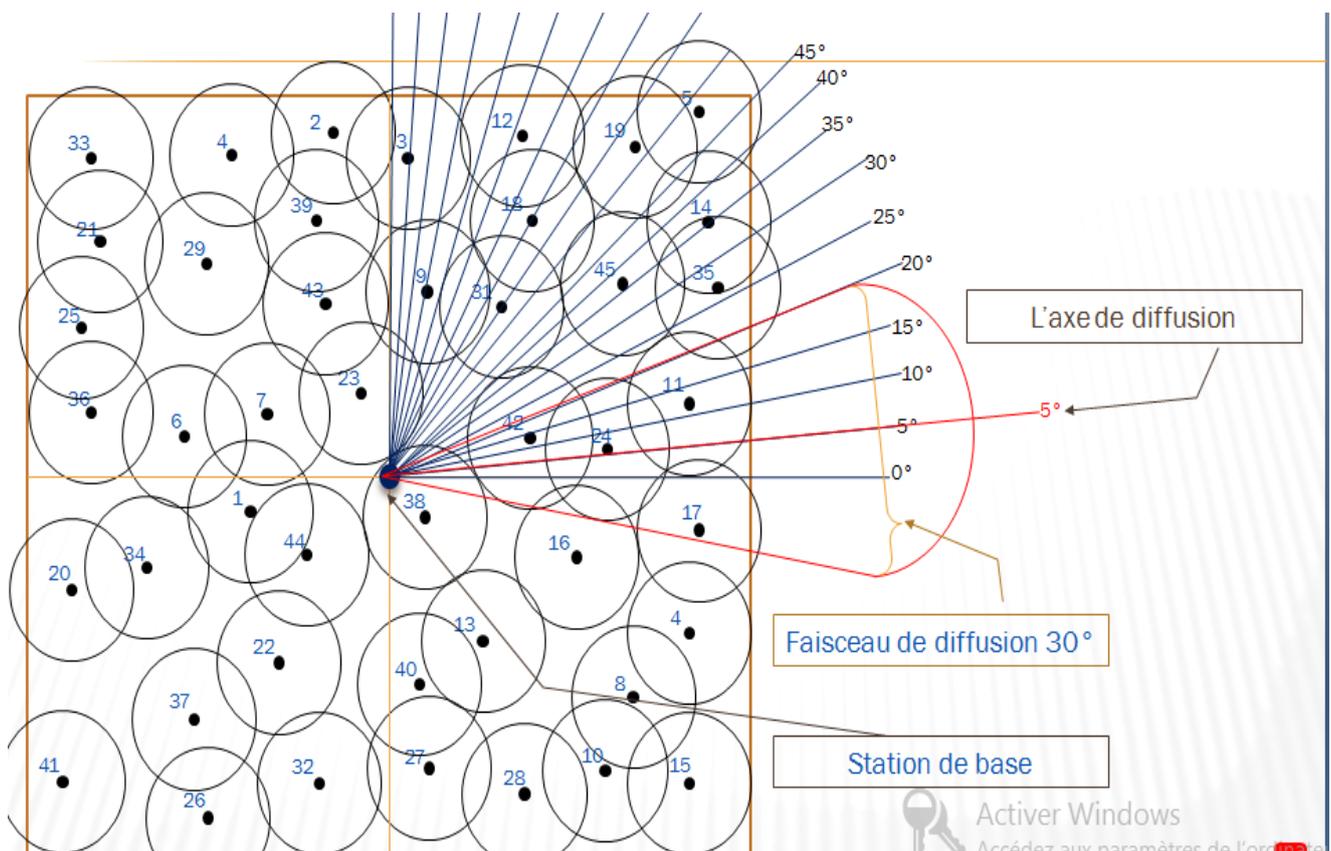


Figure 3.2 Exemple explicatif de la phase 1

3.3.3 PHASE REMPLISSAGE DE LA TABLE DE LOCALISATION

Au fur et à mesure que la SB (Station de base) effectue des diffusions successives, chaque nœud recevant le message diffusé doit remplir la table de localisation afin d'enregistrer toutes les informations de diffusion cette phase et répéter jusqu'à ce que la SB arrête de diffuser les messages ou le nœud ne se trouve pas sur l'axe diffusion.

La table de localisation contient :

- ✓ Numéro de la diffusion.
- ✓ L'angle de diffusion (θ_{Diff}) l'angle sur le quelle le nœud a reçu la diffusion.
- ✓ Puissance d'émission de signal P_{Trs} .
- ✓ Puissance de réception de signal calculé en fonction de signal de réception P_{Rep} .
- ✓ Distance RSSI $Dist_{RSSI}$ en fonction de l'atténuation de signal enregistré.

TABLE DE LOCALISATION				
N° diffusion	Angle de diffusion	Puissance d'émission	Puissance de réception	Distance RSSI
1	$\theta_{diff}(1)$	$P_{Trs}(1)$	$P_{Rep}(1)$	$Dist_{RSSI}(1)$
.
.
.
N	$\theta_{diff}(n)$	$P_{Trs}(n)$	$P_{Rep}(n)$	$Dist_{RSSI}(n)$

Tableau 3.3 Table de localisation

Le pseudo algorithme des phases de diffusion et remplissage de la table de localisation est décrit dans l'algorithme 1 suivant :

Algorithm 1 Dif_Remp

Entrées : TetaDep, TourCo, nbrNoe, θ_{Diff} , P_{TRS} .

Sorties : TabLoc.

