

Sommaire

Remerciements.....	i
Dédicaces	ii
Résumé.....	iv
Liste des figures	v
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE 1 : Aperçu sur les réseaux sans fils	
1. Introduction	3
2. Réseau sans fil.....	4
2.1. Définition.....	4
2.2. Les catégories des réseaux sans fils.....	4
2.2.1. Selon la zone de couverture.....	5
a. Réseaux personnels sans fil (WPAN).....	5
b. Réseaux locaux sans fil (WLAN).....	6
c. Les réseaux métropolitains sans fil (WMAN)	7
d. Les réseaux sans fil étendus (WWAN).....	7
2.2.2. Selon l'infrastructure	8
a. Réseaux cellulaires (avec infrastructure).....	8
b. Réseaux ad hoc (sans infrastructure)	9
1. Définition	10
2. Caractéristiques des réseaux ad hoc.....	12
3. Applications	13
3. Conclusion.....	16
CHAPITRE 2 : Les réseaux de capteurs et leurs applications	
1. Introduction	17
2. Le capteur.....	17
2.1. Définition.....	17
2.2. Architecture	17
3. Réseaux de capteur sans fil	19
3.1. Définition.....	19

3.2. Caractéristiques des réseaux de capteurs sans fil	20
3.3. Mécanismes utilisés pour atteindre les caractéristiques des RCSFs	21
3.4. Architecture de communication	21
3.4.1. Couche physique	22
3.4.2. Couche liaison de données	22
3.4.3. Couche réseau.....	22
3.4.4. La couche transport	22
3.4.5. La couche application.....	23
3.4.6. Gestion d'énergie	23
3.4.7. Gestion de mobilité	23
3.4.8. La gestion des tâches	23
4. Problèmes des réseaux de capteurs sans fil.....	24
4.1. Consommation d'énergie.....	24
4.2. Routage.....	24
4.3. Localisation	25
4.4. La sécurité	25
4.5. Environnement	25
4.6. Agrégation des données.....	25
4.7. Topologie dynamique	26
4.8. Tolérance aux pannes	27
5. Applications des réseaux de capteurs	27
5.1. Application militaire.....	27
5.2. Application médical.....	27
5.3. Applications environnementales	27
5.4. Applications commerciales	28
5.5. Applications agricoles	28
5.6. Applications à la sécurité.....	28
6. Conclusion.....	29

CHAPITRE 3 : La localisation dans les réseaux de capteurs

1. Introduction	30
2. Objectif de localisation.....	30
3. Définition	31
4. Propriétés de localisation	31

5. Critères de localisation	32
5.1. Précision de la localisation	32
5.2. Contraintes de ressources	32
5.3. Contraintes énergétiques	32
6. Techniques de mesure	32
6.1. Techniques géométriques d'estimation de position	33
6.1.1. La trilatération	33
6.1.2. La triangulation	34
6.2. Techniques de mesures basées sur l'angle d'arrivée (AOA).....	35
6.3. Les mesures basées sur la distance	37
6.3.1. Les mesures basées sur le temps de propagation.....	37
6.3.2. Les mesures de différence de temps d'arrivée (TDOA).....	39
6.3.3. Mesures basées sur l'intensité du signal reçu.....	40
6.3.4. Les mesures de connectivité.....	41
6.4. Les mesures bases sur le profilage RSSI (Received Signal Strength Indicator)	41
6.5. Les techniques basées sur les clusters	42
7. Algorithmes de localisation.....	42
7.1. Algorithmes centralisés	42
7.2. Algorithmes distribués.....	42
7.3. Algorithmes multidimensionnels.....	43
7.3.1. MDS - MAP	43
7.3.2. CCA – MAP	44
7.4. Les algorithmes de localisation DV-Hop et DV-Distance	45
8. Conclusion.....	46

CHAPITRE 4 : Application des RCSFs pour localiser un incendie

1. Introduction	47
2. Généralités sur les feux de forêt.....	47
2.1. Qu'est ce qu'un feu de forêt ?	47
2.2. Comment se manifeste-t-il ?.....	48
2.3. Quels sont les combustibles d'un feu de forêt ?.....	48
2.4. Quels sont les facteurs de prédisposition des feux de forêt?.....	49
2.5. Les mécanismes de propagation de feux de forêt.....	49
2.6. Les différents types de feux de forêt	50

