République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Dr. Yahia Farès de Médéa

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département du Génie Electrique et de l'Informatique

Projet de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme

De Master en Systèmes de Télécommunications

Étude de l'influence des paramètres de transmission sur la localisation dans les réseaux de capteurs sans fil

Proposé et dirigé par:

Mr. BENGHERBIA.Billel

Présenté par :

Mr. BACHENE.Youcef

Promotion 2011/2012

Remerciements

Au tout début je loue le bon dieu pour le courage et la volonté,

L'espoir et la santé qu'il ma octroyé afin que soit réalisée ce

Modeste travail

Je remercie vivement mon encadreur Mr .BENGERBIA BILEL

Pour son soutien moral et pédagogique pour son

Orientation bienveillante.

Je remercie infiniment

Mr. MOHAMED guedmani ET MR. LAIDI KAMEL

Mes remerciement vont également à tous les

Membres de jury, qui font l''honneur de juger notre travail.

Grand Merci Ă TOUS…

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail àMes très chères parents, pour leurs soutient moral et financier et d'être la lumière de ma vie, qui m'ont toujours encouragé pour terminer mes études, en leur espérant une longue vie et que Dieu les gardes.

- *A mes frères et mes sœurs.*
- *A toutes la famille *BACHENE *sans exception.*
- *A mes chers amis(e) de mon quartier.*
- *A tous mes amis(e) de près ou de loin sans exception.*
- *A mon promoteur M. BENGHERBIABillel*
- *je remercie Noureddine et Mr guedmani et Melle sihem et Mr Elarbifarouk et Mr foudil ben kali*
- *A tous les enseignants de faculté des sciences et de la technologie.*
- *A toute la promotion 2ème années Master sans exception.*

الملخص :

في هذا العمل قمنا بدراسة المصاعب المتعلقة بتحديد المواقع الخاصة بشبكة الملتقطات اللاسلكية, و باستعمال لغة MATLAB قمنا ببرمجة خوارزميتين خاصتين بتحديد المواقع (Triangulation and Multilateration),كما استعملنا للتجارب العلمية,اللوحةالإلكترونية CC2530 ZDKالمسيرة من طرف البروتوكولzigbee, لهذا فصلنا مختلف طبقات النموذج البروتوكولي. النتائج المتحصل عليها في التجارب العلمية و المنجزة في هذا البحث تسمح لنا بمعرفة تأثير القنوات و الاستقطاعات المقاسة من طرف الجهازالمستقبل بهدف تقريب المسافات و تأثير هذا الـأخير على دقة المواقع المراد تحديدها .

الكلمات المفتاحية : بروتوكول zigbee ,شبكات الاستشعار اللاسلكية, الاستطاعة المقاسة .

Résumé :

Dans ce travail nous avons étudié les problèmes de localisation dans les réseaux de capteur sans fil, et à l'aide de langage de calcul scientifique MATLAB nous avons programmé deux algorithmes de localisation (Triangulation et multilatération) on utilisant la plateforme CC2530ZDK du Texas Instruments géré par le protocole zigbee IEEE 802.15.4.Pour cela Nous détaillerons les différentes couches du ça pile protocolaire. Les résultats des expériences pratiques obtenues à la fin de notre projet, permettre de connaitre l'influence des canaux et des puissances sur l'utilisation de RSSI comme métrique d'estimation des distances et l'influence de ce dernier surla précision de la localisation dans les deux algorithmes.

Mots clés : zigbee, RCSF, RSSI.

Abstract:

In this work we studied the problems of location in wireless sensor networks, and using MATLAB technical computing language we programmed tow localization algorithms (Triangulation and Multilateration) using the platform of Texas Instruments CC2530ZDK managed by the IEEE 802.15.4 Zigbee protocol.To do this we will detail the different layers of this protocol stack. The results of practical experience obtained at the end of our project, allowing to know the influence of channel and power on the use of RSSI, as a metric for estimating distances and their influence on the accuracy of localization in both algorithms.

Keywords: zigbee, WSN, RSSI.

Liste des Figures

Figure I.1	Catégories des réseaux sans fils……....	02
Figure I.2	Les RCSF dans leur contexte pratique …….	05
Figure II.1	Structure en couche du model Zigbee…….	12
Figure II.2	Principe d'encapsulations ……...	13
Figure II.3	modulation O-QPSK……	15
Figure II.4	démodulation O-QPSK ……..	15
Figure II.5	Répartition des chips sur les vois I et Q…….	16
Figure II.6	diagramme de transition de phase…….....	16
Figure II.7	Exemple de la modulation O-QPSK pour la trame de chips ……..	16
Figure II.8	spectre de la modulation IEEE 802.15.4…….	17
Figure II.9	répartition des canaux IEEE 802.15.4……	17
Figure II.10	Structure générale d'une trame PHY……..	17
Figure II.11	Représentation d'une super trame IEEE 802.15.4……..	19
Figure II.12	La structure générale d'une trame MAC de donnée……	20
Figure II.13	Format de la trame de contrôle……	20
Figure II.14	le champ d'adresse……...	22
Figure II.15	La structure d'une trame MAC de donnée……..	23
Figure II.16	Structure d'une trame MAC d'acquittement…….	23
Figure II.17	Structure d'une trame MAC command……	23
Figure II.18	Structure d'une trame MAC balise……..	25
Figure II.19	Cas idéale d'estimation……...	31
Figure II.20	Zoom de la Figure II.19……...	31
Figure II.21	Cas où l'intersection des trois cercles est une surface……...	31
Figure II.22	Cas où l'intersection des trois cercles est une surface…….	32
Figure II.23	Cas les trois cercles se coupent mais pas de manière précise……..	32
Figure II.24	Cas où seulement inter section de 2 cercles…….	32
Figure II.25	Cas où seulement 2 cercles se coupent……	32
Figure II.26	principe de multilatération ……..	33
Figure II.27	exemple de localisation par multilatération à base du 3 Capteur……	36
Figure II.28	exemple de localisation par multilatération à base du 4Capteur…….	37
Figure III.1	équipement CC2530ZDK……	40

Figure III.2	smartRF05EB……..	40
Figure III.3	CC2530 Evaluation Module……	40
Figure III.4	mode transmetteur……...	41
Figure III.5	mode récepteur……	41
Figure III.6 :	Scénarios expérience estimation de la distance……...	
Figure III.7	atténuation de RSSI en fonction de la distance ……..	43
Figure III.8	linéarisation et interpolation des valeurs des RSSI mesurés ……..	43
Figure III.9	comparaison la courbe pratique et la courbe prouver……..	44
Figure III.10	RSSI en fonction de la distance Canal 11 tous les puissances……	45
Figure III.11	RSSI en fonction de la distance Canal 18 tous les puissances……	45
Figure III.12	RSSI en fonction de la distance Canal 26 tous les puissances……	45
Figure III.13	Organigramme du programme localisation ……	48
Figure III.14	présentation l ‘interface graphique……..	49
Figure III.15	Cas d’intersection de tous les capteurs sur le même point (cas idéal)…….	51
Figure III.16	Cas d’intersection de deux capteurs……...	52
Figure III.17	Cas d’intersection de deux capteurs avec le troisième éloigné…….....	52

Liste des tableaux

Tableau I.1	Tableau de comparaison……..	09
Tableau II.1	Caractéristiques des deux couches physiques proposées (PHY868/915 et PHY2450)……....	14
Tableau III.1	représente les coefficients A et K du modèle d’atténuation pour chaque configuration …….....	47
Tableau III.2	positions des capteurs dans un terrain dégagé……	53
Tableau III.3	comparaison de 2 méthode pour les d’efférents configuration de kit……	53
Tableau III.4	positions des capteurs dans un terrain dégagé……	53
Tableau III.5	comparaison de 2 méthode pour les d’efférents configuration de	53

Table des Matières

Introduction générale…… 01

Chapitre I

Généralités sur les réseaux sans fil

I.1 Catégories des réseaux sans fil…… 02

I.1.1 Réseaux personnels sans fil (WPAN)…… 02

I.1.2 Réseaux locaux sans fil (WLAN)…… 03

I.1.3 Réseaux métropolitains sans fil (WMAN)…… 05

I.1.4 Réseaux étendus sans fil (WWAN)…… 05

I.2 Réseau de capteurs sans fil RCSF…… 05

I.2.1 Définition RCSF…… 05

I.2.2. Les principales caractéristiques des RCSF…… 06

I.3 Comparaison entre les RCSF et les réseaux sans fil classiques…… 08

I.4 Problème de localisation dans les réseaux de capteur sans fil…… 09

I.4.1 Estimation des distances…… 10

I.4.2 Dérivation des positions…… 10

I.5 Objectifs de la thèse…… 10

Chapitre II

Etude de la transmission et la localisation dans les RCSF

II.1 Transmission dans les RCSF…… 12

II.1.1. Présentation de la pile protocolaire Zigbee…… 12

II.1.2 La couche physique…… 13

II.1.3 Accès au médium radio…… 18

II.1.4. La sous-couche LLC…… 19

Introduction…… 25
II.2. Théorie de localisation…… 25
II.2.1. La localisation dans les RCSF …… 26
II.2.2. Estimation des distances…… 26
II.2.3. Critères de localisation…… 29
II.3. Dérivation des positions…… 30
II.3.1 Localisation d'un capteur par triangulation …… 30
II.3.2. Localisation d'un capteur par multilatération…… 33
II.3.3 Théorie de multilatération…… 34
II.3.4 Comparaisons quantitative de la précision des algorithmes de Localisation…… 35
II.4. Conclusion …… 38

Chapitre III

Résultats pratiques

III.1 Introduction …… 39
III.2. Hardware…… 39
III.3. Configuration de kit CC2530ZDK…… 41
III.4. Problématique: estimation de distance…… 41
III.5. Scénarios de l'expérienceEstimation des distances …… 41
III.6. La méthode de traitement…… 42
III.6.1. modélisation de l'atténuation RSSI = *f*(*d*)…… 42
III.6.2. Evolution du RSSI en fonction de la distance…… 43
III.6.3. Linéarisation et interpolation des valeurs des RSSI mesurés…… 43
III.7. Résultat des expériences pratique…… 44
III.8. Discussion…… 45
III.9. Exemple Canal 11 el la puissance (–03 dbm)…… 46

III.10 Dérivation des positions…… 49
III.10.1.Scénarios de l'expérience de dérivation des positions…… 49
III.10.2. Présentation de l'interface graphique…… 49
III.10.3 Résultat pratique de dérivation de position…… 51
III.10.4 Résultat des expériences…… 53
III.11.Conclusion…… 54
Conclusion générale …… 55
Bibliographie…… 56
Annexe…… 58

Introduction générale

Introduction générale :

Les réseaux de capteurs sans fil sont considérés comme un type spécial des réseaux Ad hoc où l'infrastructure fixe de communication et l'administration centralisée sont absentes et les nœuds jouent, à la fois, le rôle des hôtes et des routeurs. Ce type de réseaux consiste en un ensemble de micro-capteurs éparpillés aléatoirement à travers une zone géographique qui définit le terrain d'intérêt pour le phénomène capté.

Les micro-capteurs déployés sont capables de surveiller, d'une manière continue, une grande variété de conditions ambiantes telles que la température, l'humidité, et de détecter également l'occurrence des évènements tel que les séismes. Malgré leurs capacités limitées d'acquisition et de traitement de donnée, qui n'est qu'une conséquence de leur taille miniaturisé, les composants de communication sans fil intégrés à ces capteurs leur permettent de collaborer et de coordonner entre eux afin d'accomplir des tâches d'acquisition complexes.

Dans la vie courante, l'utilisation des capteurs sans fil est de plus en plus demandée pour la supervision et la sécurité. Les industries proposent alors des capteurs sans fil qui peuvent renseigner l'utilisateur sur plusieurs données. Ces capteurs peuvent aussi être reliés ensemble pour former un réseau sans fil se basant sur des protocoles pour se communiquer et proposant des programmes et des réseaux embarqués.

La bonne qualité de transmission dans un réseau de capteurs sans fil est généralement basée sur le choix de la puissance et la fréquence d'une part et l'adaptation au support de transmission d'une autre part. Adaptation au support de transmission, c'est à dire le choix de type de modulation et le codage en ligne nécessaire pour minimisé l'erreur qui est représenté par le BER (Bite Error Rate) ou bien le PER (Package Error Rate).

L'objectif de ce travail consiste à étudier l'influence de la fréquence et la puissance sur la transmission dont les réseaux de capteurs sans fil.

Nous attaquerons toutefois ce rapport par un chapitre d'analyse des besoins à partir du quelle nous donnons une présentation générale du sujet. Le deuxième chapitre sera consacré à l'étude théorique, nous verrons dans une première partie les techniques de transmissions dans les RCSF. Dans une seconde partie nous verrons les différends techniques de localisation. Finalement on aura le chapitre de l'analyse des résultats, dans lequel on présente les résultats pratique obtenu de l'expérience d'estimation des distances et la localisation.

Chapitre I:

Généralités sur les réseaux sans fil

I.1 Catégories des réseaux sans fils :

Il existe plusieurs catégories de réseaux sans fil qui diffèrent par le périmètre géographique qu'ils couvrent ainsi que par les types d'applications supportées. Le schéma suivant illustre les catégories des réseaux sans fil.

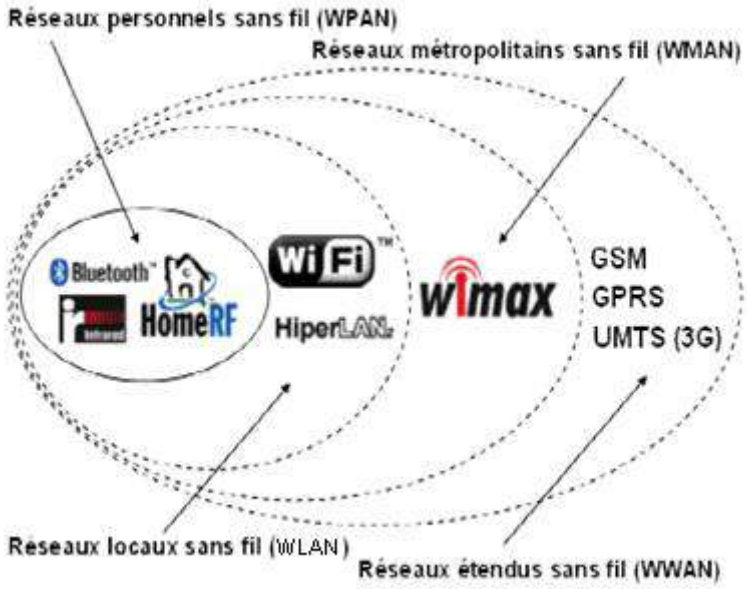


Figure 1.1: Catégories des réseaux sans fils

I.1.1 Réseaux personnels sans fil (WPAN)

Le réseau personnel sans fil (appelé également réseau individuel sans fil ou réseau domestique sans fil et noté WPAN pour Wireless Personal Area Network) concerne les réseaux sans fil 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 fil entre deux machines très peu distantes, il existe plusieurs technologies utilisées pour les WPAN :

- *HomeRF*

HomeRF (pour Home Radio Frequency), lancée en 1998 par le HomeRFWorking Group (formé notamment par les constructeurs Compaq, HP, Intel, Siemens, Motorola et Microsoft) propose un débit théorique de 10 Mbps avec une portée d'environ 50 à 100 mètres sans amplificateur. La norme HomeRF soutenue notamment par Intel, a été abandonnée en Janvier 2003.[O D C 2000]

- *Bluetooth*

La bande de fréquence utilisée par Bluetooth est identique à celle du WI-FI (ou 802.11b) soit 2,4Ghz et utilise 79 fréquences différentes.

Bluetooth permet d'atteindre 1600 échanges par seconde soit un débit d'environ 1 Mbit par seconde mais avec une portée faible de plusieurs mètres seulement. Cependant, les dernières versions peuvent aller jusqu'à 100 m. [ODC2000]

- *ZigBee*

La technologie ZigBee (aussi connue sous le nom IEEE 802.15.4) permet d'obtenir desliaisons sans fil à très bas prix et avec une très faible consommation d'énergie, ce qui la rend particulièrement adaptée pour être directement intégrée dans de petits appareils électroniques

La technologie Zigbee, opérant sur la bande de fréquences des 2,4 GHz et sur 16 canaux, permet d'obtenir des débits pouvant atteindre 250 Kb/s avec une portée maximale de 100 mètres environ. [ODC2000]

I.1.2 Réseaux locaux sans fil (WLAN)

Les « Wireless Local Area Network » WLAN ou Réseaux locaux sans-fil cherchent à offrir les mêmes prestations que les LAN d'entreprises avec l'avantage de la suppression du câblage et le déplacement à l'intérieur d'un immeuble ou même l'extérieur, dans certaines zones, sans interruption de la session en cours. Plusieurs spécifications du Wireless LAN existent à l'heure actuelle. [MOA2004]

- *WIFI*

La technologie WI-FI est le standard des réseaux sans fils (WLAN) issues de la norme IEEE 802.11x permettant d'offrir le service haut débit tout en assurant une mobilité limité de L'abonné. [KM2005]

a) 802.11a : La norme 802.11a permet d'obtenir un haut débit (54 Mbps théoriques, 30 Mbps réels). Elle spécifie 8 canaux radio dans la bande de fréquence des 5 GHz.

b) 802.11b : La norme 802.11b est la norme la plus répandue actuellement. Elle propose un débit théorique de 11 Mbps (6 Mbps réels) avec une portée pouvant aller jusqu'à 300 mètres dans un environnement dégagé. La plage de fréquence utilisée est la bande des 2.4 GHz, avec 3 canaux radio disponibles.

c) 802.11g : La norme 802.11g offrira un haut débit (54 Mbps théoriques, 30 Mbps réels) sur la bande de fréquence des 2.4GHz.

La norme 802.11g a une compatibilité ascendante avec la norme 802.11b, ce qui signifie que des matériels conformes à la norme 802.11g pourront fonctionner en 802.11b

d) 802.11i : La norme 802.11i a pour but d'améliorer la sécurité des transmissions (gestion et distribution des clés, chiffrement et authentification). Cette norme s'appuie sur l'AES (Advanced Encryptions Standard) et propose un chiffrement des communications pour les transmissions utilisant les technologies 802.11a, 802.11b et 802.11g.

- *HyperLAN2*

hiperLAN2 (High Performance Radio LAN 2.0), norme européenne élaborée par l'ETSI (European Telecommunications Standards Institute). HiperLAN 2 permet d'obtenir un débit théorique de 54 Mbps sur une zone d'une centaine de mètres dans la gamme de fréquence comprise entre 5 150 et 5 300 Mhz.[O D C 2000]

I.1.3 Réseaux métropolitains sans fil (WMAN)

Le réseau métropolitain sans fil (WMAN pour Wireless Metropolitan Area Network) est connu sous le nom de Boucle Locale Radio (BLR). Les WMAN sont basés sur la norme IEEE 802.16. La boucle locale radio offre un débit utile de 1 à 10 Mbit/s pour une portée de 4 à 10 kilomètres, ce qui destine principalement cette technologie aux opérateurs de télécommunication. [VHM 2007]

Plus exactement, WiMAX est le label commercial délivré par le WiMax Forum aux équipements conformes à la norme IEEE 802.16 qui est apparue en 2001. La norme 802.16 a connu de nombreuses évolutions au fur et à mesure qu'elle gagne en popularité. Destinées originellement à desservir les zones les plus éloignées en haut débit en tant que réseau d'accès, cette norme s'oriente de plus en plus vers la mobilité notamment dans la version 802.16e. [OBMF2007]

Le réseau WiMAX a été, à l'origine, crée par les sociétés Intel et Alvarion en 2002, poussé par un consortium d'une cinquantaine de membres, dont Intel, Nokia, Fujitsu Microelectronics et China Motion Telecom et ratifié par l'IEEE (Institute of Electrical and ElectronicsEngineer) sous le nom de IEEE 802.16.[OB MF 2007]

I.1.4 Réseaux étendus sans fil (WWAN)

Le réseau étendu sans fil (WWAN pour Wireless Wide Area Network) est également connu sous le nom de réseau cellulaire mobile. Il s'agit des réseaux sans fil les plus répandus puisque tous les téléphones mobiles sont connectés à un réseau étendu sans fil. Les principales technologies sont les suivantes :

- GSM (Global System for Mobile Communication ou en français Groupe Spécial Mobile),
- GPRS (General Packet Radio Service),
- UMTS (Universal Mobile Telecommunication System).[ODC 2000]

I.2 Réseau de capteurs sans fil RCSF

I.2.1 Définition RCSF :

Un RCSF consiste en un nombre de capteurs connectés entre eux qui sont capables de sonder l'environnement dans lequel ils se trouvent et remonter l'information vers certains nœuds (Sink) déployés qui sont en mesure de relayer l'information à grande échelle comme l'illustre le schéma suivant.

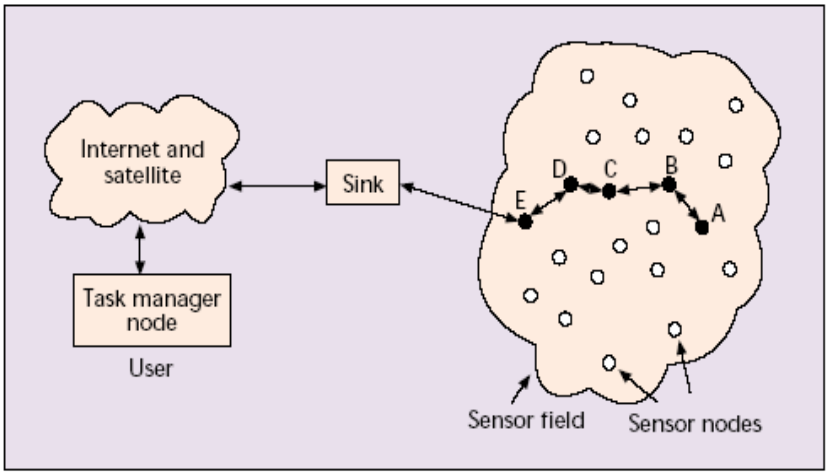


Figure I.2: Les RCSF dans leur contexte pratique [AKY 2002]

Les RCSF forment une nouvelle génération de réseaux aux propriétés spécifiques, qui n'entrent pas dans les architectures classiques. Ils présentent un champ d'application très vaste et couvrent plusieurs domaines à caractère scientifique, logistique, militaire ou de santé.