Début

- 1: **Pour** teta \leftarrow 0 à TourCo (avec un pas TetaDep) **faire**
- 2: Diffuser(θ_{Diff} , P_{TRS});
- 3: **Pour** i \leftarrow 1 à nbrNoe **faire**
- 4: Calculer P_{Rep} ;
- 5: $Dist_{RSSI} \leftarrow f_{RSSI}(P_{TRS}, P_{Rep})$;
- 6: Remplissage(TabLoc);
- 7: **FinPour**
- 8: **FinPour**

Fin

Algorithme 3.1 Diffusion des messages et remplissage de la table de localisation

3.3.4 PHASE DE CALCUL

Après le remplissage de la table de localisation, les nœuds du réseau peuvent calculer leur position en calculant ce qui suit :

➤ La distance par rapport à la SB: $\mathbf{Dist} = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{1}{n} \mathbf{Dist}_{\text{RSSI}(i)}$

➤ L'angle par rapport à l'axe horizontal passe par la SB :

$$\theta_{\text{diff}} = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{1}{n} \theta_{\text{diff}(i)}$$

➤ La cordonnée X du nœud : $C_x = \frac{L}{2} + \mathbf{Dist} \times \cos \theta_{\text{diff}}$

➤ La cordonnée Y du nœud : $C_y = \frac{L}{2} + \mathbf{Dist} \times \sin \theta_{\text{diff}}$

Le pseudo algorithme de la phase de calcul des positions est décrit dans l'algorithme 2 suivant :

Algorithm 2 Calcul

Entrées : TabLoc, L, Dist.

Sorties : C_x , C_y .

Début

- 1: **Pour** $i \leftarrow 1$ à nbrNoe **faire**
- 2: $C_x = \frac{L}{2} + Dist \times \cos \theta_{Diff}$;
- 3: $C_y = \frac{L}{2} + Dist \times \sin \theta_{Diff}$;
- 4: **FinPour**

Fin

Algorithme 3.2 Calcul des positions

Le processus de localisation présenté précédemment est répété périodiquement pour tenir compte de la mobilité des nœuds du réseau, la valeur de périodicité optimale sera déterminée par simulation pour assurer une précision de localisation adéquate avec un coût énergétique raisonnable.

3.4 CONCLUSION

Ce chapitre a été axé sur le processus de localisation que nous avons proposé afin d'estimer une position exacte des nœuds mobiles dans un réseau de capteur sans fil, ce processus se base sur les messages diffusés par la station de base à destination des nœuds contenant des informations qui permettent aux nœuds de calculer et d'estimer leur positions.

Pour évaluer les performances et l'efficacité de notre proposition, nous allons effectuer une simulation qui fera l'objet du chapitre suivant.

4.1 INTRODUCTION

Dans ce chapitre nous allons évaluer et illustrer les performances du protocole proposé, nous présenterons en premier lieu les étapes principales de la simulation (les paramètres de simulation). Puis nous allons interpréter les résultats obtenus par la simulation.

4.2 SIMULATION

La simulation consiste à modéliser un système en représentant toutes ses entités, leurs comportements et leurs interactions en mode réel, elle offre un gain considérable en temps, une flexibilité en permettant la variation des paramètres et une meilleure visualisation des résultats sous forme de graphes faciles à analyser et interpréter [41].

4.3 CHOIX DE MODELE DE SIMULATION

Pour simuler et évaluer le processus proposé, nous avons choisi d'utiliser MATLAB. MATLAB est à la fois un langage de programmation et un environnement de développement développé et commercialisé par la société Américaine The Math Works. MATLAB est utilisé dans les domaines de l'éducation, de la recherche et de l'industrie. Il est connu par sa simplicité et son efficacité de calcul. Il est doté par une interface graphique puissante [42].

MATLAB est un environnement complet, ouvert et extensible pour le calcul et la visualisation. Il dispose de plusieurs centaines (voire milliers, selon les versions et les modules optionnels autour du noyau MATLAB) de fonctions mathématiques, scientifiques et techniques. L'approche matricielle de MATLAB permet de traiter les données sans aucune limitation de taille et de réaliser des calculs numériques et symboliques de façon fiable et rapide. Grâce aux fonctions graphiques de MATLAB, il devient très facile de modifier interactivement les différents paramètres des graphiques pour les adapter selon nos souhaits.

4.4 PARAMETRES DE SIMULATION

Les nœuds de capteurs utilisés dans la simulation sont considérés comme homogènes : possédant la même quantité d'énergie initiale, les mêmes capacités de calcul et mémoire, les mêmes portée de transmission et l'énergie de la station de base est considérée comme illimitée.

La position des nœuds dans la topologie générée est réalisée d'une manière aléatoire. Le tableau ci-dessous résume les paramètres utilisés :

Paramètres	Valeurs
Le nombre de nœuds	20
Dimension de la région (L×L)	100×100 (m ²)
Coordonnées de station de base (L/2×L/2)	50×50 (m ²)
Plage de diffusion de la SB	10°
L'angle de déplacement de la diffusion	5°
Vitesse de déplacement des nœuds	[0.2 2.2] (m/s)
Temps d'arrêt (pause)	[0 1] (m/s)
Direction de déplacement des nœuds	[-180° 180°]

Tableau 4.1 Paramètres de simulation

4.5 RESULTATS DE SIMULATION

Les nœuds constituant le réseau sont déployés d'une manière aléatoire sur une surface de (100x100 (m²)), la figure (4.1) nous montre un exemple de déploiement aléatoire des nœuds du réseau.