2.7. Gestion du risque de feux de forêts	51
3. Objectif de notre travail.....	51
4. Implémentation de l'application.....	51
4.1. Plate-forme logicielle et matérielle.....	52
4.1.1. Logiciel utilisé	52
4.1.2. Capteur utilisé.....	55
4.1.3. PC utilisé	56
4.2. Déploiement de l'application	56
4.3. Fonctionnement de notre système	57
4.3.1. Installation logicielle	57
4.3.2. Installation matérielle	57
4.3.3. Algorithme d'application (programme)	58
5. Conclusion.....	63
CONCLUSION GENERALE	64
Bibliographie.....	65
Annexes	68

Remerciements

Nous remercions tout d'abord le bon Dieu, le tout puissant de nous avoir armé de force et de courage pour mener à terme ce projet.

Merci à tous ceux qui ont contribué à ce que la réalisation de ce projet soit possible.

Notre profonde gratitude s'adresse à Monsieur KADRI BENAMAR, encadreur de ce mémoire pour ses conseils fructueux et pour son aide précieuse qui nous a conduits à concrétiser ce travail.

Nos vifs remerciements s'adressent à monsieur ABDELMALEK Abdelhafid d'avoir honorer par sa présence en acceptant de présider le jury.

Nos respectueux remerciements sont dédiés aux membres de jury, monsieur MOUSSAOUI Djilali et M^{elle} BENMOSTEFA.N d'avoir accepté d'examiner et de porter leur jugement sur ce modeste travail.

Enfin, nous ne pouvons pas s'empêcher de remercier tout le corps enseignant de l'université ABOU BEKR BELKAID pour la qualité d'enseignement qu'il nous a offert et d'avoir bâti l'édifice intellectuel que nous sommes d'ores et déjà.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail plus particulièrement

*A mon père et ma mère qui se sont sacrifiés pour que je puisse
achever mes études.*

A mon petit cher frère Amine.

A mes sœurs.

*A mes amis, mon binome Bentabet abdelhamid, Mahmoudi Amine,
Bentout Ahmed, Mezouar Mohamed, Sebbar Ahmed, Rahmi Hichem,
Faradji Amine, Senouci Abdelmonaim,...*

A la promotion LMD Master RMS

A tous ceux qui me sont chers et qui m'aiment.

BOURAI AMAR

Dédicaces

C'est grâce à Allah seul que j'ai pu achever ce travail.

Je le dédie à :

Ma très chère mère, qui a toujours été présente pour moi, dans les moments les plus difficiles et qui sans cesse veille sur moi avec ses prières, pour ses grands sacrifices et tout l'amour qu'elle me porte.

Mon très cher père, pour tous ses conseils et pour toute la confiance qu'il a mise en moi et pour son dévouement pour mon bonheur.

Que dieu me le garde.

Mes chères sœurs : Amina, Fatima Zohra, Zeyneb et Aicha Sarah.

Toute la famille : Bentabet et Kasmi.

Tous mes amis(es), plus particulièrement « Younes qui a beaucoup m'aidé, Zaki et Farid »

Mon binôme BOURAI Amar et toute sa famille

Tous mes enseignants

*Toute la promotion de « Réseaux Mobiles et Services »
chaqu'un par son nom*

BENTABET Abdel Hamid

Résumé :

Les réseaux de capteurs sans fil se caractérisent par l'aspect miniaturisé et les ressources limitées en termes d'énergie, calcul et stockage. Ils sont conçus pour plusieurs domaines d'applications. Dans le cadre de notre projet, on a implémenté une plateforme pour les applications qui permet de détecter le feu dans une forêt et le localiser, c'est-à-dire connaître sa position. Ces applications consistent à envoyer des informations périodiques à un centre de contrôle distant. Ces informations peuvent être exploitées directement (intervention) ou stockées dans une base de données pour effectuer des éventuelles statistiques.

Pour réaliser cette plateforme, on a utilisé des outils logiciels spéciaux qui ont été développés pour les dispositifs à ressources limitées : TinyOs comme système d'application et NesC comme langage de programmation des capteurs.

Mots clés : Réseaux de capteurs, localiser, TinyOS, NesC.