I.2.2. Les principales caractéristiques des RCSF

- *La consommation réduite d'énergie* **:**

Les nœuds capteurs utilisent des batteries de taille minuscule comme ressources en énergie, ce qui limite leur durée de vie. La spécificité des applications des RCSF (militaires, sismiques et autres) fait que la recharge ou le remplacement de ces batteries est une tâche difficile ou presque impossible, ce qui nous mène à déduire que la durée de vie d'un nœud est essentiellement dépendante de la durée de vie de la batterie. Ainsi, la méthode de gestion de consommation d'énergie constitue une contrainte majeure dans ce type de réseau.

- *L'auto-configuration des nœuds capteurs :*

Dans un RCSF, les nœuds sont déployés soit d'une manière aléatoire (missile, avion…), soit placés nœud par nœud par un humain ou un robot, et ceci à l'intérieur ou autour du phénomène observé (champ de guerre, surface volcanique, patient malade…) [AKY 2002]. Ainsi, un nœud capteur doit avoir des capacités d'une part, pour s'auto-configurer dans le réseau, et d'autre part pour collaborer avec les autres nœuds dans le but de reconfigurer dynamiquement le réseau en cas de changement de topologie du réseau [HOL 2003].

Dans un RCSF, chaque nœud X possède une unité émettrice/réceptrice qui lui permet de communiquer avec les nœuds qui lui sont proches; En échangeant des informations avec ces derniers, le nœud X pourra alors découvrir ses nœuds voisins et ainsi connaître la méthode de routage qu'il va adopter selon les besoins de l'application [CUL 2004].

L'auto-configuration apparaît comme une caractéristique nécessaire dans le cas des RCSF étant donné que d'une part, leur déploiement s'effectue d'une manière aléatoire dans la majorité des applications, et d'autre part le nombre des nœuds capteurs est très grand.

- *La scalabilité :*

Contrairement aux réseaux sans fil traditionnels (personnel, local ou étendu), un RCSF peut contenir un très grand nombre de nœuds capteurs (des centaines, des milliers…)[AKY 2002]**.**

Un réseau de capteur est scalable parce qu'il a la faculté d'accepter un très grand nombre de nœuds qui collaborent ensemble afin d'atteindre un objectif commun.

- *La tolérance aux pannes :*

Dans le cas de dysfonctionnement d'un nœud (manque d'énergie, interférences avec l'environnement d'observation…) ou aussi en cas d'ajout de nouveaux nœuds capteurs dans le réseau, ce nœud doit continuer à fonctionner normalement sans interruption [AKY 2002]. Ceci explique le fait qu'un RCSF n'adopte pas de topologie fixe mais plutôt dynamique.

- *Une densité importante des nœuds :*

Les RCSF sont caractérisés par leur forte densité [FLE 2003]. Cette densité peut atteindre, selon le type d'application, 20 nœuds/m^3 [AKY 2002].

- *La capacité de communication :*

Elle peut prendre deux aspects : Le multi saut ou à un seul saut [FLE 2003]. Parce que le multisaut est moins énergivore, il reste le type de communication le plus sollicité par les applications de RCSF qui requièrent une faible consommation d'énergie.

- *Les types de communication :*

Il existe différents types de communication utilisée dans les RCSF :

  - Unicast : ce type de communication est utilisé pour échanger des informations entre deux nœuds sur le réseau.
  - Broadcast : la station de base ou « Sink » transmet des informations vers tous les nœuds du réseau. Ces informations peuvent être des requêtes de données bien précises (ex : la température dans la région A), des mises à jour de programmes ou des paquets de contrôle.[AKY 2002]
  - Local Gossip : ce type de communication est utilisé par des nœuds situés dans une région bien déterminée qui collaborent ensemble afin d'avoir une meilleure estimation de l'évènement observé et d'éviter l'émission du même message vers le nœud « Sink » ce qui contribue à consommer moins d'énergie.
  - Convergecast : il est utilisé dans les communications entre un groupe de nœuds et un nœud bien spécifique (qui peut être le « Sink »). L'avantage de ce type de communication est la diminution de contrôle d'entête des paquets (« control overhead ») ce qui économise l'énergie au niveau du nœud récepteur [HOL 2003].

- Multicast : il permet une communication entre un nœud et un groupe de nœuds. Ce type de communication est utilisé dans les protocoles qui incluent le « clustering » dans lesquels, le « Clusterhead » s'intéresse à communiquer avec un groupe de nœuds [AKY 2002].

- *Une architecture « data-centric » :*

Du fait que le remplacement ou la recharge des batteries des nœuds capteurs est une tâche non pratique et difficile à réaliser, alors il est d'usage normal qu'on trouve des nœuds capteurs redondants (effectuant la même tâche dans la même région) ;

L'importance d'un nœud particulier est, par conséquent, réduite par rapport à l'importance attribuée aux données observées par les nœuds.

Ce type d'architecture diffère des architectures « node-centric » adoptées par les réseaux traditionnels où les nœuds possèdent une place importante (Exemple : un utilisateur qui veut connecter *son laptop* au *serveur web X*) [HOL 2003].

- *Une collaboration entre les nœuds :*

Les contraintes strictes de consommation d'énergie mènent les nœuds capteurs à détecter et traiter les données d'une manière coopérative afin d'éviter le traitement redondant d'une même donnée observée, source de la perte d'énergie [1].

- *La bande passante (ou capacité du canal) :*

C'est une caractéristique beaucoup plus importante dans les réseaux cellulaires (GSM) et les réseaux locaux sans fils (WLAN), que dans les RCSF ; le débit étant en effet un objectif secondaire pour les RCSF [DEM 2003]

I.3 Comparaison entre les RCSF et les réseaux sans fil classiques

Le tableau suivant illustre une comparaison entre les RCSF et les réseaux sans fil classiques.

Cette comparaison s'appuie sur cinq critères :

- le nombre de nœuds
- l'importance de consommation d'énergie
- l'importance de la QoS
- l'identification des nœuds
- les types de communication.

	RCSF	**Réseau WLAN**	**Réseau cellulaire**	**Réseau WPAN**
Nombre de nœuds	Très élevé	Diminué	Elevé	1 nœud maître avec 7 nœuds esclaves (Cas de Bluetooth)
L'importance de la consommation d'énergie	Très élevé.	Diminué du fait que les nœuds peuvent être rechargés facilement.	Diminué du fait que les nœuds peuvent être rechargés facilement.	Diminué
Importance de la qualité de service	Diminué	Elevée	Elevée	Elevée
Identification des nœuds	Dépend de l'application (généralement pas de mécanismes d'identification pour éviter l'overhead)	Existe	Existe	Existe
Type de communication	broadcast, multicast, Convergecast…	Point à point	Du mobile vers la station de base et vice versa.	Du nœud maître vers le nœud esclave.

Tableau I.1 : Tableau de comparaison

I.4 Problème de localisation dans les réseaux de capteur sans fil

La connaissance des positions des senseurs dans l'environnement est souvent souhaitable, afin de pouvoir déterminer l'origine des flux de mesures collectées. Les méthodes de localisation étudiées dans ce mémoire ont pour but d'estimer ces positions de manière automatique. Une méthode de localisation dans les réseaux de capteurs est composée de deux parties :

I.4.1 Estimation des distances

Dans cette phase les nœuds communiquent entre eux et collectent différents indicateurs de qualité des communications radios. Le hardware radio peut rapporter diverses informations sur le signal radio entre deux nœuds. En effet le simple fait qu'ils communiquent entre eux nous indique qu'ils sont à portée radio l'un de l'autre. De plus le hardware radio de nos nœuds peut nous rapporter diverses caractéristiques à propos du signal radio entre les deux nœuds, à partir desquelles les distances séparant les nœuds peuvent être estimées.[VHM 2007]

I.4.2 Dérivation des positions

Le but de cette phase est de trouver les positions des nœuds qui respectent au mieux les distances internœuds estimées. Si nous connaissons la position de quelques nœuds du réseau dans un certain système de coordonnées, les positions des autres nœuds dans ce système de coordonnées peuvent être trouvées.

Le problème d'estimation des distances et la dérivation des positions sera étudié plus en détail au chapitre 2.[VHM 2007]

I.5 Objectifs du mémoire :

L'objectif de ce travail consiste à étudier l'influence de la fréquence et la puissance sur la transmission et la localisation dans les réseaux de capteurs sans fil, pour cela on a ciblé la plateforme CC2530ZDK de Texas Instrument comme outils d'implémentation d'un réseau de capteurs sans fil, on utilisant le module SmartRF05EB (Evaluation Board) de CC2530ZDK (voir la partie pratique) comme nœuds de transmission/réception pour des différentes configurations de fréquences et de puissances. La lecture directe des résultats de transmission sur l'afficheur du SmartRF05EB permet d'exploiter ces résultats on utilisant le langage de calculs scientifique MatLab, pour une application de localisation afin de déduire un modèle pratiques pour l'estimation de position des capteurs dans le cas d'un terrain en plein air.

Chapitre II

Etude de la transmission et la localisation dans les RCSF

Introduction :

Ce chapitre est divisé en deux parties : transmission et théorie de localisation.

Dans la première partie de ce chapitre, nous détaillerons les différents couche du la pile protocolaire Zigbee, et l'unité de donnée de chaque couche, ensuit nous allons détailler les structures de tous les types de trame proposés par la norme IEEE 802.15.4 , Nous discutons aussi les méthodes d'accès au médium radio, les Bandes de fréquences et le type de modulation utiliser dans les RCSF

Dans la deuxième partie de ce chapitre, on traite la problématique de la localisation dans les réseaux de capteurs. Nous présentons les différentes méthodes existantes pour l'estimation des positions**.**

II.1 Transmission dans les RCSF

II.1.1. Présentation de la pile protocolaire Zigbee

- *Découpage en couche*

Comme tout réseau, ZigBee est structuré en couches, et chaque couche à des fonctionnalités qui sont mises à la disposition des couches placées au-dessus.

Les couches du standard ZigBee suivent le fameux modèle OSI (Open System Inter-connection), qui consiste à "découper" chaque réseau en 7 couches. Etant réservé à des applications relativement simples, ZigBee n'utilise que quelques-unes de ces couches.

L'architecture ZigBee s'appuie sur le standard IEEE 802.15.4-2003, qui définit la couche "physique" PHY et la couche MAC (Medium Access Control) de contrôle d'accès au media. Le consortium *Zigbee alliance* a défini au-dessus la couche "réseau" NWK et la couche "applications" APL (Application Layer). [ART2007]

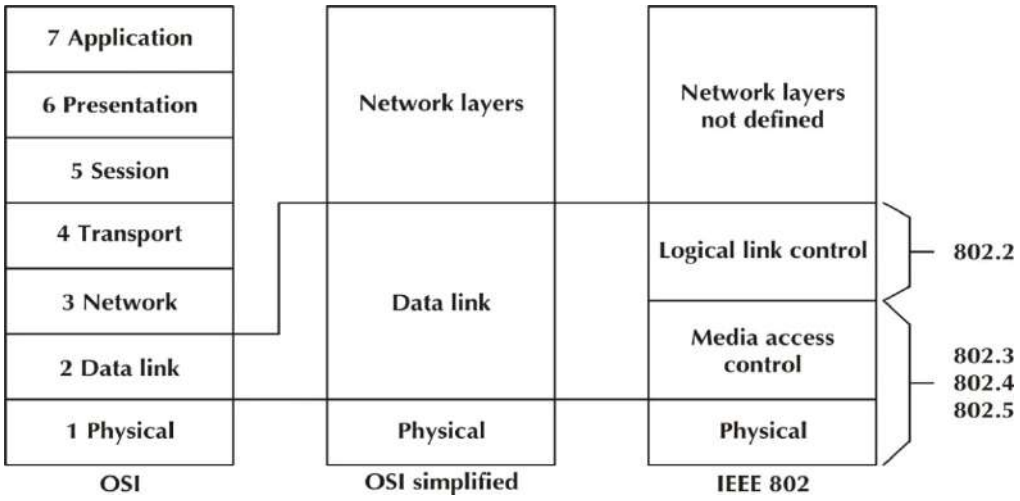


Figure II.1 : Structure en couche du model Zigbee

Antérieur à ZigBee, les standard IEEE 802.15.4-2003 a été spécifié pour concevoir des réseaux radio à faible consommation, et utilisable dans les applications à faible portée et faible débit. Il spécifie deux couches PHY, qui travaillent dans trois bandes de fréquence séparées : 868 MHz (1 canal de 2 MHz à 868,3 MHz), 915 MHz (10 canaux de 2 MHz entre 902 et 928 MHz) et 2,4 GHz (16 canaux de 3 MHz espacés de 5 MHz). [ART2007]

- *Principe d'encapsulations*

La forme qu'emprunte une donnée sur n'importe quelle couche est appelée unité de données de protocole (Protocol Data Unit).

Au cours de l'encapsulation, chaque couche suivante encapsule l'unité de données de protocole qu'elle reçoit de la couche supérieure en respectant le protocole en cours d'utilisation, à chaque étape du processus.

La couche réseau reçoit l'unité de données de protocole de la couche d'application APDU (Application Protocol Data Unit) et ajoute un en-tête NHR (Network Header) pour créer l'unité de données de protocole de couche réseau, cette unité appelée NPDU (Network Protocol Data Unit). Une fois que la couche réseau termine son processus d'encapsulation, Le NPDU est envoyé à la sous-couche LLC (LogicalLink control) pour être construire une trame LLC appelée LLC-PDU (LLC-Protocol Data Unit).

Dans la norme IEEE 802.15.4, ce n'est pas à la couche MAC de segmenter les paquets, mais aux couches supérieures qui doivent s'assurer que la grandeur des données envoyées MSDU (MAC Service Data Unit) à la couche MAC ne va pas dépasser 102 octets.

La grandeur maximale d'une trame MAC complète est de 127 octets, en déduisant la taille maximale utilisée par l'ensemble des en-têtes qui est de 25 octets, on obtient la valeur de 102 octets. La couche MAC ne peut donc pas recevoir des données de plus de 102 octets provenant de la couche supérieure.[VJ 2003]

La trame doit être convertie en une série des bits pour la transmission sur le média.

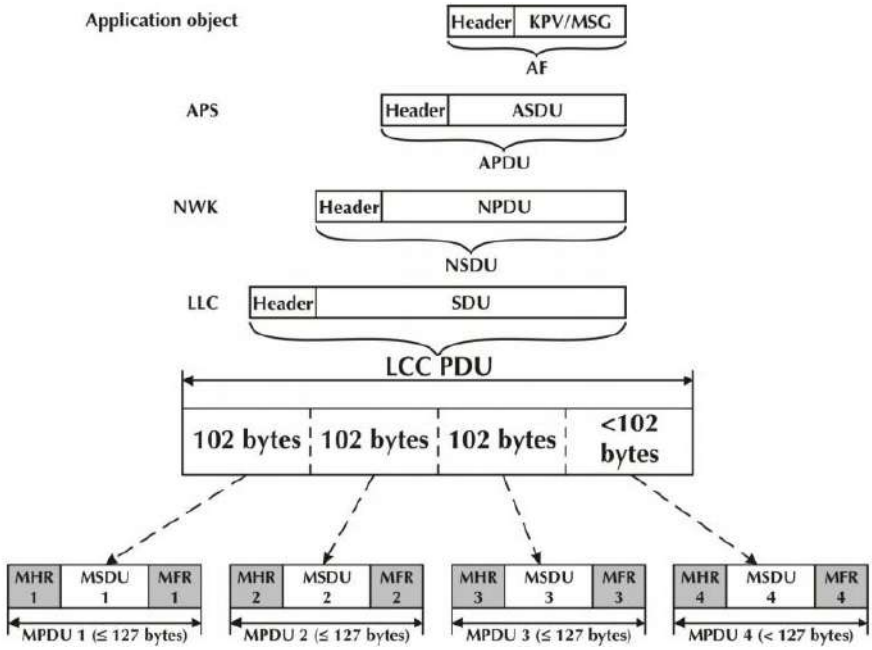


Figure II.2 : Principe d'encapsulations

II.1.2 La couche physique

Pour un protocole sans-fil numérique, il est indispensable de définir à la base quelles seront les fréquences d'émission et de réception des signaux, avec quels débits seront envoyés les signaux et quel sera le type de modulation et de codage numérique des informations. Toutes ces spécifications sont contenues dans la couche physique.

- *Bandes de fréquences et canaux*

Le standard IEEE 802.15.4 spécifie la couche physique (PHY) dans les bandes 868MHz, 915MHz et 2.4GHz avec un débit respectif de 20, 40 et 250 Kbits/s.

Le nombre de canaux disponible étant plus important dans la bande 2.4GHz, c'est elle qui est la plus utilisée. Ce travail de recherche s'est donc concentré sur cette bande de fréquence dont les bornes basses et hautes sont respectivement 2,405GHz et 2,48GHz.

Un codage des bits par étalement de spectre est utilisé avant la modulation sur fréquence porteuse. Cette technique d'étalement permet de faire fonctionner la transmission avec un rapport signal à bruit (SNR) plus important que ceux des systèmes à bande étroite, au prix d'une bande passante plus importante.

La technique utilisée par le standard 802.15.4 consiste à faire correspondre à chaque groupe de 4 bits un code d'étalement de 32 bits (appelés chips dans le cas d'un codage par étalement de spectre) fixé par le standard.

Le débit brut dans l'air étant de 250 kbit/s, le débit chip obtenu est de 2 M Chips/s. Les chips sont ensuite modulées sur la fréquence porteuse à l'aide d'une O-QPSK pour Offset Quadrature Phase Shift Keying. [AVB 2007]

PHY	Bande (Mhz)	Nbre Cannaux (n°)	Région	Etalement de spectre		Données		
				Débit chip (K Chip/s)	Modulation	Débitbinaire (Kbit/s)	DébitSymbole (Ksym/s)	Symboles
868 / 915	868 ~868.6	1 (0)	Europe	300	BPSK	20	20	Binaires
	902 ~928	10 (1~10)	USA	600	BPSK	40	40	Binaires
2450	2400~ 2483.50	16 (11 ~26)	toute	2000	Q-QPSK	250	62.5	16 –ary orthogonal

Tableau II.1 : Caractéristiques des deux couches physiques proposées (PHY868/915 et PHY2450)

Il est important de comprendre la différence entre débit binaire et débit symbolique. Le débit binaire est la fréquence du flux binaire dans le système examiné, tandis que le débit symbolique est la fréquence des états discrets réellement transportés sur le canal de transmission.

La bande passante requise par un format de modulation donné dépend du débit symbolique, et non du débit binaire :

$$Débit\ symbolique = débit\ binaire/nombre\ de\ bits\ transmis\ avec\ chaque\ symbole$$

- *Modulation O-QPSK [AJ P 2002]*

Pour réaliser concrètement une modulation numérique de ce type, le signal $x_n(t)$ à transmettre est décomposé en symboles de 2 éléments binaires successifs (dibits).

Le signal $i(t)$ est formé à partir du premier élément des dibits et $q(t)$ à partir du deuxième élément. Les signaux $i(t)$ et $q(t)$ auront donc un débit deux fois plus faible que le signal numérique initial.

Ces deux signaux multiplient la porteuse et la porteuse déphasée et sont additionné. A la réception, le signal subit le traitement inverse pour obtenir les deux composantes en phase et en quadrature. Un processeur de signal pourra alors reconstituer le signal binaire d'origine.

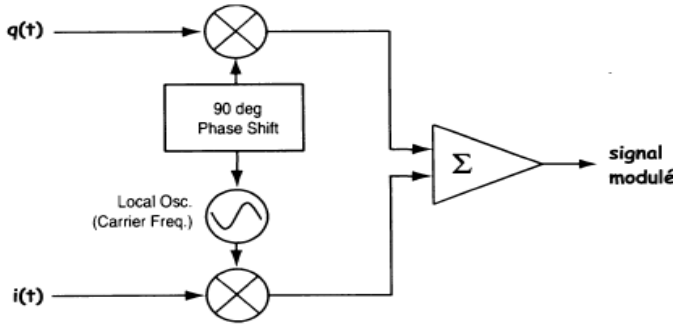


Figure II.3 : Modulation O-QPSK

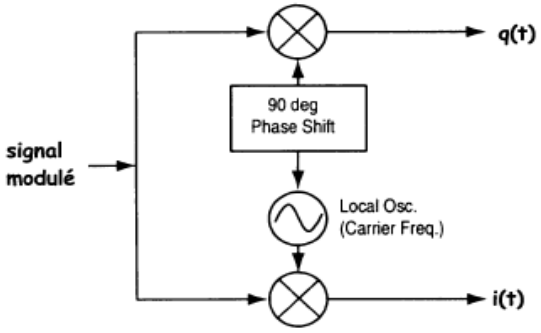


Figure II.4 : Démodulation O-QPSK

- *Modulation O-QPSK pour les trames chips*

Les chips paires sont envoyées sur la voie I et les chips impaires sur la voie Q, chaque chip étant répété deux fois sur chaque voie (Figure II.5).

Un exemple de cette modulation est présenté sur la (Figure II.7). Il montre les signaux I et Q après modulation pour une trame de chips composée de 110110001 ainsi que le diagramme de phase correspondant.

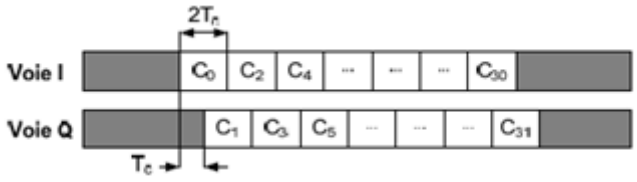


Figure II.5: Répartition des chips sur les vois I et Q

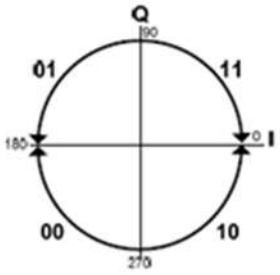


Figure II.6 : Diagramme de transition de phase

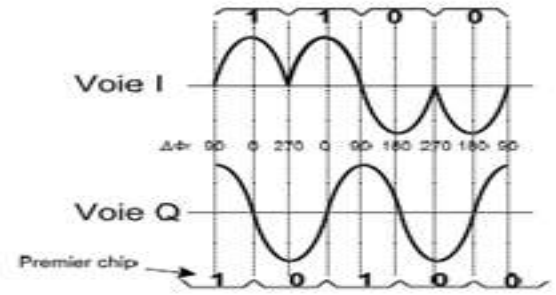


Figure II.7 : Exemple de la modulation O-QPSK pour la trame de chips 1 10 11 00 01

- *Spectre de fréquence*

Le spectre obtenu présente un lobe principal occupant une bande de fréquence de 3MHz (Figure II.8). Les « trous » dans le spectre sont dus au fait que seulement 16 codes orthogonaux de 32 chips sont utilisés. Dans la bande disponible entre 2.405GHz et 2.48GHz, le standard ZigBee défini donc 16 canaux avec un espacement inter-canal de 5MHz (Figure II.9). Ils sont numérotés de 11 à 26, les onze premiers correspondants aux canaux disponibles dans les bandes de fréquence 868 et 915 MHz.