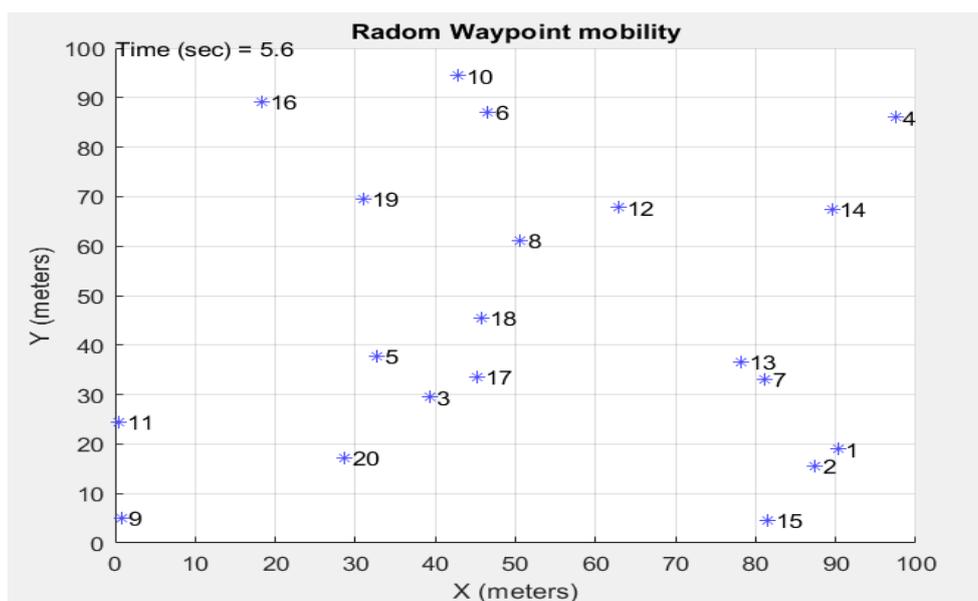


Figure 4.1 Déploiement aléatoire des nœuds

La figure (4.2) illustre les résultats de simulation de notre proposition avec un modèle de mobilité. Les points rouge représentent l'emplacement initial du nœud retourné par notre processus exécuté à $\text{time}(\text{sec})=180\text{s}$ par contre les points bleu représentent l'emplacement des nœuds après déplacement. La figure (4.3) nous montre les positions des nœuds calculées à $\text{time}(\text{sec})=190\text{s}$, nous remarquons que les nœuds initiales sont très proches des nœuds qui sont en mouvement, au moment de la réexécution de notre processus les nœuds initiales du réseau recalculé à nouveau leurs positions.