Liste des figures

Figure1.1 : Classification des réseaux sans fils.....	05
Figure1.2 : Le modèle des réseaux mobiles avec infrastructure.	09
Figure1.3 : Réseau en mode ad hoc.....	10
Figure1.4 : La modélisation des réseaux ad hoc.	10
Figure1.5 : Le changement de la topologie des réseaux ad hoc.....	11
Figure1.6 : Communication entre les nœuds.....	12
Figure 2.1 : Architecture d'un capteur.....	18
Figure2.2 : Réseau de capteur sans fil.....	19
Figure2.3 : Energie consommée par les sous-systèmes d'un capteur.	23
Figure2.4 : Domaines d'applications des RCSFs.....	28
Figure3.1 : Estimation de position par trilatération.....	33
Figure3.2 : Triangle.....	34
Figure3.3 : Triangulation.....	35
Figure3.4 : Le diagramme horizontal d'une antenne.	35
Figure3.5 : Ensemble d'antenne de n éléments.	36
Figure3.6 : Exemple des mesures TDOA.....	39
Figure3.7 : Méthode RSSI.....	41
Figure4.1 : Conditions de déclenchement d'un feu de forêt (triangle de feu).	48
Figure4.2 : Les combustibles des feux de forêt.....	49
Figure4.3 : Les mécanismes de propagation d'un feu de forêt.	50
Figure4.4 : Logo de TinyOS.	52
Figure4.5 : Schéma représentant l'architecture de TinyOS.	54
Figure4.6 : Spécifications de capteur Mtm-cm5000-msp.	56
Figure4.7 : Schéma de communication dans la plateforme.	58
Figure4.8 : Diffusion d'alerte.....	60

Liste des figures

Figure4.9 : Diffusion d’alerte et de position.	61
Figure4.10 : Détection d’alerte dans la station de base.....	62
Figure4.11 : Affichage d’alerte.	63

INTRODUCTION GENERALE :

La convergence des progrès réalisés d'une part dans le domaine de la microélectronique et d'autre part dans les technologies de communication sans fil a permis de produire à coût raisonnable des capteurs communicants peu consommateurs en énergie. Et dans Le besoin d'observer et de contrôler les environnements hostiles, ces petites entités électroniques ont l'objectif de récolter des grandeurs physiques (luminosité, mouvement, température, pression barométrique, etc.), et éventuellement de les traiter, De plus, ils se doivent d'être autonomes, d'une taille miniature et peuvent être déployés d'une manière dense et aléatoire dans le champ surveillance.

Ces dispositifs sont généralement appelés des « nœuds de senseurs » (ou simplement "senseurs") et peuvent être repartis sur le sol, dans les véhicules, à l'intérieur des constructions et même sur le corps humain. Comme ils peuvent être connectés sans être reliés physiquement, ils constituent un réseau de senseurs sans fil (WSN : Wireless Sensor Network).

Ce mémoire propose une mise en œuvre d'un réseau de senseurs sans fil, capable de recueillir et de traiter des informations provenant de l'environnement, comme la température. D'où le titre : « Mise en œuvre d'un réseau de senseurs sans fil pour la détection et la localisation d'un incendie ». L'objectif de notre travail consiste à étudier et à proposer un algorithme qui permet d'apporter des réponses au problématique de la localisation.

Ce manuscrit est organisé en quatre chapitres suivis d'une conclusion générale. Le positionnement de notre travail est présenté sur les trois premiers chapitres et notre contribution est détaillée dans le dernier :

Le premier chapitre est un état de l'art sur les réseaux sans fil, il définit les concepts de base pour plusieurs types de ces réseaux et passe en revue leurs principales caractéristiques, et les différents domaines d'applications.

Le second chapitre concerne un des types des réseaux sans fil, il introduit les réseaux de capteurs, en présentant leurs architectures, caractéristiques, et leurs applications dans les différents domaines.

Dans le troisième chapitre, nous présentons l'investigation de notre deuxième axe de recherche, à savoir la problématique de la localisation dans les réseaux de capteurs sans fil. Tout d'abord, nous expliquons le principe de système de localisation et leurs critères, ensuite nous abordons des techniques et des algorithmes concernant la localisation.

Introduction générale

Le dernier chapitre est consacré à la conception et la mise en œuvre de notre projet qui consiste à réaliser une plateforme dédiée aux réseaux de capteurs sans fil. Cette plateforme permet premièrement de surveiller la variation de la température en déployant un réseau de capteurs sans fil, et deuxièmement de localiser le feu lors d'un déclenchement d'alerte.