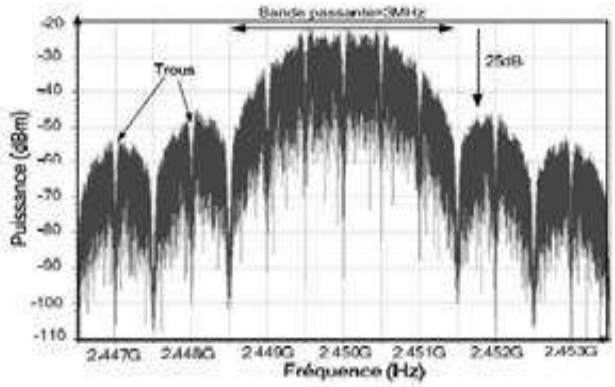


Figure II.8 : spectre de la modulation IEEE 802.15.4



Figure II.9 : répartition des canaux IEEE 802.15.4

- *Paquet de niveau physique*

La structure de paquet est présente à la(Figure II.10)

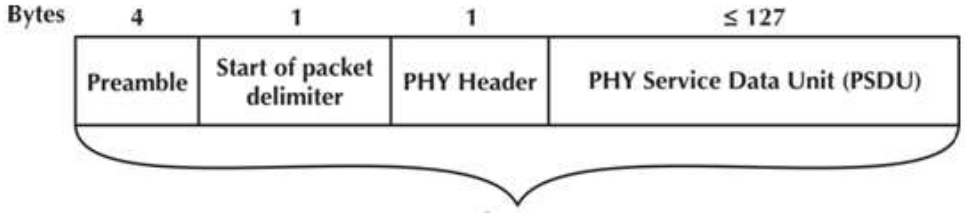


Figure II.10 : Structure générale d'une trame PHY

L'ensemble de la trame est appelé PPDU (PHY Protocol Data Unit). Les 5 premiers octets de la trame correspondent à un en-tête de synchronisation (Preamble + Start of packetdelimiter). L'Octet « Start of packetdelimiter » permet de spécifier la fin du préambule. Sinon, les 32 bits du préambule sont notamment prévus pour:

- Acquisition des symboles
- Synchronisation des « Chips »
- Ajustement de la fréquence (dans certain cas seulement)

- *PHY payload*

Le champ payload (charge utile) contient les données utiles de la trame. Sa structure est différente selon le type de trame. Si le chiffrement a été précisé dans le champ de contrôle de trame, cette partie de la trame est chiffrée.

II.1.3 Accès au médium radio

La sous-couche MAC gère les accès au médium radio, résolvant notamment les problèmes d'accès concurrents. 802.15.4 propose deux modes pour l'accès au médium : un mode non coordonné totalement CSMA/CA,(CSMA/CA Signifie « Carrier Sense Multiple Access With Collision Avoidance », c'est à dire accès multiple avec détection de porteuse et évitement de collision.) et un mode coordonné (ou balisemode), disponible uniquement dans une topologie étoile où le coordinateur de cette étoile envoie périodiquement des trames balises (balise) pour synchroniser les nœuds du réseau.

- *Mode non coordonné*

Dans le mode non coordonné, il n'y a pas d'émission de balise donc pas de synchronisation entre les différents nœuds du réseau. Les nœuds voulant émettre des données doivent utiliser le protocole CSMA/CA « non slotté », c'est-à-dire que le début d'une émission se fait dès que le médium est jugé libre.

Avec CSMA, une station souhaitant émettre un message doit commencer par contrôler le trafic et s'assurer que la voie est libre. Si le canal est occupé, la station doit différer la transmission. Si le canal est libre pendant un temps donné, la station envoie une demande d'autorisation à émettre.

La station transmet un message appelé Ready To Send (ou Request To Send, signifiant "demande à émettre") contenant des informations sur le volume des données qu'elle souhaite émettre et sa vitesse de transmission.

Le récepteur répond un Clear To Send ("la voie est libre pour l'envoi"), puis la station commence l'émission des données.

A la réception de toutes les données, la station réceptrice envoie un accusé de réception, qui est capté par les autres stations, leur signifiant que la voie est à nouveau libre.

- *Mode coordonné*

Dans le mode coordonné, une ou plusieurs entité(s) du réseau diffuse périodiquement des trames appelées balises, c'est-à-dire une synchronisation entre les différents nœuds du réseau.

- *Notion de super trame*

Une Super trame ne peuvent être générées qu'avec la topologie en étoile où un coordinateur du PAN est présent. C'est ce dernier qui synchronise le PAN et gère les réservations de temps en envoyant des balises.

- *Structure de la super trame*

L'espace temporel entre deux trames balises est appelé super trame. La super trame comprennent une portion active (les nœuds peuvent émettre et recevoir) et une portion inactive (mode en ville). La portion active est divisée en 16 slots temporels de durées égales; le balise occupe toujours le slot 0 et permet la synchronisation de tous les nœuds à portée radio.

Cette partie active est généralement divisée en deux, une période avec contention CAP (Contention Access Period), où chaque nœud est en concurrence pour émettre, en utilisant le mécanisme CSMA-CA slotté et une période sans contention CFP (Contention Free Period). Durant la plage de CFP, le coordinateur PAN peut garantir des time-slots à un ou plusieurs dispositifs. Ces plages réservées sont appelées GTS (Guaranteed Time Slot), un GTS peut s'étendre sur plusieurs time-slots.

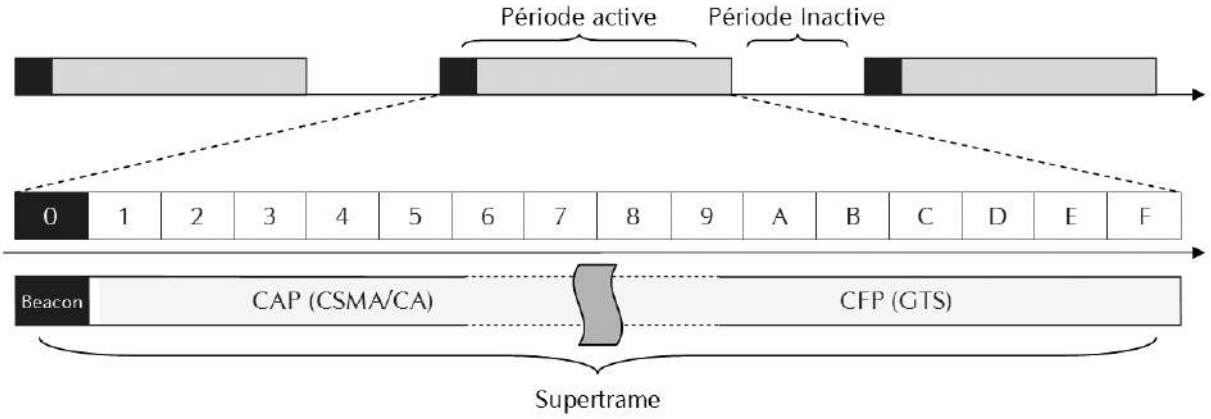


Figure II.11 : Représentation d'une supertrame IEEE 802.15.4

L'organisation de l'accès au médium par super trame permet les meilleures économies sur le plan énergétique,les nœuds du réseau se réveillent juste avant le slot 0 et se mettent à l'écoute. A la réception du balise, ils prennent connaissance de la structure de la super trame qui débute, (l'intervalle de temps entre l'envoi de deux messages balise par le coordinateur et durée active de la super trame), présence de données en attente, S'ils n'ont de données ni à émettre, ni à recevoir, ils peuvent somnoler jusqu'au balise suivant (mode en ville).[AVB11]

II.1.4. La sous-couche LLC

- *Structures de trames*

Les quatre types de trame proposés par 802.15.4 sont :

- données (data),
- Acquittement (ack),
- balise (beacon),
- Service (MAC command)

Ces quatre types de trames ont une structure commune :
En-tête MHR (MAC Header) comprend (Un champ contrôle de trame, Un champ numéro de séquence, Un champ d'adressage) et un champ MFR (MAC Footer) ou bien Une séquence de contrôle, un ou plusieurs champs propres au type de la trame (MAC payload) MSDU (MAC Service Data Unit).
La trame complète est appelée MPDU (MAC Protocol Data Unit)

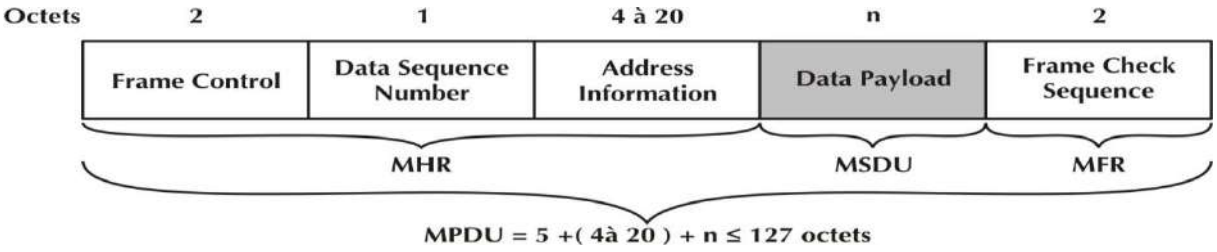


Figure II.12 : La structure générale d'une trame MAC de donnée

- *L'en-tête MHR*

  a) Le champ de contrôle de trame

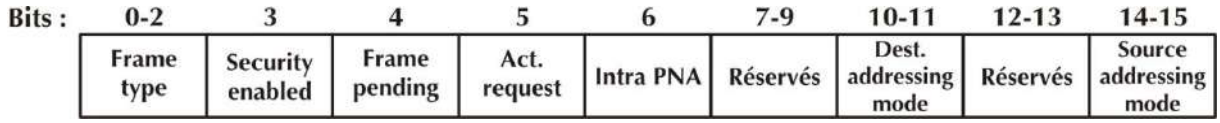


Figure II.13 : Format de la trame de contrôle

- Frame type (Le type de trame)(3 bits):
  - 000 Beacon
  - 001 Donnée
  - 010 Ack
  - 011 Commande.

- Security enabled (la sécurité est activée) (1 bit) : Si la trame MAC est chiffrée ou non. Une sécurité au niveau MAC peut être activée en mettant à 1 ce champ. La trame est alors protégée par cryptographie.
- Frame pending (1 bit) :

  Quand ce bit est actif, cela indique au destinataire que des données sont encore présentes pour lui.
- Ack. Request (demande d'acquittement) (1 bit) :

  Si la trame envoyée nécessite un acquittement.
- Intra PAN (Personal Area Network)(1 bit) :

  Ce bit permet d'indiquer si la trame doit être envoyée dans le même PAN (intraPAN)ou sur un autre PAN (inter PAN).
- Destination addressing mode (destination de mode adressage) (2 bits) :

  Ce champ permet de spécifier le type d'adressage de la destination.
- Source addressing mode (source de mode adressage) (2 bits)

  Ce champ permet de spécifier le type d'adressage de la source.

  Les valeurs du mode adressage sont:
  - 00 L'identificateur PAN et le champ d'adresse ne sont pas présents
  - 10 Le champ d'adresse contient un adressage court (16 bits)
  - 11 Le champ d'adresse contient un adressage étendu (64 bits)

b) Le champ de numéro de séquence :

Ce champ Peut avoir des significations différentes, suivant le type de la trame. Dans le cas d'une trame balise, ce champ spécifie le numéro de séquence du baliseBSN3 (BeaconSequenceNumber) ; ce numéro est choisi au hasard dans un premier temps par le coordinateur puis incrémenté à chaque balise.

Dans le cas des trames de données, acquittement ou service, ce champ spécifie le numéro de séquence des données DSN3 (Data SequenceNumber) ; ce numéro est propre à une communication d'une entité avec une autre.

c) Le champ d'adressage :

Le champ d'adressage est composé de 4 sous-champs :

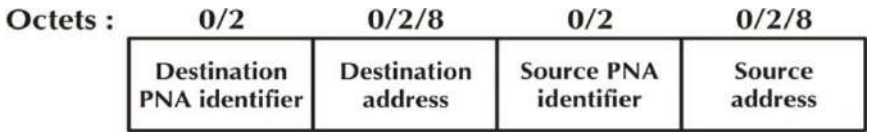


Figure II.14 : le champ d'adresse

- Identifiant de PAN destination :
  L'identifiant PAN de destination utilise 16 bits et correspond au numéro du PAN qui reçoit les trames.
- Adresse de destination :
  L'adresse de destination spécifie l'adresse à qui les trames sont envoyées. L'adresse peut être courte (16 bits) ou étendue (64 bits).
  L'adresse étendue est une adresse unique. L'adresse courte n'est utilisée qu'au sein d'un même PAN.
- Identifiant de PAN source :
  L'identifiant PAN source utilise 16 bits et correspond au numéro du PAN qui envoie les trames.
- Adresse source :
  L'adresse source spécifie l'adresse de laquelle les trames sont envoyées. L'adresse peut être courte (16 bits) ou étendue (64 bits).
- Le champ MFR (MAC Footer):
  Le champ FCS (Frame Check Sequence) effectue la détection d'erreurs. Il est basée sur un CRC 16 bits ITU-T. Il prend en compte toute la trame de niveau 2, depuis le champ de contrôle de trame jusqu'au la charge utile (payload).

  - *Les types de trame*
    a) *Données (data)*

La trame de données contient les données passées par la couche supérieure, C'est-à-dire la couche réseau. La structure de sa charge utile (MSDU) interne dépend donc de cette couche.

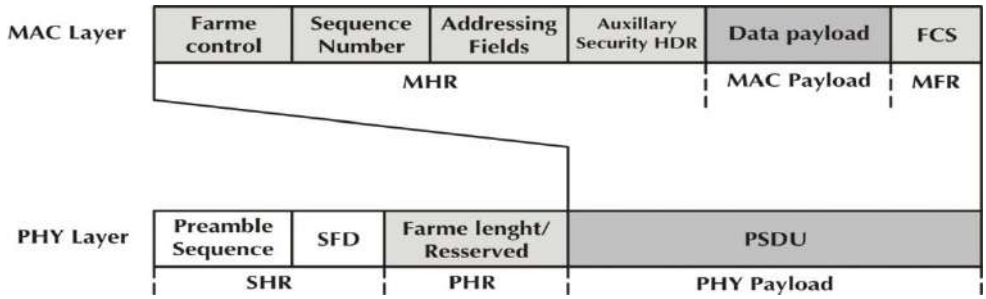


Figure II.15 : La structure d'une trame MAC de donnée

b) Acquittement (ack)

Une autre fonction de la couche MAC est d'acquitter la réception de données ou de commandes. C'est dans le champ « Frame Control » de l'en-tête de la trame que l'on indique s'il doit y avoir acquittement ou pas. La trame d'acquittement est envoyée immédiatement après la réception de la trame à acquitter.

La trame d'acquittement est la seule qui ne contient pas de champ payload.

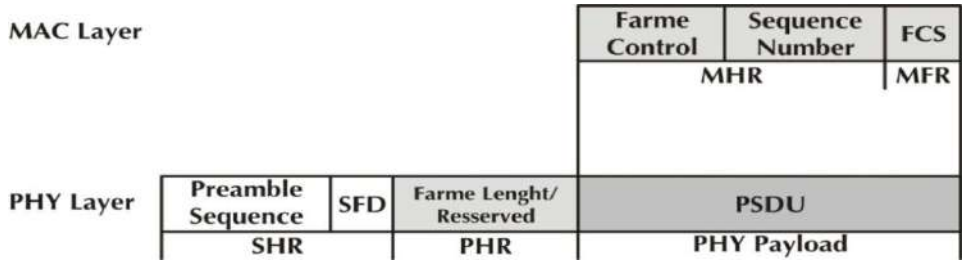


Figure II.16 : Structure d'une trame MAC d'acquittement

c) Service (MAC command)

Les trames de commande sont utilisées pour réaliser des demandes des différentes fonctionnalités MAC. La structure d'une trame de commande est présente à figure :

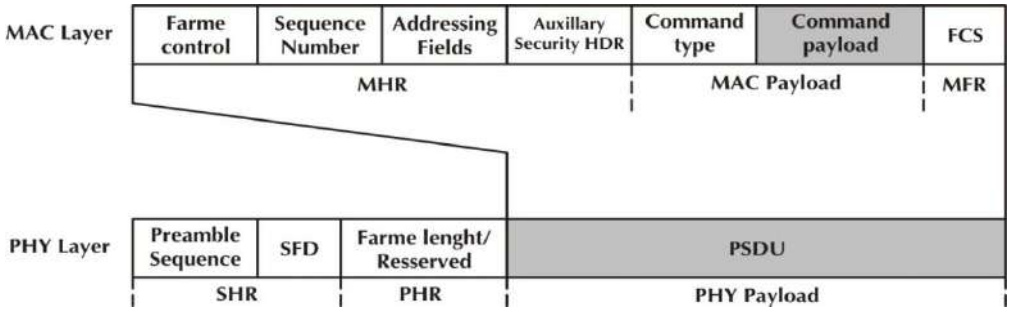


Figure II.17: Structure d'une trame MAC command

- Association Request (Demanded'association):
  Cette commande permet à un dispositif de faire une demande d'association à un coordinateur.
- Association Response(RéponseAssociation):
  Cette commande permet au coordinateur de communiquer les résultats de l'association au dispositif qui a fait la demande.
- Dis association Notification (La dissociationde notification) :
  Cette commande permet de savoir pourquoi il y a eu une dissociation
- Data Request (Demande de données):
  Cette commande est utilisée dans plusieurs cas différents. Tout d'abord dans un réseau « BeaconEnabled », elle est envoyée par un dispositif lorsqu'il a détecté par un Beacon reçu que des données sont en attente pour lui chez le coordinateur.
  Cette trame de commande est également utilisée lorsque le réseau est « Non BeaconEnabled » et que la couche supérieure du dispositif indique à la couche MAC de faire un « poll ». Et enfin, elle est employée durant la procédure d'association d'un dispositif au PAN.
- Orphan Notification :
  Cette commande est utilisée par un dispositif associé qui a perdu la synchronisation avec son coordinateur.
- BeaconRequet (Demande balise) :
  Cette commande est utilisée par un dispositif FFD afin de localiser les coordinateurs dans le POS durant un scan actif.
- GTS Request
  Cette commande est utilisée par un dispositif associé qui fait une demande pour allouer un nouveau GTS ou pour arrêter d'allouer un GTS existant.

d) balise (beacon)

La trame balise est envoyée par un coordinateur d'étoile. Elle contient des informations sur la structure de la super trame, sa durée effective, la durée de la période d'écoute obligatoire pour les entités synchronisées et le moment où commencera la suivante.

Cette trame indique également si la demande d'association au PAN est possible ou non, si la réservation de créneaux temporels (GTS) est possible et leur nombre éventuel.
La structure MAC d'une trame « Beacon » est visible à la Figure II.18.

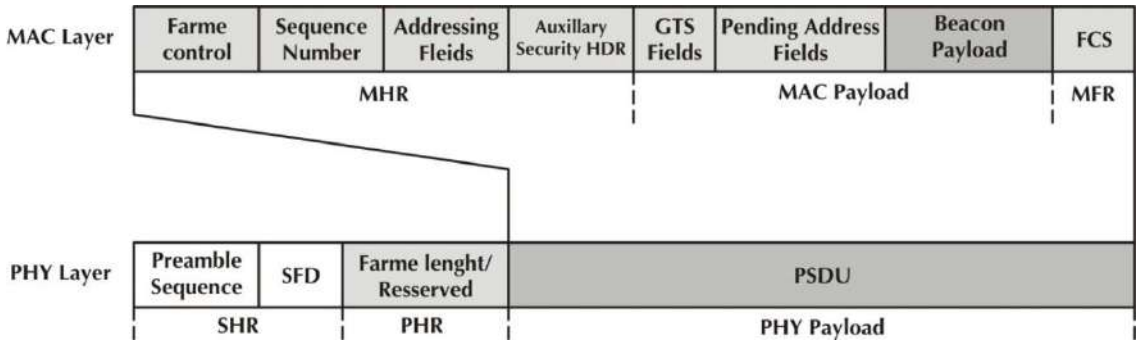


Figure II.18 : Structure d'une trame MAC balise

- SuperframeSpecification (2 octets)

  Ce champ apporte plusieurs informations sur la configuration de la Superframe permet de :

  - Déterminer l'intervalle des transmissions entre 2 Beacons
  - Indiquer que le réseau est synchronisé avec Beacons. Le mode de transmission Superframe (réseau « BeaconEnabled ») ou NON (réseau « Non BeaconEnabled »)
  - Connaître la durée du temps en nombre de symboles qu'une Superframe est active
  - D'arrêter le récepteur après une période d'inter-trame (IFS) de la trame Beacon.
  - Spécifier que c'est effectivement un coordinateur PAN qui a envoyé la trameBeacon.
  - permet d'indiquer au dispositif si le coordinateur accepte les demandes d'association au PAN.

- GTS Fields (k octets) GTS = guaranteed time slots

  C'est ce champ qui permet de faire des réservations de temps pour des applications ayant besoin de faibles latences et des débits soutenus (meilleure qualité de service).

- Pending Address Fields (m octets)

  On retrouve notamment le nombre d'adresse courte et le nombre d'adresse étendue qui sont présentes dans le champ « Addresslist »

  Contient la liste des adresses des dispositifs qui possède des données en attente chez le coordinateur. La liste commence par les adresses courtes suivies par les étendues.

- BeaconPayload (n octets)

II.2. Théorie de localisation

II.2.1. La localisation dans les RCSF

Parmi les méthodes de localisation dans les réseaux de capteurs nous distinguons entre deux catégories, les méthodes qui ne sont pas basées sur la distance inter-nœuds et d'autres qui y sont. Les premières sont celles qui ne calculent pas de distances entre voisins. Elles utilisent d'autres informations telles que la connectivité pour estimer la position des nœuds.