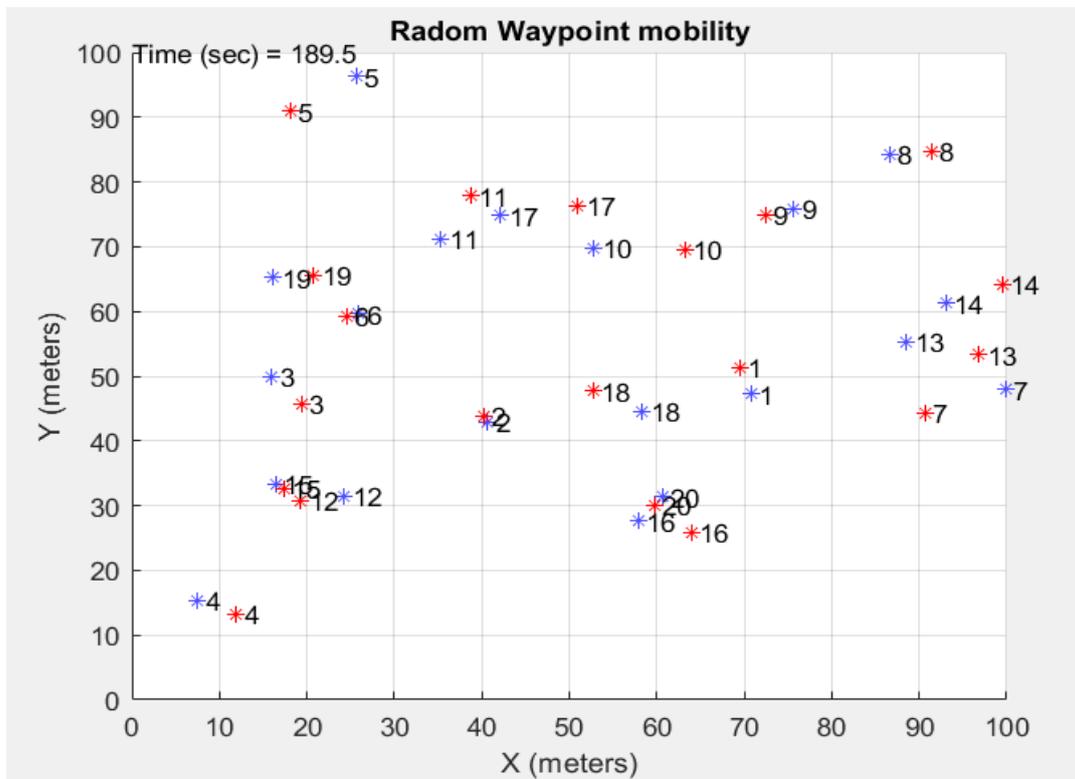


Figure 4.2 Déploiement des nœuds avec un modèle de mobilité

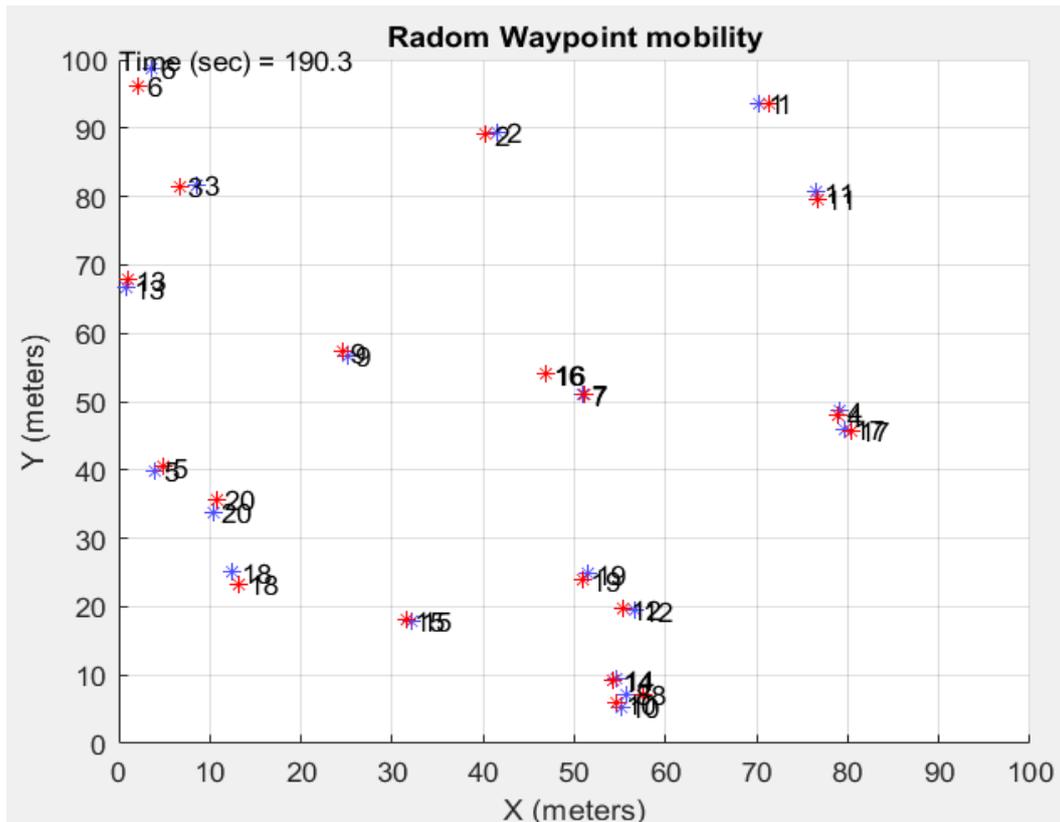


Figure 4.3 Déploiement des nœuds juste après le réexécution de notre processus

4.5.1 L'ERREUR MOYENNE DE LOCALISATION

Afin d'examiner le processus de localisation proposé nous allons calculer l'erreur moyenne de localisation pour les nœuds mobiles.

La figure (4.4) illustre l'erreur moyenne de localisation (MeanERR) en fonction du temps, les résultats de simulation dans cette figure sont obtenus en faisant varier la période de recalcul des positions qui commence par 10s puis 5s et enfin 2s. Nous remarquons qu'avant le déplacement des nœuds l'erreur moyenne de localisation est faible, lorsque les nœuds commencent à se déplacer l'erreur augmente jusqu'à atteindre des valeurs maximales, après l'exécution du processus nous constatons que l'erreur moyenne de localisation qui retrouve ses valeurs inférieures. Comme nous pouvons le remarquer également dans les 3 graphes lorsque le temps réexécution du processus est plus court, la valeur maximale de l'erreur moyenne de localisation des nœuds est plus petite, cela signifie que pour avoir plus de précision sur la localisation des nœuds il faut que la périodicité de réexécution du processus soit petite.