1. Introduction :

L'essor des technologies sans fil, offre aujourd'hui de nouvelles perspectives dans le domaine des télécommunications. L'évolution récente des moyens de la communication sans fil a permis la manipulation de l'information à travers des unités de calculs portables qui ont des caractéristiques particulières (une faible capacité de stockage, une source d'énergie autonome..) et accèdent au réseau à travers une interface de communication sans fil. Comparant avec l'ancien environnement (l'environnement statique), le nouvel environnement résultant appelé l'environnement mobile, permet aux unités de calcul, une libre mobilité et il ne pose aucune restriction sur la localisation des usagers. La mobilité (ou le nomadisme) et le nouveau mode de communication utilisé, engendrent de nouvelles caractéristiques propres à l'environnement mobile : une fréquente déconnexion, un débit de communication et des ressources modestes, et des sources d'énergie limitées.

Les environnements mobiles offrent une grande flexibilité d'emploi. En particulier, ils permettent la mise en réseau des sites dont le câblage serait trop onéreux à réaliser dans leur totalité.

L'évolution des dispositifs de calcul et les progrès dans l'infrastructure de communication ont abouti à la croissance rapide des réseaux sans fil. Ceux-ci sont géographiquement étendus (GSM, Wimax), locaux (802.11, Zigbee) ou personnels (Bluetooth). On trouve également les NFC (Near Field Communication) utilisés pour de nouveaux services (paiement des transports, affichage d'informations contextuelles...) et des RFID qui permettent d'optimiser le fonctionnement des processus internes de l'entreprise, comme la logistique, la traçabilité ou la production par exemple.

On assiste à la croissance exponentielle des réseaux cellulaires qui sont basés sur la combinaison de technologies câblées et sans fil. Dans les réseaux cellulaires, comme les GSM, chaque antenne couvre un territoire défini et lors des déplacements de l'utilisateur le téléphone mobile change de cellule. On dit que ce type de réseau a une infrastructure fixe bien définie.

Lorsque cette infrastructure pour gérer le réseau n'existe pas, on parle alors de réseau Ad-hoc. Un tel réseau se caractérise donc par l'absence d'infrastructure pour les nœuds qui le composent. Les nœuds jouent donc un rôle primordial dans le transfert des informations et la gestion du routage de celles-ci, devant entre autre gérer les reconfigurations topologiques. Cette caractéristique, couplée à la forte implication des nœuds dans le transfert des

Chapitre 1: Aperçu sur les réseaux sans fils

informations via des technologies sans fil, rendent la qualité de service, le routage et la sécurité beaucoup plus complexes à réaliser.

Dans ce chapitre, on va introduire notre thèse et positionner le sujet dans la thématique des réseaux sans fils .nous présentons les principes et les caractéristiques des réseaux sans fils et leurs domaines d'application.

2. Réseau sans fil :

2.1. Définition :

Un réseau sans fil est un réseau informatique ou numérisé qui connecte différents postes ou systèmes entre eux par ondes radios.

Le réseau sans fil peut associer à un réseau de télécommunication pour réaliser des interconnexions entre nœuds .la norme la plus utilisée actuellement pour les réseaux sans fil est la norme IEEE802.11.

Le rayonnement géographique des ondes est relativement limite étant donne la faible puissance d'émission des solutions matérielles actuelles. Pour cette raison, les réseaux sans fil se sont avant tout développés comme réseaux internes, propres à un bâtiment, soit comme réseau d'entreprise, soit comme réseau domestique [1].

2.2. Les catégories des réseaux sans fils :

Un réseau sans fil (Wireless network) est un réseau où au moins deux nœuds peuvent avoir une communication sans liaison filaire. Ces réseaux de communications permettent aux utilisateurs de profiter de tous les services traditionnels des réseaux indépendamment de leurs positions géographiques. Les réseaux sans fil peuvent avoir une classification selon deux critères. Le premier est la zone de couverture du réseau. Au vu de ce critère il existe quatre catégories : les réseaux personnels, les réseaux locaux, le réseau métropolitain et les réseaux étendus. Le second critère est l'infrastructure ainsi que le modèle adopté. Par rapport à ce critère on peut diviser les réseaux sans fils en : réseaux avec infrastructures et réseaux sans infrastructure, comme on le voit dans l'illustration de la figure suivante [2] :