Les deuxièmes sont des méthodes qui estiment les distances entre les nœuds pour calculer les positions. Plusieurs techniques sont développées pour les estimations des distances entre les nœuds voisins. Parmi lesquelles nous trouvons celles qui sont basées sur les dispositifs radio. [AB MK 2003]

Une méthode de localisation dans les réseaux de senseurs est composée de deux parties : Estimation des distances et Dérivation des positions. [VHM 2007]

II.2.2. Estimation des distances

La précision de la localisation est fortement influencer par l'estimation de la distance. L'imprécision de l'estimation de la distance engendre une imprécision sur les positions des nœuds. Plusieurs techniques sont développées pour les estimations des distances entre les nœuds voisins. Parmi lesquelles nous trouvons celles qui sont basées sur les dispositifs radio, comme la méthode de la force du signal reçu « Received Signal Strength Indication (RSSI)», et la technique d'estimation de la distance par le nombre de sauts radios « Radio hop count ». D'autres techniques excite comme celles qui sont fondées sur l'utilisation d'autres matériels (microphones, etc.), un exemple de ces méthodes, c'est la technique de la différence entre les temps d'arrivée de deux signaux «Time Différence of Arrival (TDoA) », ainsi que celle qui estime l'angle d'arrivée du signal «Angle of Arrival (AoA) ». [AB MK 2003]

- *Time Difference of Arrival (TDoA)*

La technique « TDoA » requiert d'autres matériels et elle n'est pas basée sur le signal radio seulement. En effet, chaque nœud devrait être équipé d'un haut-parleur et d'un micron phone. Certains systèmes utilisent les ultrasons alors que d'autres utilisent des fréquences audibles. Toutefois, la technique mathématique est indépendante du matériel particulier.

L'émetteur envoie tout d'abord un message radio. Il attend un intervalle de temps fixe, $t/_{delai}$ (qui peut être zéro), et ensuite produit un « chirp » fixe sur son haut-parleur. Un nœud écouteur entend le signal radio, il enregistre l'heure actuelle, $t/_{radio}$, puis il allume son microphone. Lorsque son micro détecte le « chirp », le nœud garde de nouveau l'heure actuelle $t/_{son}$.

Une fois il a les trois instants $t/_{delai}$, $t/_{radio}$ et $t/_{son}$, le nœud écouteur calcule sa distance d à l'émetteur en se basant sur le fait que les ondes radio propagent beaucoup plus rapidement que le sont dans l'air.

$$D = (v/_{radio} - v/_{son}) \times (t/_{son} - t/_{radio} - t/_{delai}) \quad \text{(II. 1)}$$

Où $v/_{radio}$ et $v/_{son}$ désignent les vitesses de propagation des ondes radio et du son dans l'air.

La méthode « TDoA » est très précise dans des conditions de propagation en ligne droite et sans obstacles. Elle est plus performante dans des endroits sans écho, et quand les hautparleurs et microphones sont bien calibrés les uns aux autres. Dans certains cas la précision de « TDoA » peut être de l'ordre de quelques centimètres pour une distance supérieure à dix mètres. [AB MK 2003]

- *Angle of Arrival (AoA):*

Cette méthode consiste à déni une direction entre deux nœuds. La direction (l'angle) est généralement recueillie par la radio et un ensemble de microphones, qui permettent à un nœud écouteur de déterminer sa direction par rapport à l'émetteur. Il est également possible de la recueillir par le moyen d'une communication optique.

Dans cette technique, on a besoin de plusieurs microphones (3 ou 4) spatialement séparés qui entendent un seul signal transmis. En analysant la phase ou la différence entre les temps d'arrivée du signal aux différents microphones, il est possible de découvrir l'angle d'arrivée du signal.

Ces méthodes peuvent obtenir une précision de l'ordre de quelques degrés. Malheureusement, elles exigent plus de matériels (un haut-parleur et plusieurs microphones) que la technique « TDoA », donc elle est plus coûteuse et les nœuds tendent à être plus volumineux. [AB MK 2003]

- *La qualité du lien :*

La mesure du LQI (Link Quality Indicator) doit être effectuée pour chaque paquet reçu, et le résultat doit être signalé à la couche MAC, Le minimum et le maximum des valeurs du LQI (0 et 255) devraient être associé à la plus basse et la plus haute qualité des signaux détectables par le récepteur. Les valeurs LQI doivent être uniformément réparties entre ces deux limites. [BRK 2009]

- *La puissance du signal à la réception (RSSI: Received Signal StrengthIndicator) :*

Le RSSI est la mesure de la puissance de signal reçu par un équipement. La perte de puissance entre l'émetteur et le récepteur est proportionnelle à la distance parcourue. La mesure RSSI propose une estimation de la distance mais pas son axe directeur. [CBASTI2008]

Quand on cherche à effectuer une transmission sans fils, on veut pouvoir évaluer la puissance captée par un récepteur en fonction de la puissance envoyée par un émetteur à une distance donnée. C'est le but de l'équation du bilan de liaison. Ce bilan tient compte de la puissance fournie, du gain des antennes, de la distance et des pertes. Si le milieu de propagation est homogène et isotrope, l'intensité diminue selon le carré de la distance. [YD2008]

- *Équation du bilan de liaison :*

$$Prssi = \left(\frac{\lambda}{4 * \pi * r}\right)^2 GeGrPe \quad (\text{II. 2})$$

Avec :

$Prssi$: Valeur du RSSI mesurée (en watt)

λ : $longueur\ d'onde$

G_r : $gain\ de\ l'antenne\ réceptrice$

G_e : $gain\ de\ l'antenne\ d'emission$

P_e: $puissance\ de\ l'émission$

$r : distance\ entre\ émetteur\ et\ récepteur$

$n : l'indice\ ou\ l'exposant\ de\ la\ perte\ de\ signal\ de\ propagation, Dépond\ du\ milieu\ et\ de\ l'atmosphère\ 2 \leq n \leq 6\ (valeur\ de\ l'indicede\ n\ dans\ l'atmosphère\ n = 2)$

Un modèle très répandu existe pour représenter le RSSI en fonction de la distance :

- *Le modèle log-normal shadowing :*

$$RSSI(d) = P_T - PL(d_0) - 10\,\eta\, log_{10}\frac{d}{d_0} + X_\delta \quad (\text{II.3})$$

Où $P_T$est la puissance de transmission, $PL(d_0)$ est la perte de signal pour une distance de référence d_0 et η est l'exposant de la perte de signal. η dépend du milieu de propagation $2 \leq \eta \leq 6$. η =2 (valeur de l'indice η dans l'atmosphère).

Les variations aléatoires dans les RSSI sont exprimées comme une variable aléatoire gaussienne de moyenne 0 et de variance δ^2 : $X_\delta \sim N(0, \delta^2)$

Toutes les puissances sont données en dBm et toutes les distances en mètres. [VHM 2007]

II.2.3. Critères de localisation

Un algorithme de localisation est évalué selon une liste de critères dont nous citons :

- *Précision de la localisation :*

L'erreur de la localisation est souvent définit comme étant, la distance euclidienne entre les vraies positions des nœuds et celles estimées par l'algorithme.

L'objectif d'un algorithme de localisation est de minimiser cette erreur pour augmenter la précision de localisation. Généralement, cette imprécision vient de l'imprécision des méthodes d'estimation de la distance. Les obstacles environnementaux et les terrains irréguliers peuvent influencer la précision des algorithmes de localisation. [AB MK 2003]

- *Contraintes énergétiques :*

La seule source d'énergie d'un nœud capteur est sa batterie. Pour cela, dans les réseaux de capteurs, une gestion de l'énergie très économique est nécessaire. Comme le facteur dominant de la consommation d'énergie est la communication radio, il faut trouver un algorithme de localisation qui communique le moins possible via la radio. [AB MK 2003]

- *Contraintes de ressources :*

Les nœuds capteurs possèdent généralement des ressources très limitées. Ils possèdent de faibles processeurs et de petites mémoires, ce qui rend les grands calculs irréalisables. Par conséquent, un algorithme de localisation doit être simple et non complexe et son développement n'exige pas de grands calculs ni de grande capacité de stockage de mémoire. De plus, nous ajoutons la rapidité de l'algorithme. Avec quelle rapidité le système de localisation renvoie-t-il les positions des nœuds? Ceci est particulièrement important, surtout lors du traçage d'un chemin d'une cible. [AB MK 2003]

- *Passage à l'échelle :*

Les réseaux de capteurs sont généralement envisagés à large échelle, avec des centaines voire des milliers de nœuds. La question qui se pose, est-ce qu'un algorithme de localisation fonctionne sur un réseau de plusieurs milliers de nœuds? Et si oui, est-il toujours aussi efficace? Ce critère est en rapport avec le fait qu'un algorithme soit implémentable de façon distribuée ou non. [AB MK 2003]

Pratiquement, il est impossible de tenir compte de tous ces critères lors du développement d'un algorithme de localisation. Néanmoins, il peut être intéressant de les garder à l'esprit afin de pouvoir rendre notre méthode meilleure selon tel ou tel critère. [AB M K 2003]

II.3. Dérivation des positions

II.3. 1 Localisation d'un capteur par triangulation :

Nous expliquons ici l'algorithme de triangulation, qui permet de connaître les coordonnées d'un capteur, en connaissant les coordonnées de 3 autres capteurs et sa distance par rapport à chacun d'eux. Les cercles tracés sont les cercles centrés sur la position des capteurs avec un rayon qui représente la distance correspondant au RSSI reçu.

Puisqu'en pratique la distance calculée par les capteurs ne sera jamais exacte, il est impossible de tomber sur le cas de la Figure II.19ci-contre et de résoudre simplement le système pour trouver les coordonnées du point d'intersection.

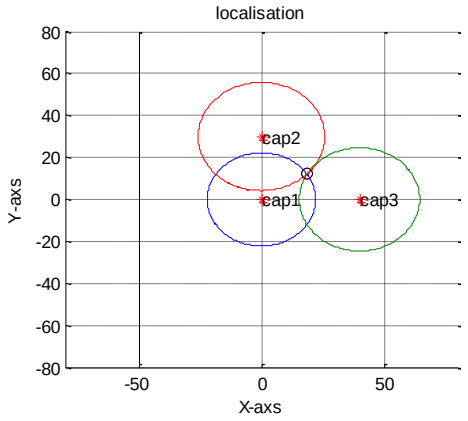
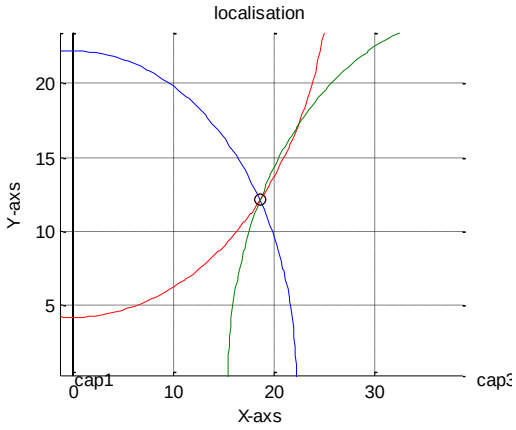


Figure II.19 : Cas idéale d'estimation



FigureII.20: Zoom de la Figure II.19

La position estimée du capteur *I* (inconnu) est le barycentre de l'intersection des 3 cercles.

En pratique, la solution retenue est la suivante :

1. On calcule les deux points d'intersection de deux cercles s'ils existent.
2. On choisit le point le plus près du troisième cercle.
3. On fait celà pour les 3 cercles de façon à obtenir 1, 2 ou 3 points. Il est à noter ici qu'il est possible que certains cercles n'aient aucun point d'intersection.
4. On calcule le barycentre des 1, 2, ou 3 (Figure II.21) points trouvés qu'on valide comme la coordonnée du capteur.

On suppose qu'il est impossible de n'obtenir aucun point d'intersection,cela voudrait dire quec'est une mauvaise localisation. [CBASTI2008]

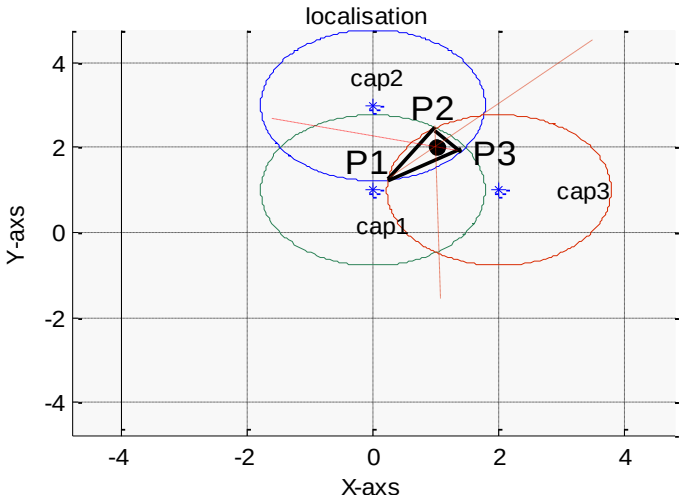


Figure II.21 : Cas où l'intersection des trois cercles est une surface.

Il existe des techniques mathématique pour le calcul du barycentre d'une surface pareille, certain suppose le barycentre du triangle de sommets P1, P2 et P3 et d'autre suppose le triangle de sommets les centres des trois cercles. Le problème revient à calculer le barycentre d'un triangle.

Cas particuliers :

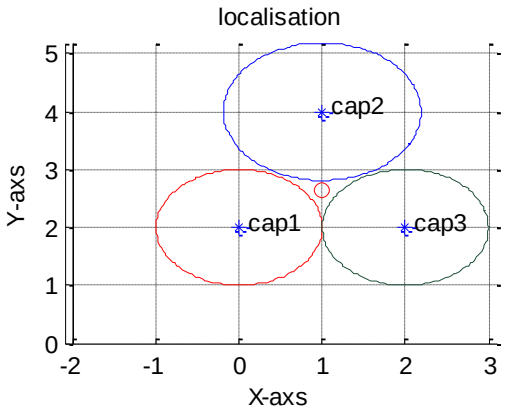
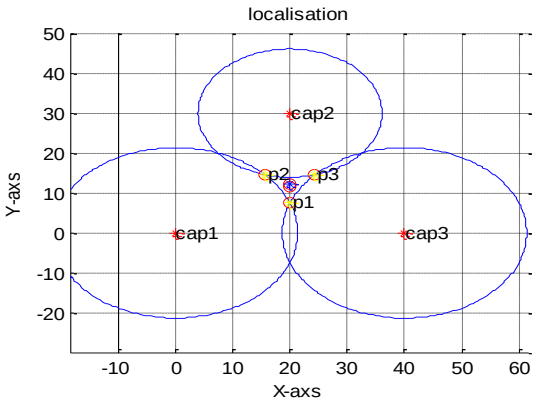


Figure II.22: Cas où l'intersection des trois cercles est une surface



FigureII.23: Cas les trois cercles se coupent mais pas de manière précise.

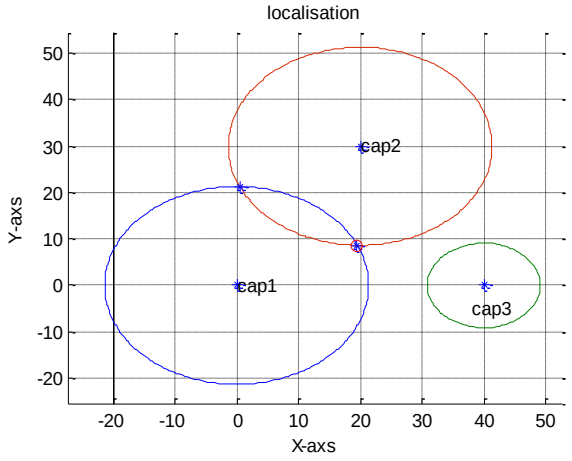
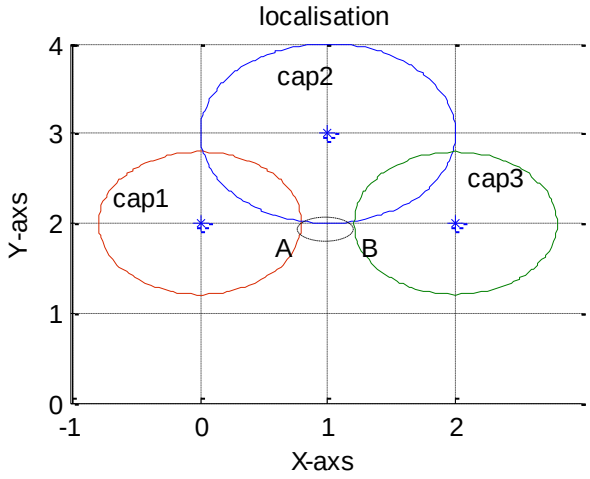


Figure II.24: Cas où seulement inter section de 2 cercles



FigureII.25 : Cas où seulement 2 cercles se coupent

Cas de (Figure II.25) : On calcule les deux points d'intersection de deux cercles. La position estimée du capteur, est le point le plus près du troisième cercle.

Cas de (Figure II.26) : le point estimé par triangulation sur l'arc [AB].

II.3.2. Localisation d'un capteur par multilatération:

L'algorithme de multilatération. C'est l'algorithme utilisé par le GPS. Plusieurs autres systèmes de localisation utilisent également des variantes de multilatération. Il semblait donc intéressant de l'étudier dans le cas de la localisation des réseaux de senseurs sans fil.

La multilatération nous permet de retrouver les coordonnées d'un nœud à partir des coordonnées d'un certain nombre d'ancres et des distances entre ces ancres et le nœud cible à localiser. [VHM 2007]

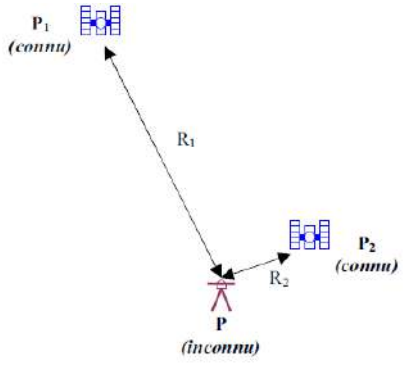
-Principe de multilatération :

Pour expliquer le principe de multilatération, il est plus simple de considérer un problème en deux dimensions, comme dans le cas d'un levé planimétrique (topométrie 2D).

Le but est alors de déterminer la position d'un objet P à partir des distances géométriques séparant le point P de deux points connus P1 et P2 (figure a).

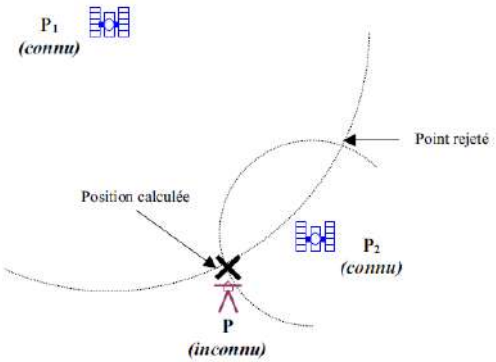
Comme indiqué dans la (figureb)en mesurant les distances P P_1 et P P_2 on peut définir deux cercles de rayons R1 et R2 centrés respectivementen P_1 et P_2.

En pratique, les coordonnées des deux points d'intersection sont obtenues en exprimant les distances géométriques P P1 et P P2 en fonction des coordonnées cartésiennes des points P, P1 et P2. Le système à deux équations et deux inconnues obtenu est alors résolu en utilisant par exemple la théorie des moindres carres après linéarisation autour d'une position approchée du point P. [ST DU2003]



Mesure de deux distances Vers deux points connus

(a)



Calcul de l'intersection des cercles

(b)

Figure II.26 :Principe de multilatération

Le récepteur mesure la distance le séparant de deux points connus (a). Chaque distance permet de définir deux cercles centrés sur les points P1 et P2 (b). Pour calculer la position du récepteur, il suffit de déterminer l'intersection des deux cercles.

II.3.3 Théorie de multilatération :

Soit une cible a dont on veut trouver la position$\widehat{X_a}$, et soit m ancres i dont nous connaissons les positions $x_i \in IR^p$, 1 ≤i ≤m. (IR^pun espace euclidien à p dimensions.)

Nous supposons que nous connaissons aussi une estimation des distancesd_{ia}, 1 ≤i ≤m entre chaque ancre i et le nœud a.

Nous pouvons alors poser :

$$(X_{11} - X_{a1})^2 + (X_{12} - X_{a2})^2 + \ldots + \left(X_{1p} - X_{ap}\right)^2 = d_{1a}^2$$

.
.
.

$$(X_{m1} - X_{a1})^2 + (X_{m2} - X_{a2})^2 + \ldots + \left(X_{1p} - X_{ap}\right)^2 = d_{ma}^2$$

Le système peut être linéarisé en soustrayant la dernière équation des m −1 équations précédentes

$$X_{11}^2 - X_{m1}^2 - 2(X_{11} - X_{m1})X_{a1}$$
$$+ X_{12}^2 - X_{m2}^2 - 2(X_{12} - X_{m2})X_{a2}$$

. . .

$$X_{1p}^2 - X_{mp}^2 - 2\left(X_{1p} - X_{mp}\right)X_{ap} = d_{1a}^2 - d_{ma}^2$$

.

.

.

$$X_{(m-1)1}^2 - X_{m1}^2 - 2\left(X_{(m-1)1} - X_{m1}\right)X_{a1}$$

$$+ X_{(m-1)2}^2 - X_{m2}^2 - 2\left(X_{(m-1)2} - X_{m2}\right)X_{a2}$$

+ . . .

$$+ X_{(m-1)p}^2 - X_{mp}^2 - 2\left(X_{(m-1)p} - X_{mp}\right)X_{ap} = d_{(m-1)a}^2 - d_{ma}^2$$

En réordonnant les termes, nous obtenons un système d'équations linéaires de la forme :

Ax = *b* où :

$$A=\begin{bmatrix} 2(x_{11}-x_{m1}) & \cdots & 2(x_{1p}-x_{mp}) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 2(x_{(m-1)1}-x_{m1}) & \cdots & 2(x_{(m-1)p}-x_{mp}) \end{bmatrix}$$

$$b=\begin{bmatrix} x^2{}_{11}-x^2{}_{m1}+ & \cdots & +x^2{}_{1p}-x^2{}_{mp}+\hat{d}^2{}_{ma}-\hat{d}^2{}_{1a} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x^2{}_{(m-1)1}-x^2{}_{m1}+ & \cdots & +x^2{}_{(m-1)p}-x^2{}_{mp}+\hat{d}^2{}_{ma}-\hat{d}^2{}_{(m-1)a} \end{bmatrix}$$

Comme nous avons des erreurs dans les estimations de distances, nous ne pouvons pas trouver de solution exacte à ce système d'équations. La solution la plus proche (au sens des moindres carrés) de la solution exacte est obtenue en minimisant$(A_x - b)^T \times (A_x - b)$.[VHM01]

Et donc

$$\widehat{X_a} = argmin_x (A_x - b)^T \times (A_x - b) = (A^T \times A)^{-1} \times A^T \times b$$

Où $\widehat{X_a} = [X_{a1}\ ;\ X_{a2}\ ;\ \ldots ;\ X_{ap}]$

C'est-à-dire notre estimation de la position du nœud *a*.