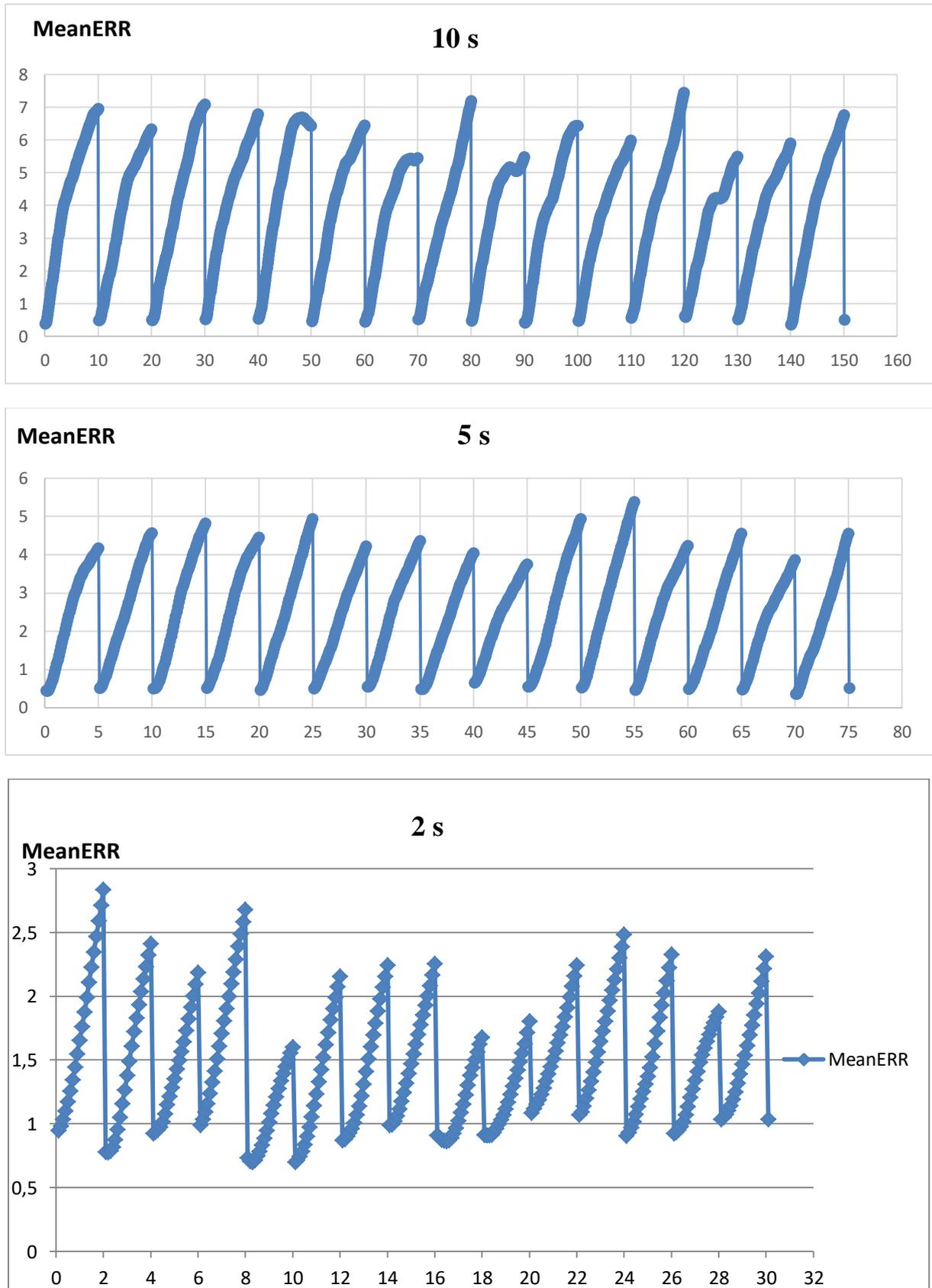


Figure 4.4 L'erreur moyenne de localisation

4.5.2 NOMBRE DE MESSAGE

Le nombre de messages échangés (NbrMSG) est un critère étroitement lié à la consommation d'énergie. Les deux paramètres sont proportionnels, par conséquent, le nombre de messages échangés nous donnera une idée précise sur la consommation d'énergie.

La figure 4.5 représente le nombre de messages échangés entre la station de base et les nœuds du réseau en fonction de l'angle de déplacement (TetaDep), nous remarquons que plus l'angle de déplacement augmente plus le nombre de messages diminue. En analysant les résultats de cette figure nous pouvons déduire qu'on plus de vouloir optimiser l'énergie, il faut en même temps augmenter l'angle de déplacement.