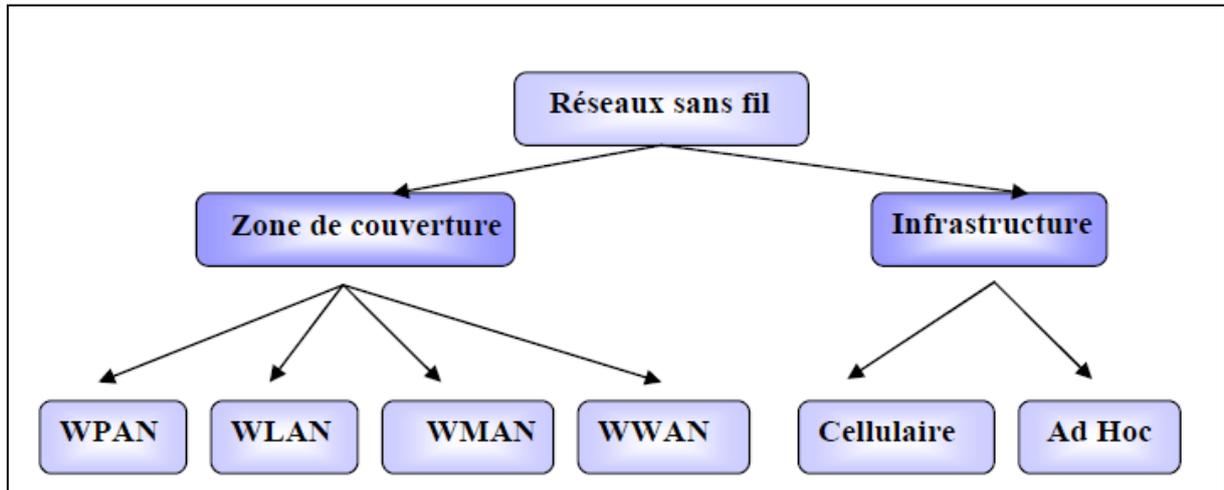


Figure1.1: Classification des réseaux sans fil.

2.2.1. Selon la zone de couverture :

a. Réseaux personnels sans fil (WPAN) :

Les réseaux personnels sans fil ou Wireless Personal Area Network (WPAN), sont des réseaux sans fil à très faible portée, de l'ordre d'une dizaine de mètres. Ils sont le plus souvent utilisés à faire communiquer entre eux des matériels présents sur une personne (par exemple une oreillette et un téléphone portable). Ils sont également utilisés pour relier des équipements informatiques entre eux sans liaison filaire : par exemple pour relier une imprimante ou un PDA (Personal Digital Assistant) à un ordinateur de bureau ou faire communiquer deux machines très peu distantes [2]. Il existe plusieurs technologies permettant la mise en œuvre de tels réseaux qui sont :

- **Bluetooth :**

La norme Bluetooth (pris en charge par IEEE 802.15.1) est une technologie de moyen débit, elle permet d'atteindre un débit maximal théorique de 1Mbps (environ 720Kbps effectif) à basse consommation énergétique. Bluetooth utilise la bande de fréquence 2.4GHz avec une couverture entre 10 et 30 mètres.

Cette technologie permet de créer un réseau de 8 appareils en communication simultanée. La petite taille des composants Bluetooth lui permet d'être inséré dans des équipements tels que les claviers et les souris sans fil, les kits main libre ou écouteur et le transfert de données entre un pc et les PDA (Personal digital assistant) ou téléphones mobiles...etc. [3].

- **HomeRF :**

Comme son nom l'indique, HomeRF est une norme de réseau destinée à un usage domestique pour partager un accès à Internet ou transporter des communications téléphoniques DECT3. Il a été lancé par le consortium industriel formé entre autres par HP, IBM, Siemens, Proxim, Compaq, Intel et Microsoft. HomeRF proposait une couche physique travaillant dans la bande des 2,4 GHz, en FHSS (à 50 sauts par secondes), sur une modulation de type 2-FSK ou 4-FSK. Le débit bande de base est de 1 Mbits/s ou 2 Mbits/s, suivant la modulation utilisée, avec une portée typique de l'ordre d'une cinquantaine de mètres. HomeRF n'a pas connue de succès et a été abandonnée [4].

- **ZigBee :**

Le standard IEEE 802.15.4 propose une norme pour les couches physique et liaison de données, orientée très faible consommation énergétique, qui rend cette technologie bien adaptée à de petits appareils électroniques (appareils électroménagers, hifi, jouets, ...), et plus particulièrement aux réseaux de capteurs. La pile proposée par l'IEEE et la ZigBee qui a pour objectif de promouvoir une puce offrant un débit relativement faible (100Kbps environ) mais à un coût très bas, et une consommation électrique extrêmement réduite [2] ;[4].