Le processus peut être recommencé avec tous les nœuds inconnus du réseau. Nous obtenons ainsi les positions de tous les nœuds dans le réseau. [VHM2007]

II.3.4 Comparaisons quantitative de la précision des algorithmes de localisation

Soit $\boldsymbol{X_i}$la position du nœud i obtenue par une certaine méthode de localisation L'estimation de l'erreur de localisation est donnée par : (cas de 3 capteur)

$$E_{RMSE}^{pos} = \sqrt{\sum_{i=1}^{(3)} \frac{(\hat{x}_i - X_i)^2}{3}} \text{ (II. 3)}$$

- ✓ *Illustration :*

Nous avons trois capteurs ancres (X_1, X_2 et X_3) et un quatrième capteur cible x_4. Les distance qui sépare les capteurs ancres du capteur cible sont : d_{14}= = 1 .41, d_{24}= = 2, d_{34}= 1.41

Ses coordonnées sont respectivement :X_1= (1, 2), X_2 = (0, 1),X_3= (1, 0).

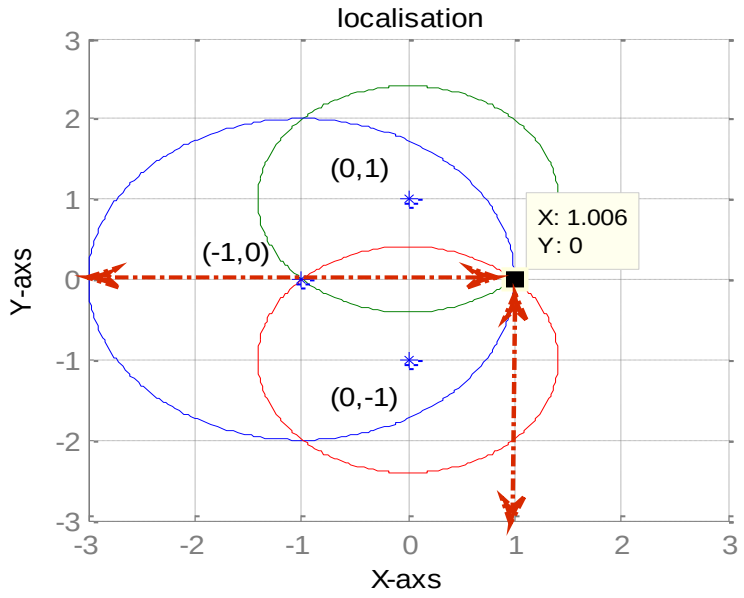


Figure II.27 : exemple de localisation par multilatération à base du 3 Capteurs

Nous centrons d'abord les positions et obtenons les nouvelles coordonnées :

$X_1 = (0, 1)$; $X_2 = (-1, 0)$ et $X_3 = (0, -1)$. Ce que nous cherchons est :

Les coordonnées de $X_4 = (X_{41}, X_{42})$.

Si nous partons de l'équation 2.8 et que nous remplaçons les valeurs que nous avons :

$(0 - X_{41})^2 + (1 - X_{42})^2 = (1, 41)^2 = 2$

$(-1 - X_{41})^2 + (0 - X_{42})^2 = (2)^2 = 4$

$(0 - X_{41})^2 + (-1 - X_{42}))^2 = (1, 41)^2 = 2$

Ceci à pour A et b :

$$A = \begin{bmatrix} 2(0-0) & 2(1+1) \\ 2(-1-0) & 2(0+1) \end{bmatrix} \begin{vmatrix} 0 & 4 \\ -2 & 2 \end{vmatrix} =$$

$$b = \begin{vmatrix} 0^2 - 0^2 + 1^2 - (-1)^2 + 1{,}41^2 - 1{,}41^2 \\ (-1)^2 - 0^2 + 0^2 - (-1)^2 + 1{,}41^2 - 2^2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 \\ 2 \end{vmatrix}$$

Le système est :

$\begin{vmatrix} 0 & 4 \\ -2 & 2 \end{vmatrix} * \begin{vmatrix} x_{41} \\ x_{42} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 \\ 2 \end{vmatrix}$ qui donne : $0x_{41} + 4x_{42} = 0$ et $-2x_{41} + 2x_{42} = -2$

La solution trouvée est $x_{41} = 1$ et $x_{42} = 0$.

Exemple : cas de localisation on utilisant 4 capteurs :

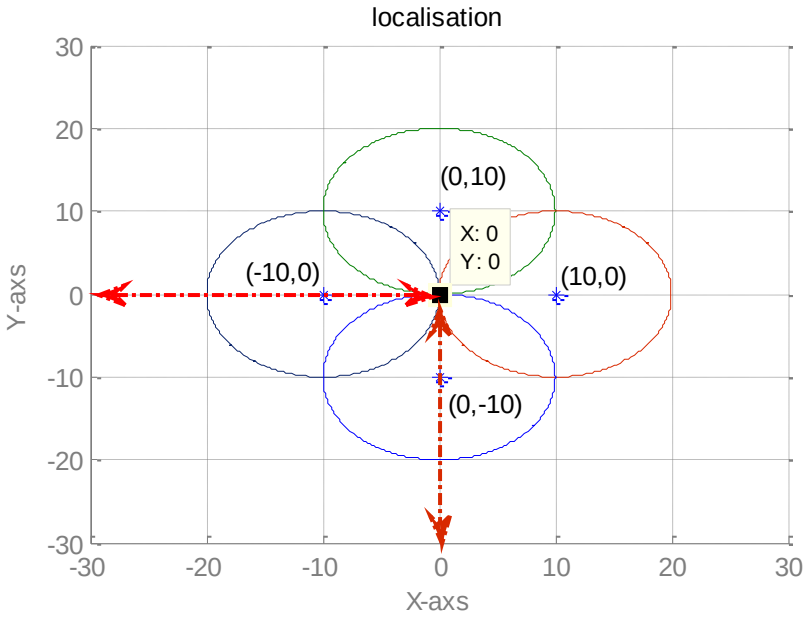


Figure II.28: Exemple de localisation par multilatération à base du 4Capteurs

X_1= (-10, 0) ; X_2 = (0, 10) et X_3 = (10, 0) ; X_4 = (0, −10). Ce que nous cherchons est :

Les coordonnées de $X_5 = (X_{51}, X_{52})$.

$(-10 - X_{51})^2 + (0 - X_{52})^2 = (10)^2 = 100$

$(0 - X_{51})^2 + (10 - X_{52})^2 = (10)^2 = 100$

$(10 - X_{51})^2 + (0 - X_{52})^2 = (10)^2 = 100$

$(0 - X_{51})^2 + (-10 - X_{52})^2 = (10)^2 = 100$

Ceci à pour A et b :

$$A=\begin{bmatrix} 2(-10+0) & 2(0+10) \\ 2(0-0) & 2(10+10) \\ 2(10-0) & 2(0+10) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -20 & 20 \\ 0 & 40 \\ 20 & 20 \end{bmatrix}$$

$$b=\begin{bmatrix} (10)^2-(0)^2+(0)^2-(10)^2+(10)^2-(10)^2 \\ (0)^2-(0)^2+(10)^2-(10)^2++(10)^2-(10)^2 \\ (10)^2-(0)^2+(0)^2-(10)^2+(10)^2+(10)^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Le système est :

$$\begin{bmatrix} -20 & 20 \\ 0 & 40 \\ 20 & 20 \end{bmatrix} * \begin{vmatrix} x_{51} \\ x_{52} \end{vmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$ =qui donne : $-20x_{51} + 20x_{52} =$ et : $0x_{51} + 40x_{52} = 0$

et : $20x_{51} + 20x_{52} = 0$ La solution trouvée est x_{51} =0 et x_{52}=0.

II.4. Conclusion :

Ce chapitre m'a permis d'étudier les différentes problématique lies a la localisation des nœuds dans les réseau de capteurs sans fil, et les méthodes de résolution du problème de localisation. Au niveau de transmission, m'a permis de connu l'architecture de protocole zigbee.

Chapitre III

Résultats pratiques

III.1 Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons présenter le kit du développement CC2530ZDK (ZigbeeDevelopment Kit) de Texas Instruments et leur configuration, ensuite nous allons présenter les résultats des expériences pratiques pour les étapes de localisation, l'estimation des distances, et dérivation des positions. Ont introduisant aussi l'interface graphique utilisée dans la simulation.

- *Estimation des distances :*

  Le travail dans cette partie consiste à trouver un modèle mathématique proche de celui de l'environnement, et qui nous fournit une relation entre la puissance du signal reçu par le capteur, et la distance qui lui sépare du capteur émetteur.

Ce modèle mathématique sera utilisé par la suite pour estimer les distances inter-capteurs afin de dériver les positions des capteurs déployés dans le réseau.

On fait ça pour des différentes valeurs de puissance, et de fréquences.

- *Dérivation des positions :*

Dans cette partie, nous avons testé deux algorithmes de dérivation des positions (triangulation et multilatération), que nous avons programmésà l'aide du langage de calcul scientifique MATLAB selon la théorie détaillée dans le deuxième chapitre.

L'utilisation des résultats pratique de calculs du RSSI on utilisant le kit CC2530ZDK, nous permettons de faire une comparaison entre les deux méthodes de localisation on calcule les erreurs d'estimation engendrée par l'influence de la fréquence et de la puissance de transmission.

III.2. Hardware:

Le kit CC2530ZDKest conçu pour profiter de toute la puissance des éléments ZigBee et ZigBee PRO disponibles sur le marché aujourd'hui. Le kit est basé sur la seconde génération de circuit SoC 2.4GHz conforme IEEE 802.15.4. (CC2530), Il contient tous les outils nécessaires hardware et software, pour construire un produit conforme ZigBee.

Le kit CC2530ZDK comprend :

- Un module d'évaluation basé sur le CC2530 (Figure III.3), inclus la partie transmission radio fréquence. Le module peut être branché sur le SmartRF05EB.
- Deux cartes de développement SmartRF05EB (Figure III.2) qui représente la carte principale dans le kit avec un large éventail d'interfaces utilisateur.
- 5 modules SmartRFBB qui peut être utilisé comme une alternative à l'EB, offrant un nœud autonome lorsque le CC2530EM est connecté.
- Un D'ongle USB, les câbles, et les antennes.



Figure III.1 : Le kit CC2530ZDK



Figure III.2: smartRF05EB

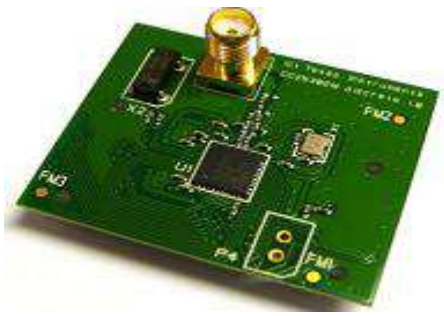


Figure III.3: CC2530 Evaluation Module

III.3. Configuration de kit CC2530ZDK

Les 2 capteurs (émetteur Figure III.4- récepteur figure III.5) sont placés en ligne droite et en visibilité directe selon la configuration suivante :

- Nombre de paquet envoyé : 1000 paquets ;
- La vitesse de transfert des paquets : 100 paquet /s ;
- Les puissances de transmission possible : -3 dBm, 0 dBm, 04 dBm ;
- Les Canaux choisi: C_{11} (2405 Mhz), C_{18} (2440 MHz), C_{26} (2480 Mhz) ;
- La valeur RSSI afficher = La moyenne des valeurs de RSSI des 32 derniers paquets.



Figure III.4: mode transmetteur



Figure III.5: mode récepteur

III.4. Problématique: estimation de distance

Il est connu que l'atténuation de la puissance d'un signal entre un point émetteur et un récepteur est proportionnel à l'inverse du carrée de la distance ($1/d^2$) parcouru par le signal. Voir la formule (II. 2)

Cette atténuation influencée par la puissance et la fréquence d'émission, ainsi les différents phénomènes de multi trajet, donc le choix du meilleur canal et la bonne fréquence son nécessaire pour minimiser l'erreur, c'est à dire augmenté la précision de l'estimation de distance.

Afin d'améliorer la précision de la localisation il faut réaliser un modèle d'atténuation le plus proche de celui de l'environnement dans lequel se trouve les capteurs.

III.5. Scénarios de l'expérience de l'Estimation des distances :

On fait une série de mesure de la puissance du signal reçu par un capteur récepteur pour des différentes distances et dans le même environnement pour pouvoir en faire déduire la formule (III.1) et voir si on peut dire que la puissance RSSI était bien issue d'une formule du type d'équation du bilan de liaison. Pour ce cas-là, 3 étapes son nécessaire pour valider l'équation :

- Evolution du RSSI en fonction de la distance ;

- Linéarisation et interpolation des valeurs des RSSI mesurés ;
- Validation de l'équation du bilan de liaison *d = f* (*RSSI*).



Figure III.6 : Scénarios de l'expérience d'estimation de la distance

III.6. La méthode de traitement (prouver l'équation du billon de liaison) :

III.6.1 Modélisation de l'atténuation *RSSI = f(d)*

$$Prssi = \left(\frac{\lambda}{4 * \pi * r}\right)^2 GeGrPe \quad \text{(III. 2)}$$

$$Prssi(dBm) = 10\log\left[\left(\frac{\lambda}{4 * \pi * d}\right)^2 GeGrPe\right] \quad \text{(III. 1)}$$

$$Prssi(dBm) = -20\log(d) + 10\log\left[\left(\frac{\lambda}{4 * \pi}\right)^2 GeGrPe\right] \quad \text{(III. 2)}$$

$$10\log\left[\left(\frac{\lambda}{4 * \pi}\right)^2 GeGrPe\right] = ConstanteK \quad \text{(III. 3)}$$

$$Prssi(dBm) = -20\log(d) + K \quad \text{(III. 4)}$$

Dans le cas général :

$$RSSI = A.\log(d) + K \quad \text{(III. 5)}$$

Implique que : $d = f(RSSI10^{\left[\frac{RSSI-K}{A}\right]})$ (III.6)

Avec A= -n∗(10) (III.7)

III.6.2Evolution du RSSI en fonction de la distance dans un terrain dégagé

On trace la courbe *RSSI* = *f*(*d*) et modélisé l'atténuation sous la forme d'une équation d'exponentielle.

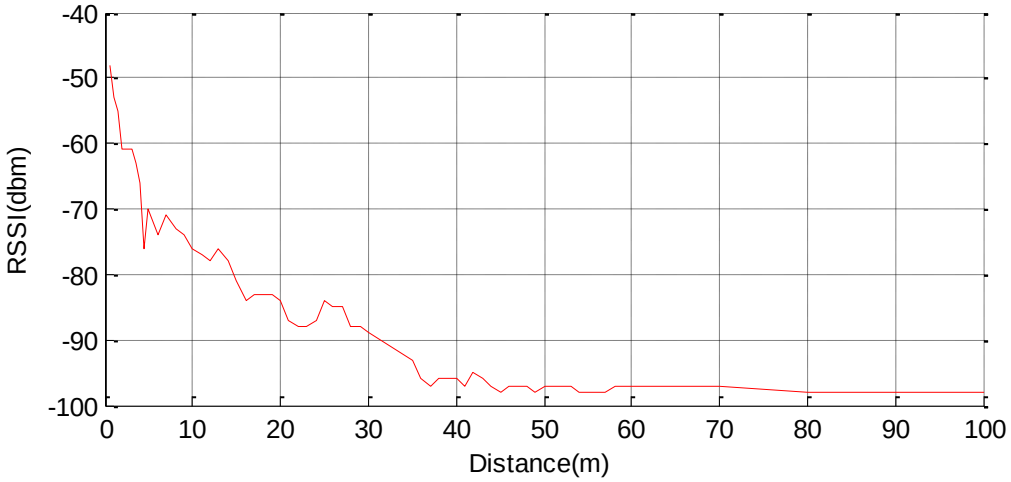


Figure III.7 : atténuation de RSSI en fonction de la distance

III.6.3 Linéarisation et interpolation des valeurs des *RSSI* mesurés :

On trace la courbe *RSSI=f* (*log*(*d*)) à l'aide des valeurs du RSSI mesurés pour obtenir une droite linéaire de pente négative et déduire la formule exacte du *RSSI* en fonction du logarithme de la distance (*d*).

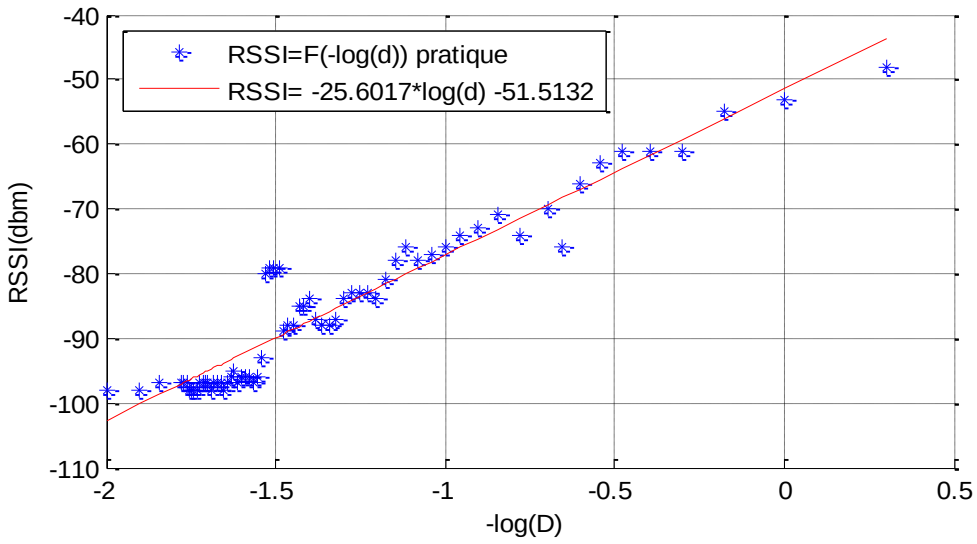


Figure III.8 : linéarisation et interpolation des valeurs des RSSI mesurés

Le code de programme sur Annexe E

Interpolation de différentes valeurs relevées permet de tirer une fonction proche du model réel. Après linéarisation et interpolation on a aboutis à une fonction linéaire de la même forme que celle de l'équation (III.5):

Pour l'exemple de la (figure III.8) on obtient les valeurs A= 24.3676 et K= -56.6041 dBm

L'équation devient :$RSSI$ = -24.3676∗log(d) - 56.6041 (dBm)

On déduire l'équation de distance :D = f(RSSI) = $10^{[\frac{-56.6041-RSSI}{24.3676}]}$ (m) (III.10)

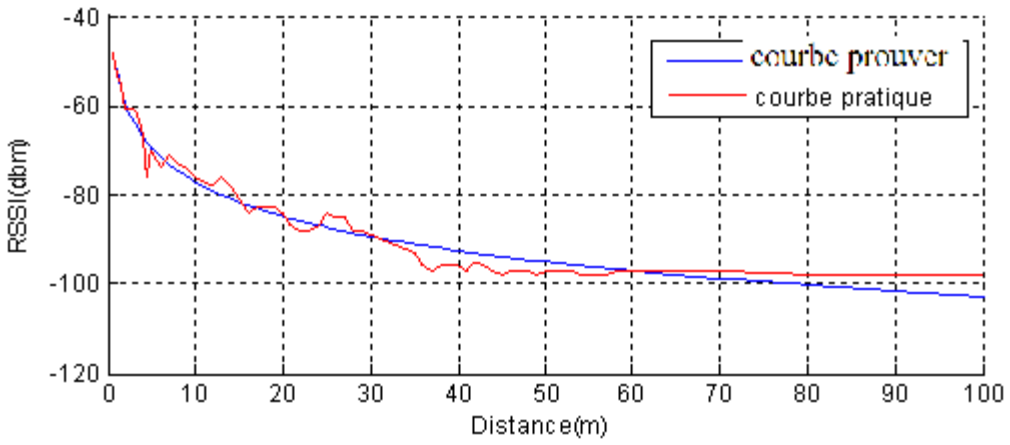


Figure III.9: comparaison de la courbe pratique et la courbe prouver

Par la suite on suit les mêmes étapes de l'exemple précédent pour déduire le model correspond à chaque expérience.

Le code de programme sur Annexe E

III.7. Résultat des expériences pratique

L'utilisation du kit CC2530ZDK nous permettons de collecter les résultats représenté sur les figures suivantes, ont faisant fixer la puissance de transmission et variant les fréquences, et mesurer le RSSI sur différents distance le long d'un trajet de 100 m en vision direct.