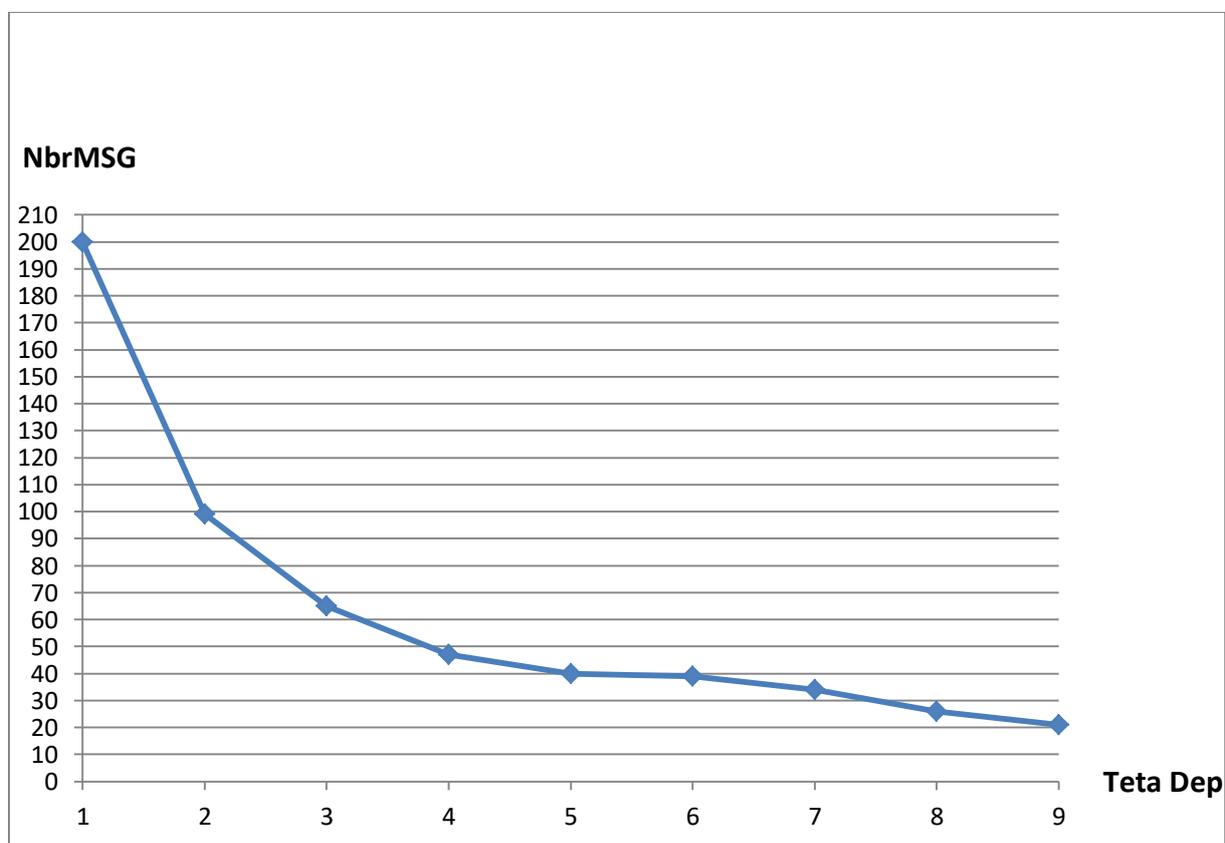


Figure 4.5 Nombre de messages en fonction de l'angle de déplacement

4.5.3 L'ERREUR MOYENNE EN FONCTION DE L'ANGLE DE DEPLACEMENT

La figure (4.6) représente l'erreur moyenne de localisation à l'instant (0.1 second) en fonction de l'angle de déplacement, les résultats de la figure montrent que pour avoir une faible erreur moyenne il faut diminuer l'angle de déplacement, cela signifie que pour avoir plus de

précision dans notre processus que l'angle de déplacement soit petit, par conséquent la consommation de l'énergie est plus élevée.

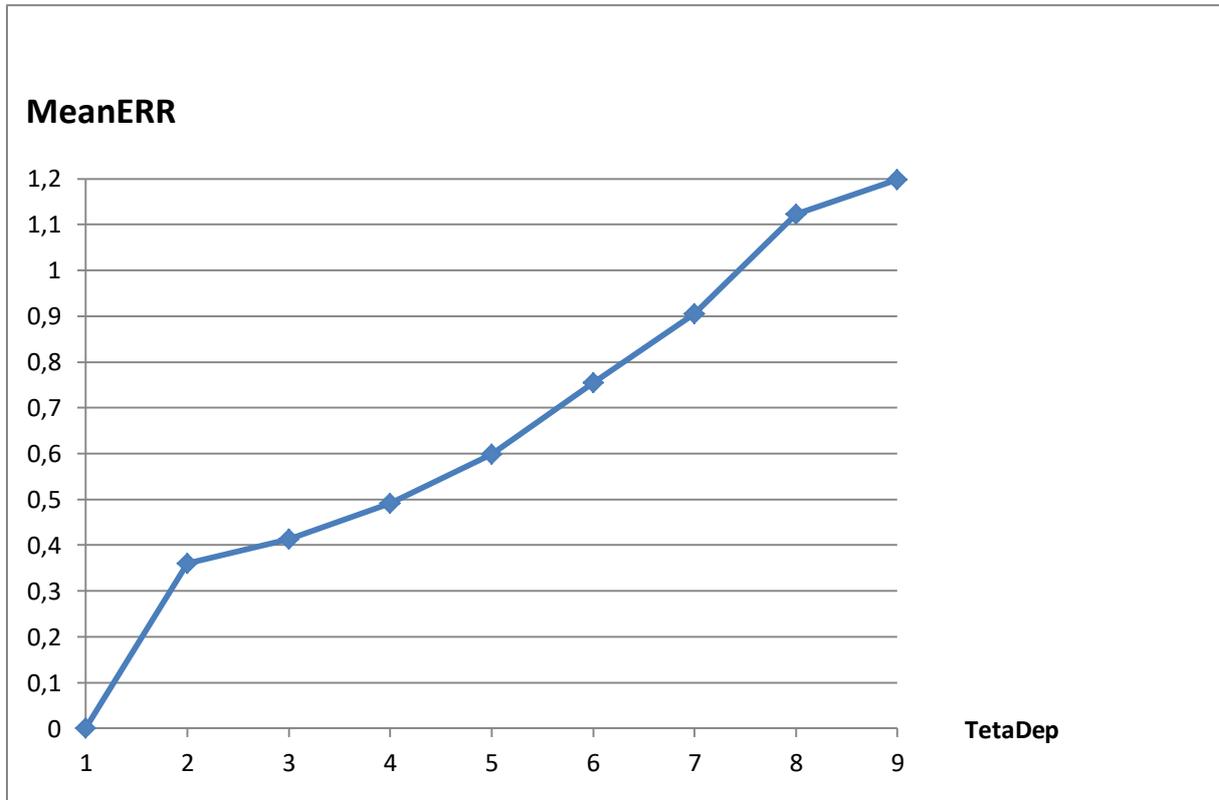


Figure 4.6 L'erreur moyenne en fonction de l'angle de déplacement

4.6 CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons présenté la mise en place de notre processus qui exploite la localisation dans les réseaux de capteurs sans fil. Nous avons d'abord défini l'environnement de simulations avec les paramètres utilisés. Puis, nous avons mené des simulations dans le but de mesurer les performances de notre solution. Les résultats obtenus montrent que le protocole proposé assure considérablement la localisation et l'estimation de la position des nœuds mobiles dans le réseau de capture sans fil.

CONCLUSION GENERALE

Un réseau de capteurs sans fil est une collection de capteurs déployés dans une zone géographique pour collecter des mesures environnementales. Les données récoltées seront transmises par la collaboration des autres nœuds à une station de base pour le traitement. La petite taille des capteurs, leur faible coût et la capacité de les déployer dans des zones hostiles rendent leurs champs d'application très nombreux et de natures très variés. En dépit des travaux déjà réalisés sur les RCSFs, ils constituent toujours un sujet de recherche très fertile. Plusieurs problématiques restent à résoudre pour un fonctionnement efficace de ce type de réseaux, parmi ces problématiques, nous pouvons en citer: la communication, la couverture, la localisation... Nous nous sommes intéressés dans ce mémoire à la localisation dans les RCSFs qui est une nécessité absolue à laquelle des solutions adéquates doivent être proposées.

Nous avons commencé notre rapport par la présentation des généralités sur RCSFs, leurs caractéristiques, leurs domaines d'application et leurs différentes contraintes. Nous nous sommes focalisés par la suite sur l'étude sur la notion de localisation et de son importance dans les RCSFs. Ceci, nous a permis de proposer un processus de localisation qui se base sur le calcul des distances par la méthode RSSI. Notre approche se déroule en trois phases : la première représente la phase de diffusion des messages par la station de base, la deuxième s'occupe du remplissage de la table de localisation par les nœuds mobiles du réseau, et enfin la troisième s'intéresse au calcul effectif de la position.

L'évaluation des performances de notre approche a été réalisée par simulation. Nous avons utilisé pour ce faire le logiciel MATLAB. Les résultats de simulation obtenus notamment par rapport à l'erreur moyenne de localisation et le nombre de messages échangés montrent que notre solution a réussi l'estimation de la position des nœuds mobiles du réseau.

Dans le but de situer notre approche par rapport à celles proposées dans la littérature, nous envisageons, comme perspectives à notre travail, de réaliser une étude comparative. Nous pensons également étudier et minimiser la consommation d'énergie de notre approche. Le travail réalisé est validé par simulation, il est aussi intéressant de penser à l'étude expérimentale de notre approche pour observer son comportement dans un environnement réel.

BIBLIOGRAPHIE

- [01] J. Wu and I. Stojmenovic. Ad hoc networks. *Computer*, vol. 37, no. 2, pp.29-31, (2004).
- [02] Z. Hass, J Halpern, & L. Li. "Gossip-based ad hoc routing". In *Proceeding of the IEEE Infocom*, New York, USA, Juin 2002.
- [03] Standard for Information technology_ Telecommunications and information exchange between systems_ Local and metropolitan area networks_ Specific requirements Part 15.1: Wireless medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications for wireless personal area networks (WPANs). New York, 2002.
- [04] J. Lansford – HomeRF : Bringing Wireless Connectivity Home – Intel HomeRF technology Tutorial (Avril 1999).
- [05] LAN-MAN Standards Committee of the IEEE Computer Society– 802.15.4 IEEE Standard for Information technology, Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs) –IEEE Std 802.15.4-2003 (2003).
- [06] LAN-MAN Standards Committee of the IEEE Computer Society – 802.11 IEEE Standard for Information technology, Specific Requirements – Part 11 : Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications – IEEE Standard 802.11 (1999).
- [07] IEEE Standard 802.16-2004 : IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks - Part 16 : Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems. New York, 2004.
- [8] D. Duchamp, N.F. Reynolds. *Mesure performance of wireless lan*. United States. 1992.
- [9] S. Chettibi. *Protocole de routage avec prise en compte de la consommation d'énergie pour les réseaux ad hoc*. Mémoire de magistère université montouri Constantine. 2008
- [10] C. Bettstetter, On the Connectivity of Ad Hoc Networks, in the *Computer Journal*, Vol. 47 No. 4, pp. 432-447, 2004.
- [11] M. Frikha. *Réseaux ad hoc routage, qualité de service et optimisation*. Lavoisier. 2010.
- [12] I.F. AKYILDIZ, W. S. SANKARASUBRAMANIAM, E. CAYIRCI: *Wireless Sensor Networks: A Survey*. *Computer networks*, 2002, 38, pp.393-422.
- [13] K. BOUCHAKOUR. *Routage Hiérarchique sur les réseaux de capteurs sans fils protocole khkch (k-hop layered clustering hierarchy)*. Mémoire de magister, Ecole Nationale supérieure de l'informatique, République algérienne, April 2012.

- [14] A. Kumar, H. Y. Shwe, K. J. Wong, and P. H. Chong. Location-based routing protocols for wireless sensor networks : A survey. *Wireless Sensor Network*, vol. 9, no. 1, pp. 25-72, (2017).
- [15] D. NGOM "Optimisation de la durée de vie dans les réseaux de capteurs sans fil sous contraintes de couverture et de connectivité" Thèse de Doctorat en informatique, École Doctorale Mathématique-Informatique de l'université Haute Alsace (France), 2016.
- [16] S. P. Singh and S. C. Sharma. A survey on cluster based routing protocols in wireless sensor networks. *Procedia Computer Science*, vol. 45, pp. 687-695, (2015).
- [17] K. Romer and F. Mattern. The design space of wireless sensor networks. *IEEE wireless communications*, vol. 11, no. 6, pp. 54-61, (2004).
- [18] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci. A survey on sensor networks. *IEEE Communications Magazine*, vol. 40, no. 8, pp. 102-114, (2002)
- [19] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci. Wireless sensor networks : a survey. *Computer Networks*, vol. 38, no. 4, pp. 393-422, (2002).
- [20] J. Elson, L. Girod, and D. Estrin, Fine-Grained Network Time Synchronization using Reference Broadcasts. *SIGOPS Oper. Syst. Rev*, 2002.
- [21] A. Barreteau, et R. Lebreton. "Moniteurs matériels pour la sécurité des systèmes embarqués". L'université Bretagne-Sud de Lorient, Mémoire de magister, France, 2007.
- [22] A. S. Berger. *Embedded Systems Design: An Introduction to Processes, Tools, and Techniques*. Éditions CMP Books, 237 pages, 2002
- [23] J. Boukhobza. *Systèmes d'exploitation pour l'embarqué*. Cour, Université de Bretagne Occidentale, Août 2007.
- [24] A. R. Kulaib, R. M. Shubair, M. A. Al-Qutayri, and J. W. P. Ng, "An overview of localization techniques for wireless sensor networks," in 2011 International Conference on Innovations in Information Technology, pp. 167-172
- [25] Raquel A.F. Mini, Antonio A.F. Leureiro, BadriNath, —The distinctive design characteristic of wireless sensor network: the energy map, 2004.
- [26] M. Terwilliger, 'Localization in wireless sensor networks,' Ph.D. dissertation, Western Michigan University, Kalamazoo, MI, USA, 2006.
- [27] J. Hightower and G. Borriello, 'Location Systems for Ubiquitous Computing', *IEEE Computer Journal*, Volume: 34 page 57 – 66, 2001
- [28] Anthony LaMarca, Eyal de Lara, —Location Systems: An Introduction to the Technology Behind Location Awareness, Synthesis Lectures on Mobile and Pervasive Computing, Vol. 3, No. 1, pp. 1-121, Morgan&Claypool Publishers, ISBN: 978-1-598-29581-8, 06-2008