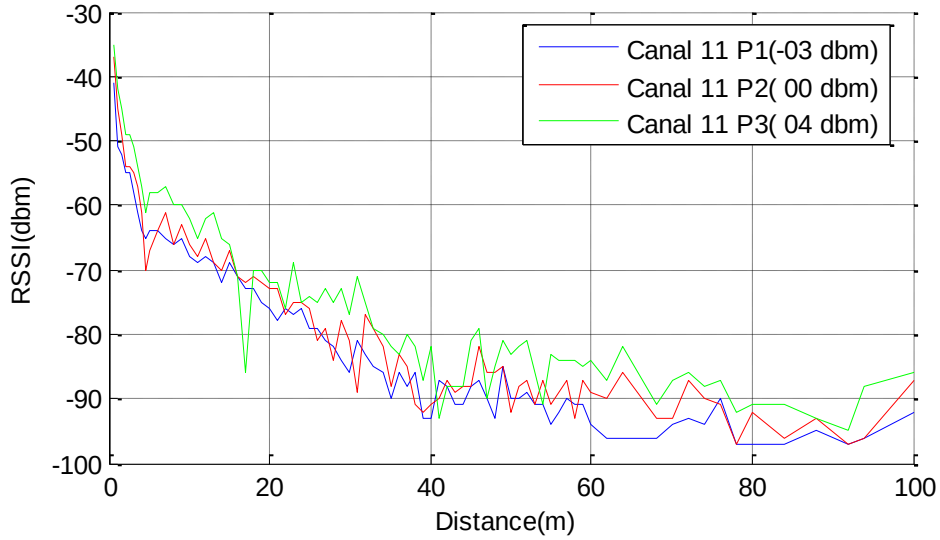


Figure III.10:RSSI en fonction de la distance Canal 11 tous les puissances (-3, 0,4) dbm

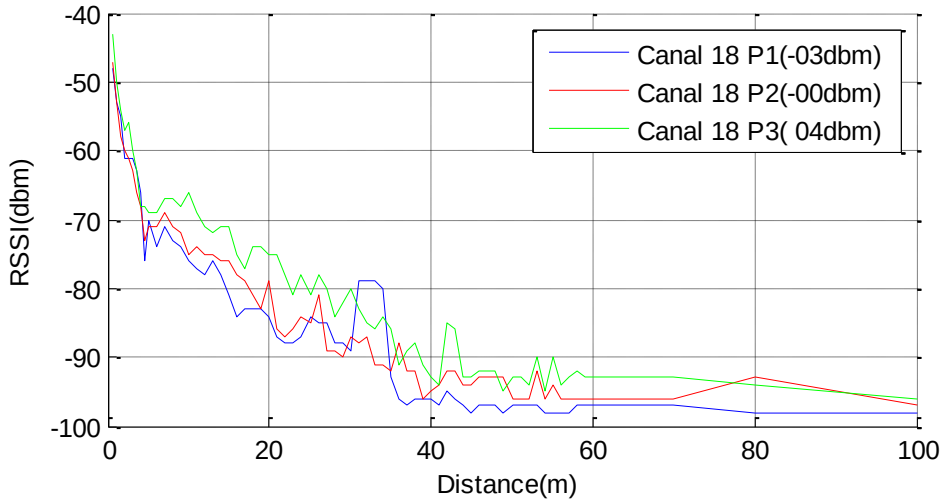


Figure III.11:RSSI en fonction de la distance Canal 18 tous les puissances (-3, 0,4) dbm

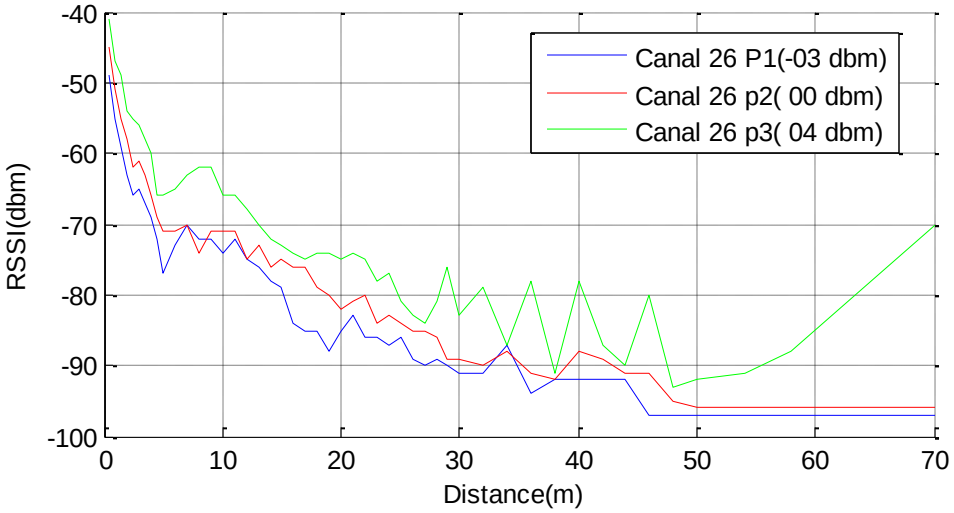


Figure III.12: RSSI en fonction de la distance Canal 26 tous les puissances (-3, 0,4) dbm

Les courbes correspondentà la linéarisation et linéarisation des résultats obtenu et représenté sur les figures A B C, sont présenté sur l'annexe (A et B)

III.8. Discussion

En remarque que l'évolution du RSSI en fonction de la distance suit une variation de forme exponentielle, et ces variations sont semblable pour les différents cas possible de fréquence et de puissance.

A l'aide de langage de calcul scientifique Matlab on peut mesurer l'erreur entre la courbe théorique et la courbe pratique de RSSI en fonction de la distance.

Comme on peut le constater, l'axe de distance peut se divise en quatre plage selon l'erreur, et on peut exploiter la formule d'atténuation pour chaque plage.

La formule de la première plage donnera une meilleure précision en estimation de distance, et pour la formule de deuxième et troisième plage elle donnera une précision acceptable. Pour la quatrième, plage on ne peut pas estimer la distance à cause de stabilité des valeurs de RSSI mesuré.

Toutes les expériences serons traité par la même méthode et les résultats obtenus sont représenté sur le tableau (Tableau III.1)

III.9. Exemple Canal 11 el la puissance (–03 dbm) pour la plage de (0 à 30 m)

-Erreur quadrature moyenne en estimation de distance (3m) pour les distances de (0 à 30 m)

Linéarisation RSSI = A∗log(d) + K

Interpolation A= 24.3676 Et K= -56.6041 dBm

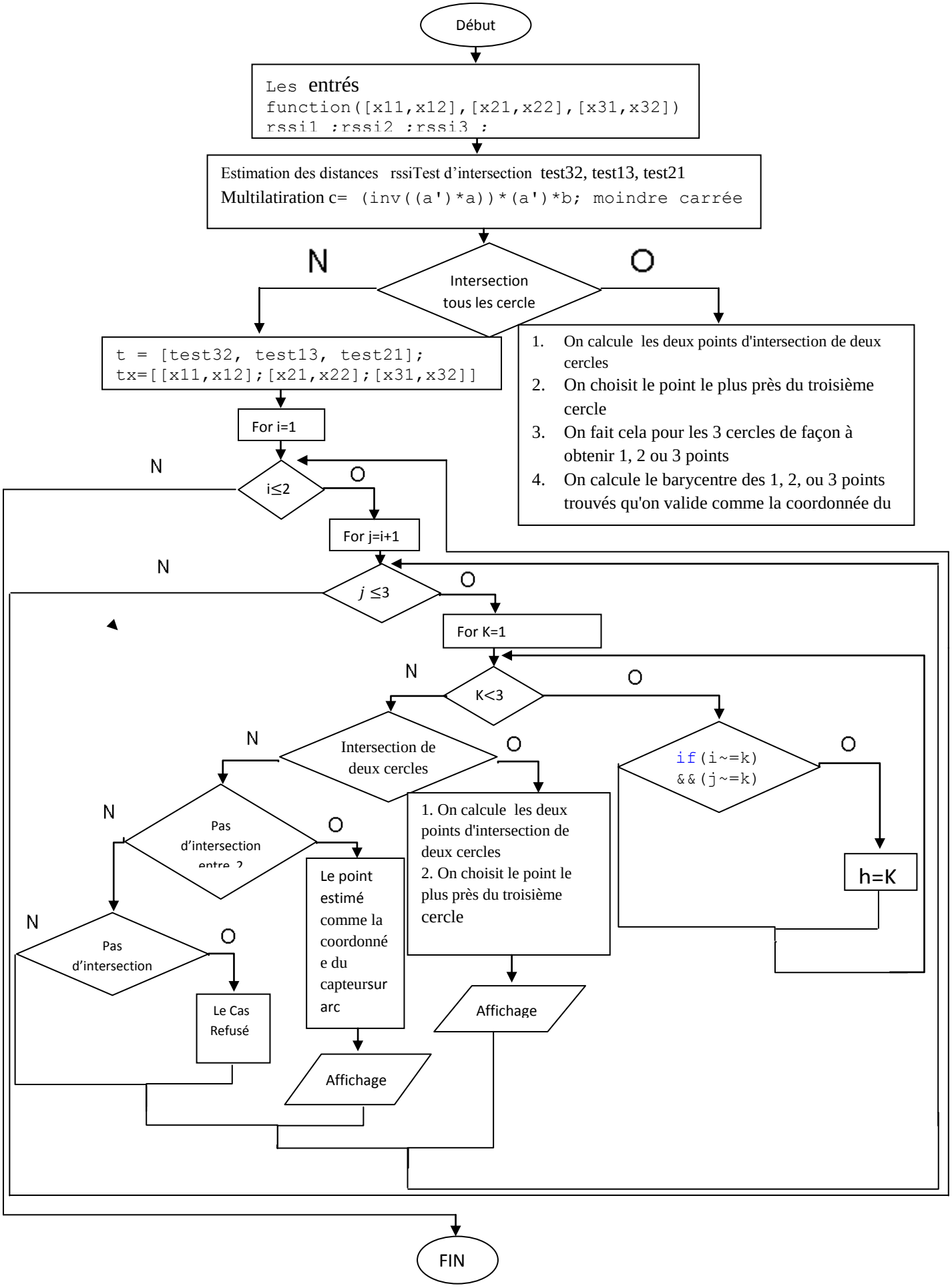
La droite tracer RSSI= -24.3676∗log(d) -56.6041 (dBm)

Model d'atténuation D = f(RSSI) = $10^{[\frac{-56.6041 - RSSI}{24.3676}]}$ (m)

Donc en peut utiliser ce modèle d'atténuation pour l'objet de localisation sur une surface de 32*32 m^2 pour obtenu la meilleur précision.

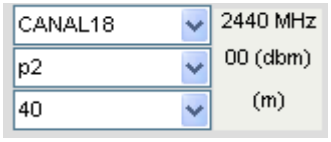
La fréquence d'émission	Puissance (dbm)	La distance (m)	La valeur de A	La valeur de K	Erreur quadrature Moyenne (m)
CANAL 11	P1 = (-03)	0-100	26.1188	-44.8253	7.3955
		0-60	25.7770	-45.0991	6.0658
		0-40	24.2844	-46.1953	5.9852
		0-30	21.5058	-47.9452	3.3586
	P2= (00)	0-100	25.8526	-43.1956	9.6915
		0-60	25.9235	-43.1266	7.7288
		0-40	24.8936	-43.8601	7.1752
		0-30	22.1245	-45.6033	3.3914
	P3 = (04)	0-100	26.2439	-39.0690	10.3997
		0-60	26.1713	-39.1317	8.7252
		0-40	24.7461	-40.0886	5.7513
		0-30	23.2540	-41.0523	4.1864
CANAL 18	P1 =(-03)	>60	Stabilisation des valeurs de RSSI		
		0-60	25.9879	-51.1516	6.3305
		0-40	23.8637	-52.6792	6.8540
		0-30	23.9868	-52.7141	1.9845
	P2= (00)	>60	Stabilisation des valeurs de RSSI		
		0-60	24.8992	-51.4099	4.3272
		0-40	24.1171	-51.9789	4.4771
		0-30	22.5376	-52.9746	3.4256
	P3 = (04)	>60	Stabilisation des valeurs de RSSI		
		0-60	25.3006	-47.0641	7.5035
		0-40	22.8586	-48.8488	6.0034
		0-30	20.0535	-50.6088	3.0326
CANAL 26	P1 = (-03)	>40	Stabilisation des valeurs de RSSI		
		0-40	23.0327	-54.5814	3.3486
		0-30	22.6995	-54.7893	3.0310
	P2= (00)	>40	Stabilisation des valeurs de RSSI		
		0-40	23.7042	-50.7069	3.3660
		0-30	22.5376	-52.9746	3.4256
	P3 = (04)	>40	Stabilisation de la valeur de RSSI		
		0-40	23.0730	-45.8645	5.5509
		0-30	22.7327	-46.0714	3.3307

Tableau III.1: représente les coefficients A et K du modèle d'atténuation pour chaque configuration (puissance, fréquence, la distance maximale) précision


Début
Les entrés
function([x11,x12],[x21,x22],[x31,x32])
rssi1 ;rssi2 ;rssi3 ;
Estimation des distances rssiTest d'intersection test32, test13, test21
Multilatiration c= (inv((a')*a))*(a')*b; moindre carrée
Intersection tous les cercle
N
O
t = [test32, test13, test21];
tx=[[x11,x12];[x21,x22];[x31,x32]]
1. On calcule les deux points d'intersection de deux cercles
2. On choisit le point le plus près du troisième cercle
3. On fait cela pour les 3 cercles de façon à obtenir 1, 2 ou 3 points
4. On calcule le barycentre des 1, 2, ou 3 points trouvés qu'on valide comme la coordonnée du
For i=1
i≤2
For j=i+1
j ≤3
For K=1
K<3
Intersection de deux cercles
if(i~=k) &&(j~=k)
h=K
Pas d'intersection entre 2
1. On calcule les deux points d'intersection de deux cercles
2. On choisit le point le plus près du troisième cercle
Pas d'intersection
Le Cas Refusé
Le point estimé comme la coordonnée du capteursur arc
Affichage
Affichage
FIN

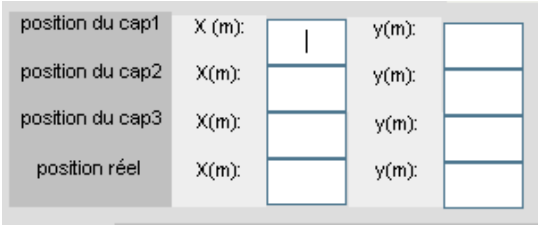
Les entrés :

01 : La Puissance d'émission et la fréquence (émission/réception) utilisé dans la configuration du kit.



02: Les valeurs des coefficients *A* et *K* du model d'atténuation choisi par le programme selon la configuration d'interface, l'algorithme choisir la formule d'estimation de distance selon la puissance et la fréquence sélectionnée.

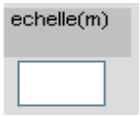
03: Les cordonnées des positions de tous les ancres et la position réel du capteur localisé



04: Les valeurs de RSSI mesuré par les ancres réceptrices et envoyer par le capteur localiser



05: Echelle pour sélectionnée la zone de visualisation commande les 2 graphes



06: Bouton d'exécution de deux algorithmes si tous les donnée inclus

Bouton Effacer les graphes tracer pour exécuter d'autre expérience



Les Sorties

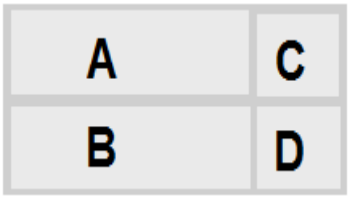
07 : Panneaux d'affichage

A : les cordonnée de position du capteur localisée par la méthode de la triangulation

B : les cordonnée de position du capteur localisée par la méthode de la multilatération

C : l'erreur de localisation par la méthode de triangulation

D : l'erreur de localisation par la méthode de multilatération

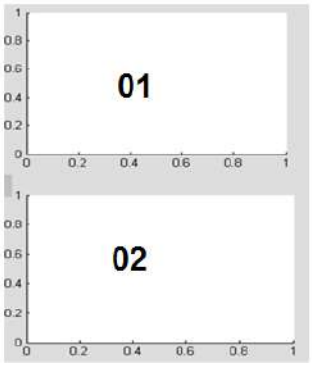


08 :Les graphes :

Affiché tous les points qui représentent

- les positions des trois ancres
- la position estimée de capteur localisé
- la position réelle du capteur inconnu

Le graphe **01** pour la triangulation et Le graphe **02** pour la multilatération



III.10.3 Résultat pratique de dérivation de position

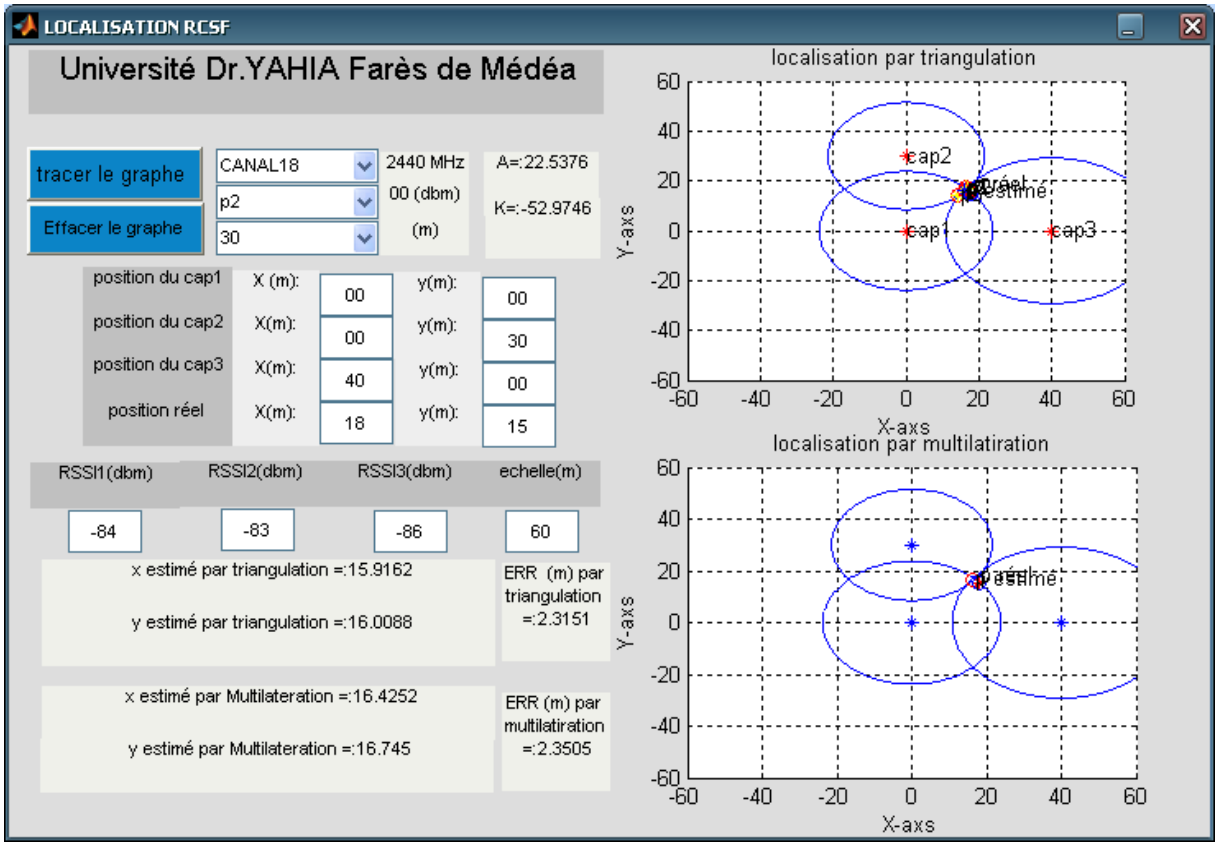


Figure III.15 : Cas d'intersection de tous les cercles sur le même point (cas idéal)

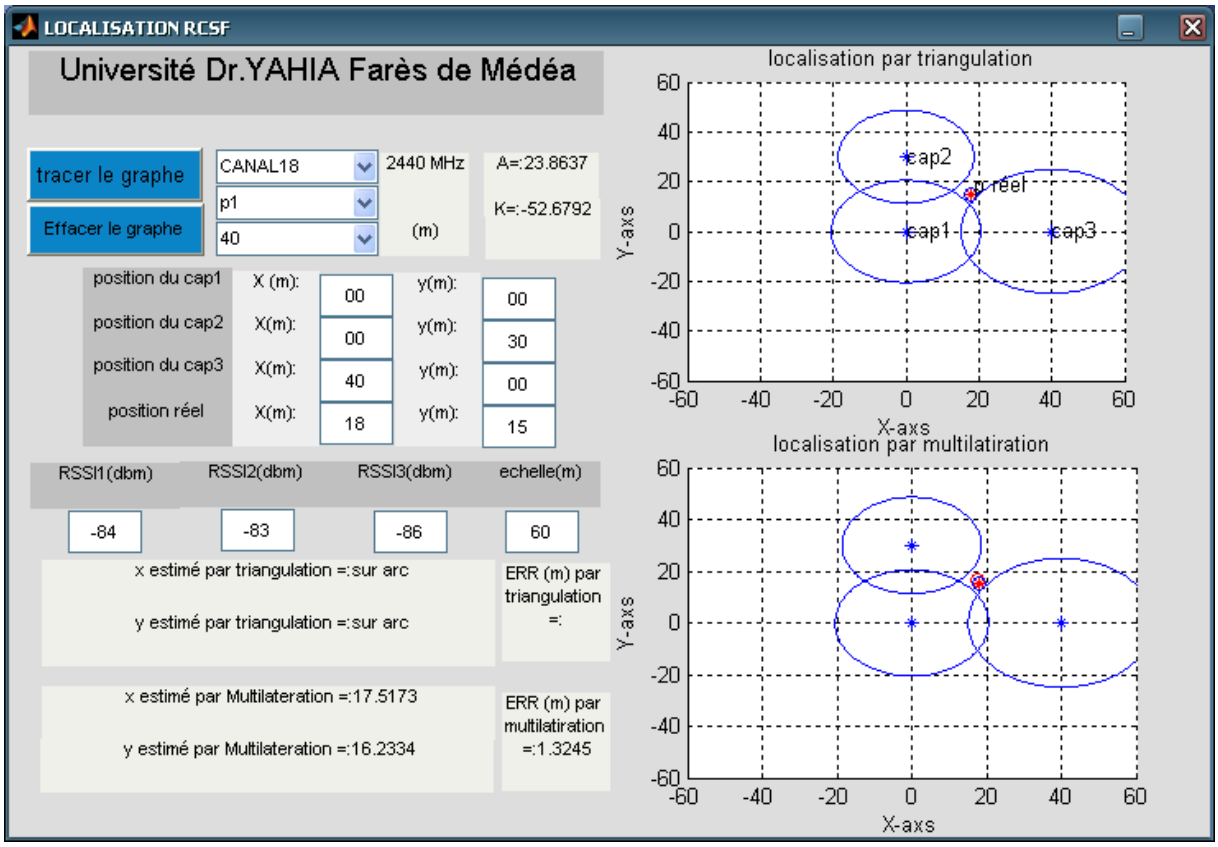


Figure III.16 : Cas pas d'intersection de deux cercles

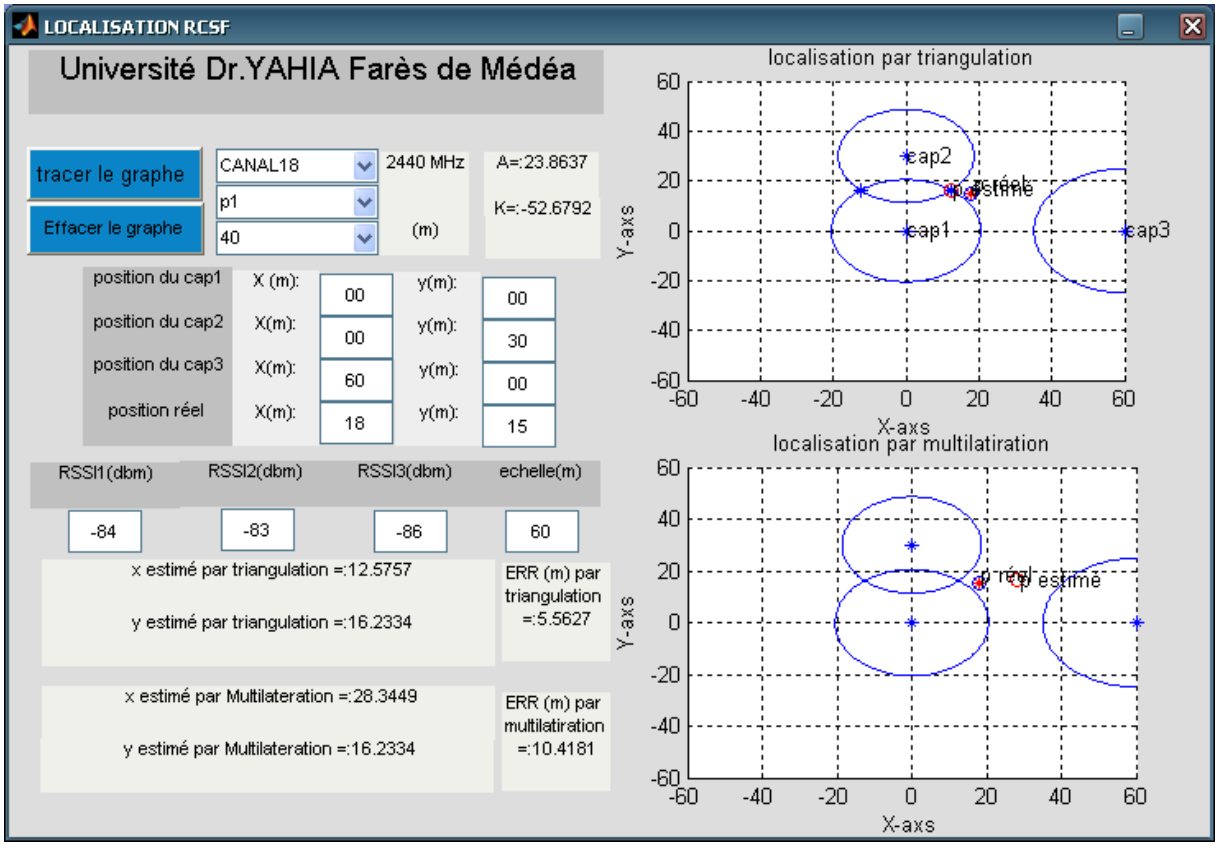


Figure III.17 : Cas d'intersection de deux cercles avec le troisième éloigné

III.10.4 Résultat des expériences :

Dans la suite de l'expérience nous avons placé les capteurs de telle façon à obtenir les différents cas possible de localisation (intersection de trois capteurs et intersection de deux capteurs), et on comparant les résultats obtenu selon le modèle choisi dans la partie III-6 de ce mémoire et représenter sur le tableau III.1 pour les deux algorithmes de localisation.
Le premier tableau III.2 donne les positions des capteurs. Le tableau III.3 exprime le résultat obtenu on donnant l'erreur pour chaque algorithme.

- *Expérience de localisation*

	cap1(X_1,Y_1)	**cap2**(X_2,Y_2)	**cap3**(X_3,Y_3)	**cap4**(X_4,Y_4) *réelle*
x	0	0	40	20
y	0	30	0	15

Tableau III.2 : positions des capteurs dans un terrain dégagé

Fréquence	Puissance	RSSI1	RSSI2	RSSI3	ERR TRIAN	ERR MULT
CANAL 11	P1 (-03 dbm)	-90	-91	-92	6.15	16.12
	P2 (00 dbm)	-87	-89	-88	11.22	22.24
	P3 (04 dbm)	-81	-82	-80	6.90	7.19
CANAL 18	P1 (-03 dbm)	-84	-83	-86	1.05	0.95
	P2 (00 dbm)	-80	-80	-86	/// *	3.27
	P3 (04 dbm)	-71	-75	-76	///	1.50
CANAL 26	P1 (-03 dbm)	-81	-82	-84	///	0.683
	P2 (00 dbm)	-77	-77	-79	///	1.13
	P3 (04 dbm)	-73	-74	-80	///	0.51

*** :** la méthode ne fournit pas une estimation

Tableau III.3 : comparaison de 2 méthode pour les d'efférents configuration

D'après les résultats on peut conclu que la méthode de la triangulation donnera une meilleure précession de la localisation dans le cas d'intersection des 3 cercles,par contre dans les autre cas la multilatération et plus précise.

III.11.Conclusion :

La qualité de service est proportionnel à la puissance d'émission, c'est à dire on augmentant la puissance y'a aussi une augmentation dans la qualité de service et l'inverse. Donc pour avoir une meilleur qualité de service on est obligé d'utilisé des puissances élevé.

L'utilisation de ces puissances implique plus de consommation d'énergie, ce qui diminue la durée de vie de la batterie.

La portée est inversement proportionnel à la fréquence d'émission, c'est à dire on augmentant la fréquence y'a une diminution dans la portée et l'inverse. Donc l'utilisation des faibles fréquences permit de localiser dans des grandes surfaces.

Pour l'utilisation des réseaux de capteur sans fil dans un projet de localisation il faut faire une étude d'environnement dont se trouvent les capteurs et prouver un modèle d'estimation en distance, la précision de ce modèle donnera une précision dans la dérivation des positions.

Conclusion générale :

Conclusion générale :

A partir de l'étude théorique et des résultats des expériences pratiques on a conclu que Les étapes suivi en estimation des distances sont nécessaire pour l'étude d'environnement et permit exploiter une formule de relation entre la puissance du signal reçu et la distance.

Donc comme indique dans la théorie a partir de cette distance en peut formuler un system d'équations, les inconnu de ce systèmes sont les cordonnée du capteur inconnu que nous voulons localiser, et ce dernier résoudre a l'aide de méthode de triangulation et la multilatération. La comparaison de deux méthode de localisation sans difficile a cause de influence de phénomène de multi trajet sur la propagation des ondes électromagnétique.

La précision de se system lie directement à la précession en estimation du distance donc le choix du meilleur canal et la bonne puissance sans très important. Il ne faut pas négligée la performance du kit utilisé dans ce cas-là. L'étude le protocole et le système de transmission joue un rôle aussi important.

Référence

Référence

[VHM 2007] Van der Haegen Mathieu, «Réseaux de senseurs sans fil : Problèmes de localisation», Mémoire Université Libre de Bruxelles, 2007

[YD 2008] Yannick., Darcillon., « Localisation des nœuds dans les Réseaux de capteurs sans fil», Mémoire Université avignon, 2008

[ABMK2003] Abdallah., Makhoul., «Réseaux de capteurs : localisation, couverture et fusion de données.», Doctorat l'Université de Franche-Comté (LIFC) ,2003

[BRK2009] Rahim., KACIMI., «Techniques de conservation d'´energie pour les réseaux de capteurs sans fil . », Doctorat l'Université de Toulouse pub, 2009

[ST DU2003] TStéphane., DURAND., «Amélioration de la précision de la localisation différentielle temps réel par mesure de phase des systèmes GNSS : », Doctorat Observatoire de Paris, 2003

[CBASTI2008] Cédric., BASTIEN ., « Développement d'un outil permettant le suivi d'un objet mobile », PFE ISA - SERTR ,2008

[GA JO 2007] Gaté ;Jocelyn «Réalisation de tests sur un réseau de capteurs : la plateforme SENSLAB Rapport de stage 5ème année.»2007

[VJ 2003] VERNEZ., Jérôme ., «Adaptation de la couche MAC du standard IEEE 802.15.4 à une couche physique Ultra Wide Band », Doctorat CSEM ,2003

[ART 2007] Article Les liaisons radio ZigBee (IEEE 802.15.4), pour les faibles consommations MESURES 796 - JUIN 2007 - www.mesures.com

[J P M 2002] Les modulations analogiques jean-philippemuller version juillet 2002

[AVB 2007] Adrien., VAN DEN BOSSCHE ., «Proposition d'une nouvelle méthode d'accès déterministe pour un réseau personnel sans fil à fortes contraintes temporelles », Doctorat université de toulouse ,2007

[MOA2004] Rabih., MOAWAD., «QoS dans les WPAN, WLAN et WMAN », Mémoire Université libanaise ,2004

[KM 2005] Kbida., mouhamed.,«planification et dimensionnement d'un réseau d'accès WI-FI »,PFE école supérieure des télécommunications de Tunis ,2005

[OB MF2007] OULD BAMBA., Med Abdel Fettah ., « Développement d'un Outil de Planification et Dimensionnement de réseau WiMAX », PFE école supérieure des télécommunications de Tunis ,2007

[PKA2006] Mr. Patrice KADIONIKPROJET AVANCE SE : RESEAU DE CAPTEURS SANS FILS 3ème année électroniques Option : Systèmes Embarqués PROFESSEUR ,2006

[O D C 2000] Olivier Boitel Denis Guillon Cédric FodouopKamologne Enseignant : Étienne Duris. « Exposé NT réseaux »Université de Marne la Vallée ; 2000

[AKY 2002] Akyildiz I., Su W., Sankarsubramaniam Y., Cayirci E., «A Survey on Sensor Networks», Georgia Institute of Technology, IEEE Communications Magazine, Aout 2002.

[HOL 2003] Holger K., Willig A., « A short survey of wireless sensor networks », Technical university Berlin, Telecommunication Networks Group, Octobre 2003.

[CUL 2004] Culler D., Estrin D., Srivastava M., « Overview of sensor networks », University of California, Berkeley, IEEE Computer Society, Aout 2004.

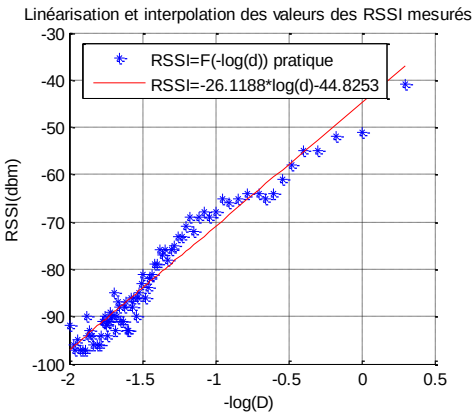
[FLE 2003] Fleury E., Chelius G., Mignon T., « minimisation de l'énergie dans les réseaux de capteurs », Laboratoire CITI/INSA de Lyon, 2003.

[DEM 2003] Demirkol I., Ersoy C., Alagöz F., « MAC Protocols for Wireless Sensor Networks: a Survey », 2003

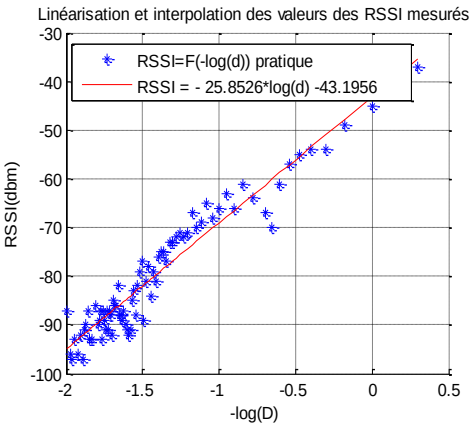
[1] http://compilers.cs.ucla.edu/avrora, site d'informations sur le simulateur Avrora, Novembre 2005.

Annexe

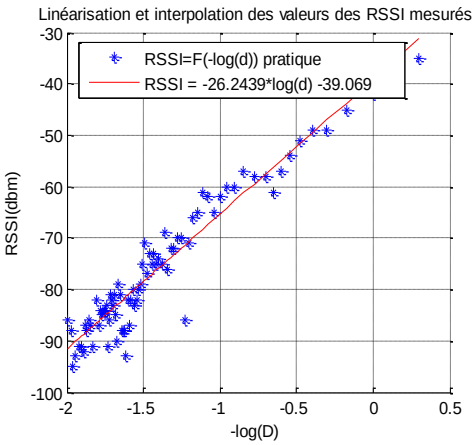
Annexe A : Les courbes de linéarisation correspondent aux différents canaux.



- A -

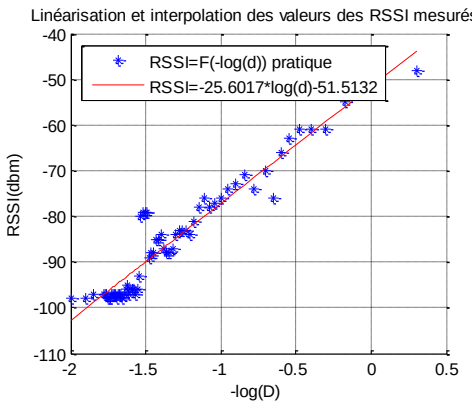


- B -

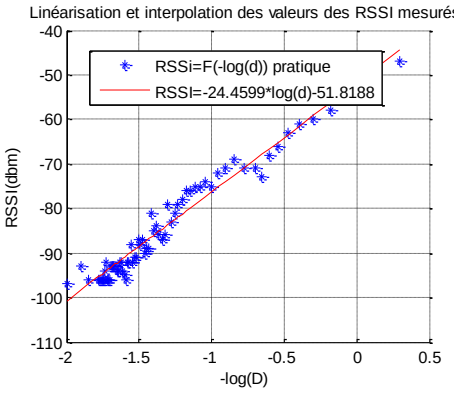


- C-

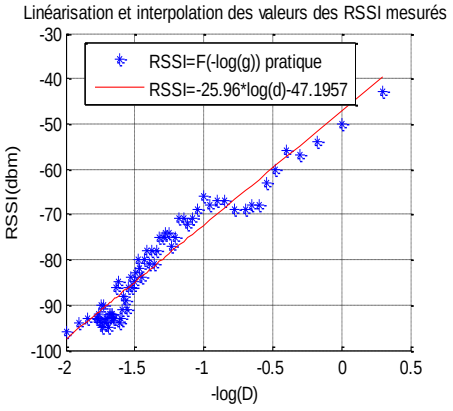
1- Linéarisation Canal 11 pour les puissances : A (–03 dbm), B (00 dbm), C (04 dbm)



- A -

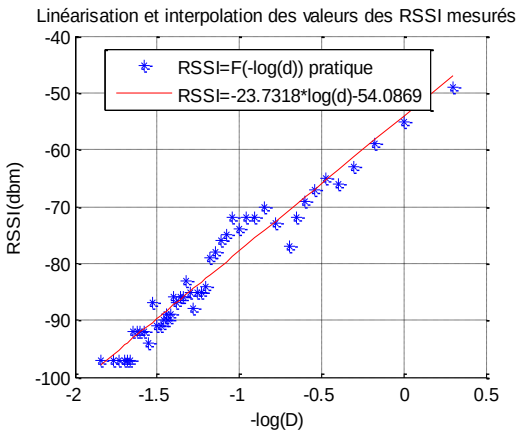


- B -

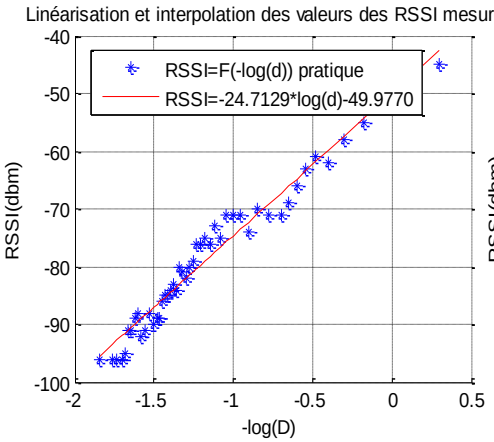


- C-

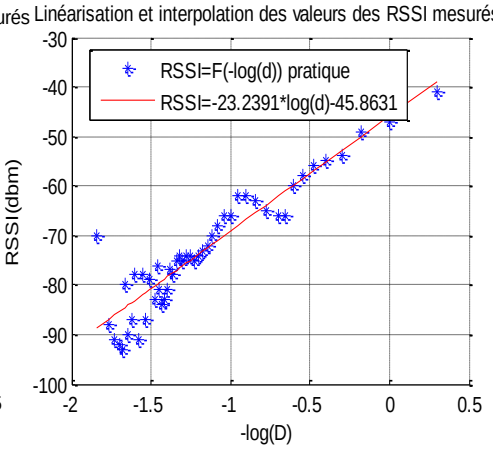
2- Linéarisation Canal 18 pour les puissances : A (–03 dbm), B (00 dbm), C (04 dbm)



- A -



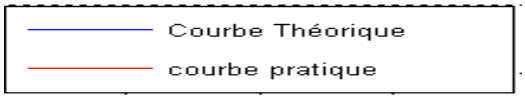
- B -

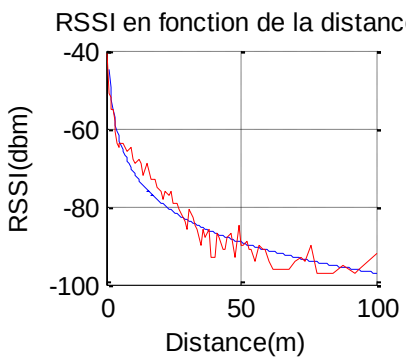


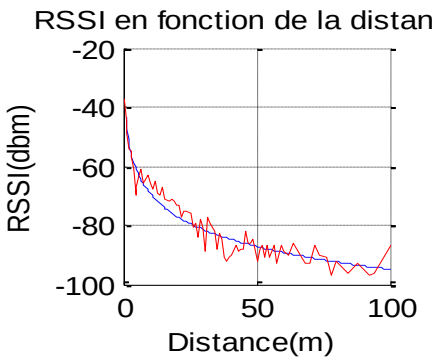
- C-

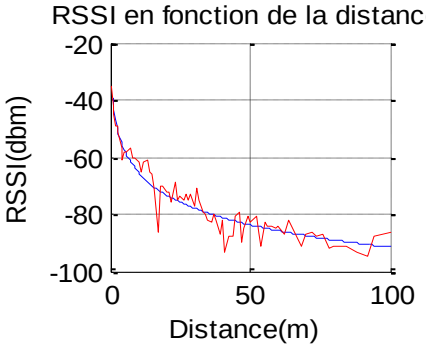
3- Linéarisation Canal 26 pour les puissances : A (–03 dbm), B (00 dbm), C (04 dbm)

Annexe B : Les courbes de comparaison « model prouver et pratique ».



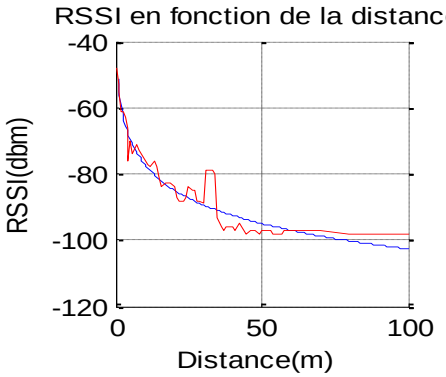


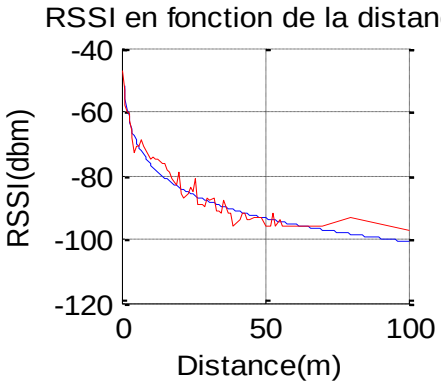


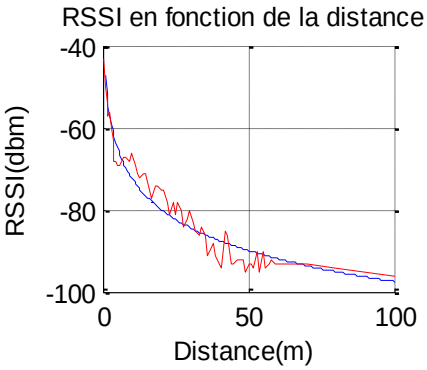


- A - **- B -** **- C-**

Canal 11 (A (-3dBm), B (0 dBm), B (4 dBm))

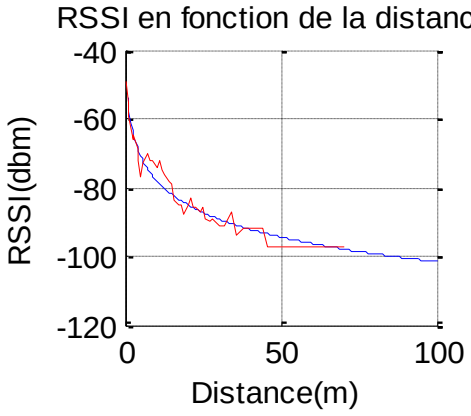


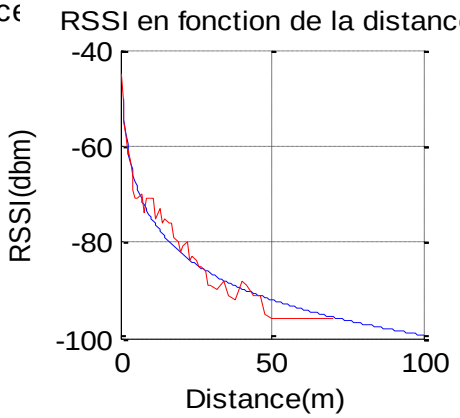


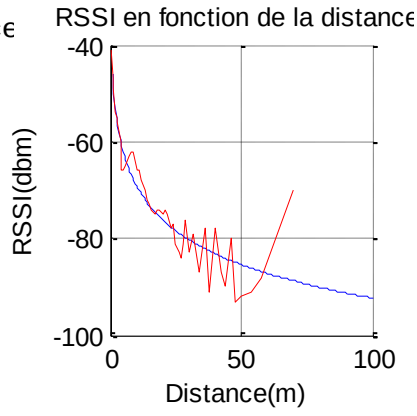


- A - **- B -** **- C-**

Canal 18 (A (-3dBm), B (0 dBm), B (4 dBm))







- A - **- B -** **- C-**

Canal 26 (A (-3dBm), B (0 dBm), B (4 dBm))

Annexe C : Programme comparaison les deux courbe

```
  x=  [0.5  1  1.5 2  2.5  3  3.5  4   4.5  5   6   7   8   9   10  11 ];
y= -[41  51  52  55  55  58  61  64  65   64  64  65  66  65  68  69 ];

d=[1:0.5:100];
ld=length(d);

m=1;
forexd=1:ld
rssi(exd)= -44.8253-26.1188*log10(d(exd)./m);
end

holdon
plot(d,rssi);
plot(x,y,'r');
title('RSSI en fonction de la distance ');
xlabel('Distance(m) ');
ylabel('RSSI(dbm)');
grid;
```

Programme Linéarisation

```
m=  [0.5  1  1.5 2  2.5  3  3.5  4   4.5  5   6   7  ];
x=-log10(m);
y=-[41  51  52  55  55  58  61  64  65   64  64  65  ];

p=polyfit(x,y,1);
disp(p);
disp(x);

holdon
plot(x,y,'*');
d=p(1)*x+p(2);
plot(x,d,'r');
title('Linéarisation et interpolation des valeurs des RSSI mesurés ');
xlabel('-log(D) ');
ylabel('RSSI(dbm)');
grid;
```