- [29] Ivan Stojmenovic, —Handbook Of Sensor Networks: Algorithms And Architectures, WileyIntersciencene, ISBN: 978-0-471-68472-5, October 2005
- [30] A.Makhoul, ‘Réseaux de capteurs : localisation, couverture et fusion de données’, thèse de doctorat, l’Université de Franche-Comté, 14 novembre 2008.
- [31]M.Kara, ‘Réseau de capteurs sans fil : étude en vue de la réalisation d’un récepteur GPS différentiel à faible coût’, Réseaux et télécommunications, thèse de doctorat, Université Blaise Pascal ClermontFerrand II, 2009.
- [32] P.Rong and M.Sichitiu., Angle of Arrival Localization for Wireless Sensor Networks, Sensor and Ad Hoc Communications and Networks, 2006
- [33] S.Capkun, M.Hamdi, and J.Hubaux, GPS Free Positioning in Mobile Ad-Hoc Networks, international Conference on System Sciences, Hawaii, 2001.
- [34] L.Peralta and M.Rodriguez. Collaborative Localization in Wireless Sensor Networks, in International Conrence on Sensor Technologies and Applications SENSORCOMM, Taipei 106, Taiwan, 2007.
- [35] P.Rong and M.Sichitiu., Angle of Arrival Localization for Wireless Sensor Networks, Sensor and Ad Hoc Communications and Networks, conference, Reston, VA USA, 2006.
- [36] H.Du and P.Lee, Simulation of Multi-Platform Geolocation Using a Hybrid TDOA/AOA Method, Technical Memorandum DRDC Ottawa TM 2004-256, Décembre 2004.
- [37] A.Roxin, J.Gaber, and M.Wack, Survey of Wireless Geolocation Techniques. IEEE GlobecomWorkshops, Washington, DC, United States, 2007.
- [38] A.Hopper, A.Harter, and T.Blackie, The active badge system, in Conference on Human factors in computing systems, New York, United State, 1993.
- [39] N.Bulusu, J.Heidemann, and D.Estrin, GPS-less Low Cost Outdoor Localization For Very Small Devices, IEEE Personal Communications Magazine, Volume: 7, page 28-34, Octobre2000.
- [40] D.Fox, W.Burgard, and F.Dellaert, Monte Carlo Localization: Efficient Position Estimation for Mobile Robots. National Conference on Artificial Intelligence, Orlando, Florida, USA, July 18-22, 1999.
- [41] M. A. Razzaque and C. S. Hong. A Low Overhead, Energy Efficient, Sink-initiated Multipath Routing Protocol for Static Wireless Sensor Networks. Dept. of Computer Engineering, Kyung Hee University, Suwon, South Korea, 2009.
- [42] M. Achir. ”Technologie basse consommation pour les réseaux Ad-Hoc”. PhDthesis, Institut national Polytechnique de Grenoble, July 2005.

RESUME

La localisation sert à trouver les positions des nœuds suite à un déploiement aléatoire dans le réseau, c'est l'un des problèmes majeurs des réseaux de capteurs sans fil. Elle est nécessaire non seulement pour pouvoir localiser les événements mais aussi elle fournit un soutien fondamental pour de nombreux protocoles et applications de localisation. En particulier pour les réseaux de capteurs à grande échelle. Dans ce mémoire nous proposons un processus de localisation pour les nœuds mobiles dans le réseau de capteurs sans fil, ce processus se déroule en trois phases : la première concerne la diffusion des messages par la station de base, la deuxième consiste au remplissage de la table de localisation et enfin la troisième est dédiée au calcul de la position des nœuds. La simulation sous MATLAB a montré l'efficacité de cette approche en termes de précision et de calcul de position.

Mots clés : réseaux de capteurs sans fil, la localisation, diffusion, station de base, nœuds mobiles.

ABSTRACT

Localization is used to find the positions of nodes following random deployment in the network, which is a major problem with wireless sensor networks. It is necessary not only to be able to locate events but also provides fundamental support for many localization protocols and applications. Especially for large scale sensor networks. In this thesis we propose a localization process for mobile nodes in the wireless sensor network, which takes place in three phases: the first concerns the broadcasting of messages by the base station, the second consists of filling the location table and finally the third for the position calculation. The simulation under MATLAB showed the effectiveness of this approach in terms of precision and position calculation.

Keywords: wireless sensor networks, localization, broadcast, base station, mobile nodes.