Programme calcul d'erreur

```
dr=  [0.5  1  1.5 2  2.5  3  3.5  4   4.5  5   6   7   8   9  ];
y= -[41  51  52  55  55  58  61  64  65   64  64  65  66  65  ];

de=10.^((-y-44.8253)/26.1188);

a = abs(dr-de);
err=(sum(a)/ld);
disp(err)
```

Annexe D : Programme de la triangulation et la multilatération

```
%%%%%% Program ([0,0],[0,30],[40,0])

Function y = program (c1,c2,c3)

input (' donner les valeur de rssi1 rssi2 rssi3');

rssi_4_1=input (' rssi_4_1=');
d1=10^ ((-rssi_4_1+k)/A);

rssi_4_2=input (' rssi_4_2=');
d2=10^ ((-rssi_4_2+k)/A );

 rssi_4_3=input (' rssi_4_3=');
d3=10^ ((-rssi_4_3+k)/A );


disp('d1 estimé=:');disp(d1);
disp('d2 estimé=:');disp(d2);
disp('d3 estimé=:');disp(d3);

x11=c1(1,1);x12=c1(1,2);
x21=c2(1,1);x22=c2(1,2);
x31=c3(1,1);x32=c3(1,2);

test21= sqrt(abs(x11-x21)^2+abs(x12-x22)^2)-(d1+d2);
test13= sqrt(abs(x11-x31)^2+abs(x12-x32)^2)-(d1+d3);
test32= sqrt(abs(x31-x21)^2+abs(x32-x22)^2)-(d3+d2);

d=[d1,d2,d3];

p=40;

a=[2*(x11-x31),2*(x12-x32) ; 2*(x21-x31),2*(x22-x32)];

b=[(x11)^2-(x31)^2+(x12)^2-(x32)^2+(d3)^2-(d1)^2;
   (x21)^2-(x31)^2+(x22)^2-(x32)^2+(d3)^2-(d2)^2];

c=(inv((a')*a))*(a')*b;
c4 = c';
x41=c4(1,1);
x42=c4(1,2);

disp(' x estimé par Multilatération  =:');disp(c4(1,1));
disp(' y estimé par Multilatération =:'); disp(c4(1,2));

err1=sqrt((x41-c5(1,1))^2+(x42-c5(1,2))^2);
disp(err1);


%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

eq1 = @(x,y)(x-x11)^2 + (y-x12)^2-d1^2 ;
eq2 = @(x,y)(x-x21)^2 + (y-x22)^2-d2^2 ;
eq3 = @(x,y)(x-x31)^2 + (y-x32)^2-d3^2 ;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
if (test21< 0)&&(test13< 0)&&(test32< 0)

     testp13=sqrt(abs(x11-x31)^2+abs(x12-x32)^2);
     testp12=sqrt(abs(x11-x21)^2+abs(x12-x22)^2);
     testp23=sqrt(abs(x21-x31)^2+abs(x22-x32)^2);

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
     s13=(d3^2-d1^2+testp13^2)/(2*testp13);
     s12=(d2^2-d1^2+testp12^2)/(2*testp12);
     s23=(d3^2-d2^2+testp23^2)/(2*testp23);

     h13=sqrt(d3^2-s13^2);
     h12=sqrt(d2^2-s12^2);
     h23=sqrt(d3^2-s23^2);

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
     xp13=x31+(s13*(x11-x31)/testp13);
     yp13=x32+(s13*(x12-x32)/testp13);

     xp12=x21+(s12*(x11-x21)/testp12);
     yp12=x22+(s12*(x12-x22)/testp12);

     xp23=x31+(s23*(x21-x31)/testp23);
     yp23=x32+(s23*(x22-x32)/testp23);

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
     px13_1= (h13*(x12-x32)/testp13)+xp13;
     py13_1=-(h13*(x11-x31)/testp13)+yp13;

     px13_2=-(h13*(x12-x32)/testp13)+xp13;
     py13_2= (h13*(x11-x31)/testp13)+yp13;

      ch113=sqrt((x21-px13_1 )^2+(x22-py13_1)^2);
      ch213=sqrt((x21-px13_2)^2+(x22-py13_2)^2);

if (ch113-ch213<0)
          point1_x= px13_1;
point1_y= py13_1;

else
          point1_x= px13_2;
          point1_y= py13_2;
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

     px12_1= (h12*(x12-x22)/testp12)+xp12;
     py12_1=-(h12*(x11-x21)/testp12)+yp12;

     px12_2=-(h12*(x12-x22)/testp12)+xp12;
     py12_2= (h12*(x11-x21)/testp12)+yp12;
```

```
 ch112=sqrt((x31-px12_1 )^2+(x32-py12_1)^2);
 ch212=sqrt((x31-px12_2)^2+(x32-py12_2)^2);
if (ch112-ch212<0)
          point2_x= px12_1;
point2_y= py12_1;

else
          point2_x= px12_2;
          point2_y= py12_2;

end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

     px23_1= (h23*(x22-x32)/testp23)+xp23;
     py23_1=-(h23*(x21-x31)/testp23)+yp23;

     px23_2=-(h23*(x22-x32)/testp23)+xp23;
     py23_2= (h23*(x21-x31)/testp23)+yp23;

      ch123=sqrt((x11-px23_1 )^2+(x12-py23_1)^2);
      ch223=sqrt((x11-px23_2)^2+(x12-py23_2)^2);

if (ch123-ch223<0)
          point3_x= px23_1;
point3_y= py23_1;

else
          point3_x= px23_2;
          point3_y= py23_2;
end


%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
point_x= (point1_x+ point2_x+ point3_x)/3;
point_y= (point1_y+ point2_y+ point3_y)/3;

disp(' x estimé par triangulation =:');disp(point_x);
disp(' y estimé par triangulation=:'); disp(point_y);


subplot (1.2.1)
holdon;
ezplot(eq1,[-p p]); ezplot(eq2,[-p p]);ezplot(eq3,[-p p]);axis([-p p -p
p]);
plot(x11,x12,'r*',x21,x22,'r*',x31,x32,'r*');
plot(c5(1,1),c5(1,2),'r*');
plot(c5(1,1),c5(1,2),'bo');

text (x11+0.1,x12+0.1,'cap1');
text (x21+0.1,x22+0.1,'cap2');
text (x31+0.1,x32+0.1,'cap3');

title('localisation par triangulation');
xlabel('X-axs');
ylabel('Y-axs');

grid;
```

```
subplot (1.2.2)
holdon;
ezplot(eq1,[-p p]); ezplot(eq2,[-p p]);ezplot(eq3,[-p p]);axis([-p p -p
p]);
plot(x11,x12,'b*',x21,x22,'b*',x31,x32,'b*',x41,x42,'ro');
plot(c5(1,1),c5(1,2),'r*');
plot(c5(1,1),c5(1,2),'bo');

title('localisation par multilatération  ');
xlabel('X-axs');
ylabel('Y-axs');
grid;
holdoff
end
t =[test32,test13,test21];
tx=[[x11,x12];[x21,x22];[x31,x32]];
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

fori=1:1:2
for j=i+1:1:3
for k=1:1:3
if (i~=k) &&(j~=k)
                        h=k;
end
end

if (t(1,i)>= 0)&&(t(1,j)>= 0)&&(t(1,h)< 0)

     testy=sqrt((tx(i,1)-tx(j,1))^2+(tx(i,2)-tx(j,2))^2);
     a1=((d(1,i))^2-(d(1,j))^2+testy^2)/(2*testy);
     s1=sqrt(abs(d(1,i)^2-a1^2));

     x2=tx(i,1)+((a1*(tx(j,1)-tx(i,1))/testy));
     y2=tx(i,2)+((a1*(tx(j,2)-tx(i,2))/testy));

if (tx(j,2)-tx(i,2) < 0)
        f=1;
else
        f=-1;
end
     xn1=x2+(s1*(abs(tx(j,2)-tx(i,2))/testy));
     yn1=f*(s1*(abs(tx(j,1)-tx(i,1))/testy))+y2;

     xn2=x2-(s1*(abs(tx(j,2)-tx(i,2))/testy));
     yn2=-f*(s1*(abs(tx(j,1)-tx(i,1))/testy))+y2;

t131=sqrt((tx(h,1)-xn1)^2+(tx(h,2)-yn1)^2);
     t132=sqrt((tx(h,1)-xn2)^2+(tx(h,2)-yn2)^2);
     t133=t131-t132;
if  (t133 <0)
disp('x estimé par triangulation =:'); disp(xn1);
disp('y estimé par triangulation=:'); disp(yn1);
xnm=xn1;
ynm=yn1;
else
disp(' x estimé par triangulation=:'); disp(xn2);
disp(' y estimé par triangulation =:'); disp(yn2);
xnm=xn2;
```

```
ynm=yn2;
end
 err2=sqrt(((xnm)-c5(1,1))^2+((ynm)-c5(1,2))^2);
disp(err2);

Subplot(1.2.1)
holdon;
ezplot(eq1,[-p p]); ezplot(eq2,[-p p]);ezplot(eq3,[-p p]);
axis([-p p -p p]);
plot(x11,x12,'b*',x21,x22,'b*',x31,x32,'b*');
plot(xn1,yn1,'*');plot(xn2,yn2,'*');plot(xnm,ynm,'ro');
plot(c5(1,1),c5(1,2),'r*');
plot(c5(1,1),c5(1,2),'bo');

title('localisation par triangulation ');
xlabel('X-axs');
ylabel('Y-axs');
grid;

Subplot(1.2.2)
holdon;
ezplot(eq1,[-p p]); ezplot(eq2,[-p p]);ezplot(eq3,[-p p]);axis([-p p -p
p]);
plot(x11,x12,'b*',x21,x22,'b*',x31,x32,'b*',x41,x42,'ro');
plot(c5(1,1),c5(1,2),'r*');
plot(c5(1,1),c5(1,2),'bo');

title('localisation par multilatération  ');
xlabel('X-axs');
ylabel('Y-axs');
grid;
else%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
if (t(1,i)< 0)&&(t(1,j)< 0)&&(t(1,h)> 0)

%     input('PRESS ENTER Pour visualiser le graphe  ');
subplot (1.2.1)
holdon;
ezplot(eq1,[-p p]); ezplot(eq2,[-p p]); ezplot(eq3,[-p p]);
axis([-p p -p p]);
plot(x11,x12,'b*',x21,x22,'b*',x31,x32,'b*');
plot(c5(1,1),c5(1,2),'r*');
plot(c5(1,1),c5(1,2),'bo');

title('localisation par triangulation ');
xlabel('X-axs');
ylabel('Y-axs');
grid;
subplot (1.2.2)
holdon;
ezplot(eq1,[-p p]); ezplot(eq2,[-p p]);ezplot(eq3,[-p p]);axis([-p p -p
p]);
plot(x11,x12,'b*',x21,x22,'b*',x31,x32,'b*',x41,x42,'ro');
plot(c5(1,1),c5(1,2),'r*');
plot(c5(1,1),c5(1,2),'bo');

title('localisation par multilatération  ');
xlabel('X-axs');
ylabel('Y-axs');
grid;
else
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
if (t(1,i)>  0)&&(t(1,j)>  0)&&(t(1,h)> 0)
if (j==2)


%         input('PRESS ENTER Pour visualiser le graphe ');
subplot (1.2.1)

holdon;
ezplot(eq1,[-p p]); ezplot(eq2,[-p p]); ezplot(eq3,[-p p]);
axis([-p p -p p]);
plot(x11,x12,'b*',x21,x22,'b*',x31,x32,'b*');
plot(c5(1,1),c5(1,2),'r*');
plot(c5(1,1),c5(1,2),'bo');
plot(-p+2,p-3,'ro');

title('localisation par triangulation ');
xlabel('X-axs');
ylabel('Y-axs');
grid;

subplot (1.2.2)
holdon;
ezplot(eq1,[-p p]); ezplot(eq2,[-p p]);ezplot(eq3,[-p p]);axis([-p p -p
p]);
plot(x11,x12,'b*',x21,x22,'b*',x31,x32,'b*',x41,x42,'b*');
plot(c5(1,1),c5(1,2),'r*');
plot(c5(1,1),c5(1,2),'bo');

title('localisation par multilatération  ');
xlabel('X-axs');
ylabel('Y-axs');

grid;
% ---% ---% ---% ---% ---% ---% ---% ---% ---% ---% ---%
% ---% ---% ---% ---% ---% ---% ---% ---
end
end
end
end
end
end
%  end
```

Annexe E : Programme multulatération 4 Capteurs et 3 Capteurs

```
%%LOCCOMP([0,0],[0,30],[40,0],[40,30])    5 6 7 8

function a = LOCCOMP(c1,c2,c3,c4)

A=input(' valeur de A:=');
K=input(' valeur de K:=');

input(' donner les valeurs des rssi ');

rssi1=input(' rssi1=');
d1=10^((-rssi1+K)/A );
rssi2=input(' rssi2=');
d2=10^((-rssi2+K)/A );
rssi3=input(' rssi3=');
d3=10^((-rssi3+K)/A );
rssi4=input(' rssi4=');
d4=10^((-rssi4+K)/A );

x71=input(' cordonnée x réel:=');
x72=input(' cordonnéeux réel:=');

x11=c1(1,1);
x12=c1(1,2);

x21=c2(1,1);
x22=c2(1,2);

x32=c3(1,2);
x31=c3(1,1);

x42=c4(1,2);
x41=c4(1,1);

p=100;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

a1=[2*(x11-x31),2*(x12-x32) ; 2*(x21-x31),2*(x22-x32)];

b1=[(x11)^2-(x31)^2+(x12)^2-(x32)^2+(d3)^2-(d1)^2;
   (x21)^2-(x31)^2+(x22)^2-(x32)^2+(d3)^2-(d2)^2];

c1=(inv((a1')*a1))*(a1')*b1;

c6 = c1';

x61=c6(1,1);
x62=c6(1,2);

disp('la valeur de x estimé 3 CAP  ');disp(c6(1,1));
disp('la valeur de y estimé 3 CAP'); disp(c6(1,2));

err1=sqrt((x71-x61)^2+(x72-x62)^2);
disp('err1 3 CAP:=');disp(err1);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
a=[2*(x11-x41),2*(x12-x42); 2*(x21-x41),2*(x22-x42); 2*(x31-x41),2*(x32-
x42)];

b=[(x11)^2-(x41)^2+(x12)^2-(x42)^2+(d4)^2-(d1)^2;
   (x21)^2-(x41)^2+(x22)^2-(x42)^2+(d4)^2-(d2)^2;
    (x31)^2-(x41)^2+(x32)^2-(x42)^2+(d4)^2-(d3)^2];


c=(inv((a')*a))*(a')*b;
c5 = c';
x51=c5(1,1);
x52=c5(1,2);

disp('la valeur de x estimé 4 CAP'); disp(c5(1,1));
disp('la valeur de y estimé 4 CAP'); disp(c5(1,2));

err2=sqrt((x71-x51)^2+(x72-x52)^2);
disp('err2 4 CAP:=');disp(err2);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
eq1 = @(x,y)(x-x11)^2 + (y-x12)^2-d1^2 ;
eq2 = @(x,y)(x-x21)^2 + (y-x22)^2-d2^2 ;
eq3 = @(x,y)(x-x31)^2 + (y-x32)^2-d3^2 ;
eq4 = @(x,y)(x-x41)^2 + (y-x42)^2-d4^2 ;

holdon

ezplot(eq1,[-p p]); ezplot(eq2,[-p p]); ezplot(eq3,[-p p]);
ezplot(eq4,[-p p]); axis([-p p -p p]);

plot(x11,x12,'*');
text (x11+0.1,x12+0.1,'cap1');
plot(x21,x22,'*');
text (x21+0.1,x22+0.1,'cap2');
plot(x31,x32,'*');
text (x31+0.1,x32+0.1,'cap3');
plot(x41,x42,'*');
text (x41+0.1,x42+0.1,'cap4');
plot(x51,x52,'ro');
plot(x61,x62,'bo');

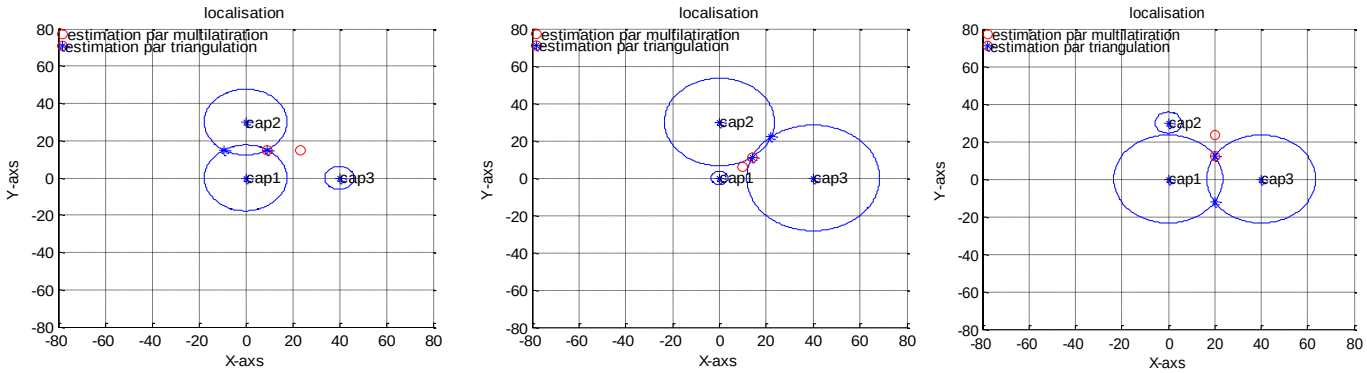
plot(x71,x72,'ro');
plot(x71,x72,'*');

text (x51-0.1,x52+0.5,'capteur localiser');
title('localisation');
xlabel('X-axs');
ylabel('Y-axs');
grid;

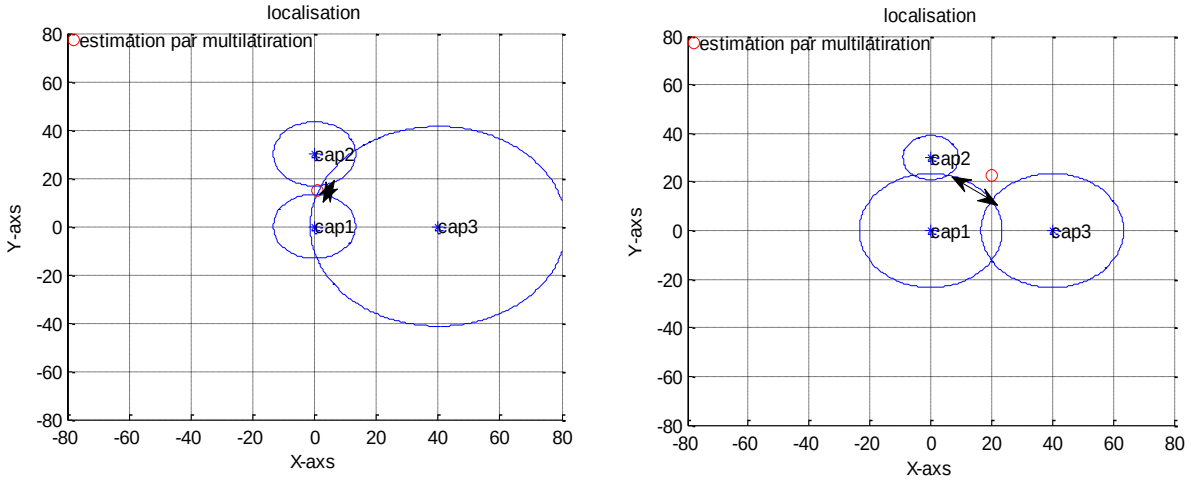
end
```

Annexe F : Résultats du programme de localisation

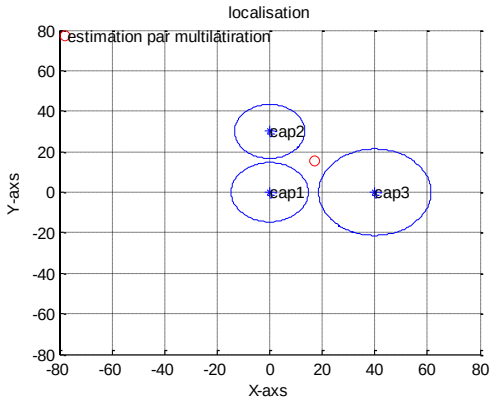
1-intersection de deux cercles



2-pas d'intersection entre deux cercles



3-pas d'intersection



Annexe G : Exécution du programme de triangulation «expérience réel »

```
>> program([0,0],[0,30],[40,0])
 donner les valeur de rssi1 rssi2 rssi3
 rssi_4_1=-94
 rssi_4_2=-93
 rssi_4_3=-98

                    d1 estimé=:
                       34.2497

                    d2 estimé=:
                       31.1615

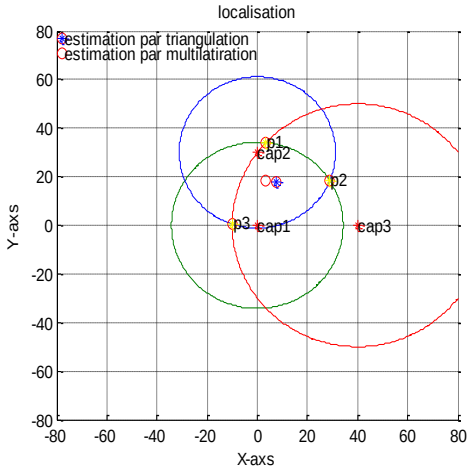
                    d3 estimé=:
                       49.9815

                     x estimé par Multilateration =:
                        3.4362

                     y estimé par Multilateration=:
                       18.3667

                     x estimé par triangulation =:
                        7.4552

                     y estimé par triangulation=:
                       17.6410
```



Annexe H : Exécution du programme de multilatération«expérience réel »

Le point bleu pour la localisation a base de 3 capteur et le rouge si on utilise capteur

```
>> LOCCOMP([0,0],[0,30],[40,0],[40,30])
 valeur de A:=24.8992
 valeur de K:=-51.4099
 donner les valeurs des la valeur de x estimé 3 CAP
 rssi1=-80                  14.9694
 rssi2=-80
 rssi3=-86                  la valeur de y estimé 3 CAP
 rssi4=-81                  15.0000
 cordonnée x réel:=18
 cordonnéeux réel:=15       err1 3 CAP:=
                             3.0306

                            la valeur de x estimé 4 CAP
                            17.9881

                            la valeur de y estimé 4 CAP
                            19.0249

                            err2 4 CAP:=
                             4.0249
```