- **Liaisons infrarouges :**

La technologie infrarouge ou IrDA est également utilisée dans ce type de réseaux. Cette technologie est cependant beaucoup plus sensible que Bluetooth aux perturbations lumineuses et nécessite une vision directe entre les éléments souhaitant communiquer, ce qui la limite bien souvent à un usage de type télécommande [2].

b. Réseaux locaux sans fil (WLAN) :

Depuis le développement des normes qui offrent un haut débit, les réseaux locaux sans fil ou Wireless Local Area Network (WLAN) sont généralement utilisés à l'intérieur d'une entreprise, d'une université, mais également chez les particuliers. Ces réseaux sont principalement basés sur les technologies suivantes :

- **IEEE 802.11, WiFi (Wireless Fidelity) :**

IEEE 802.11 [5] est un standard de réseau sans fil local proposé par l'organisme de standardisation Américain IEEE. La technologie 802.11 est généralement considérée comme la version sans fil de 802.3 (Ethernet). La technologie 802.11 a connu beaucoup d'évolutions, notamment la 802.11.a et la 802.11b qui proposent une amélioration de la norme initiale en

Chapitre 1: Aperçu sur les réseaux sans fils

introduisant la modulation CCK (Complementary Code Keying) dans la bande des 2,4 GHz. Deux nouveaux débits sont alors disponibles, 5,5 Mbits/s et 11 Mbits/s sur une portée de quelques dizaines de mètres environ. Le 802.11b est l'amendement de 802.11 qui a donné sa popularité au WiFi. Bien que 802.11b soit encore largement utilisé, il est maintenant supplanté par 802.11g. Ce dernier constitue une amélioration directe de 802.11b avec un débit bande de base de 54 Mbits/s sur la bande des 2,4 GHz.

- **Hiperlan 1 & 2 :**

Élaboré par l'ETSI (European Telecommunications Standards Institut), Hiperlan est exclusivement une norme européenne. La technologie de Hiperlan exploite la bande de fréquence de 5Ghz et les débits changent selon la version, ainsi : **Hiperlan1** apporte un débit de 20 Mbit/s et **Hiperlan2** offre un débit de 54 Mbit/s sur une portée d'action semblable dans celui de la Wi-Fi (100 mètres) [2].

c. Les réseaux métropolitains sans fil (WMAN) :

Les réseaux métropolitains sans fil ou Wireless Metropolitan Area Network (WMAN) sont aussi connus sous l'appellation de boucle locale radio (BLR). Les réseaux basés sur la technologie IEEE 802.16 ont une portée de l'ordre de quelques dizaines de kilomètres (50km de portée théorique annoncée) et un taux de transmission radio théorique pouvant atteindre 74 Mbit/s pour IEEE 802.16, plus connu sous le nom commercial de WiMAX [2].

d. Les réseaux sans fil étendus (WWAN) :

Les réseaux sans fil (WWAN pour Wireless Wide Area Network) Cette catégorie possède assez peu de technologies à l'heure actuelle. Les seules technologies de WWAN disponibles sont des technologies utilisant les satellites géostationnaires ou en orbite basse pour relayer l'information entre plusieurs points du globe [2]. Les principales technologies sont les suivantes :

- **GSM :**

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

subdivisé en petites cellules attachées les unes aux autres. Chaque cellule se voit assigner un certain nombre de canaux permettant les communications [2] ;[6].

- **GPRS :**

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

Les terminaux peuvent être intégrés efficacement aux réseaux Internet. La vitesse "utile" sera d'environ 40 Kb/s (vitesse maximum : 171 Kb/s), l'un ou l'autre est quatre fois supérieure à celle du GSM [2].

- **UMTS :**

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

La norme d'UMTS exploite de nouvelles bandes de fréquences situées entre 1900 et 2200 MHz. Cette technologie permet de faire passer des données simultanément et offre alors des débits nettement supérieurs à ceux atteints par le GSM et le GPRS [2].

2.2.2. Selon l'infrastructure :

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

a. Réseaux cellulaires (avec infrastructure) :

Ce type de réseaux se compose des éléments suivants [7] :

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

Chapitre 1: Aperçu sur les réseaux sans fils

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

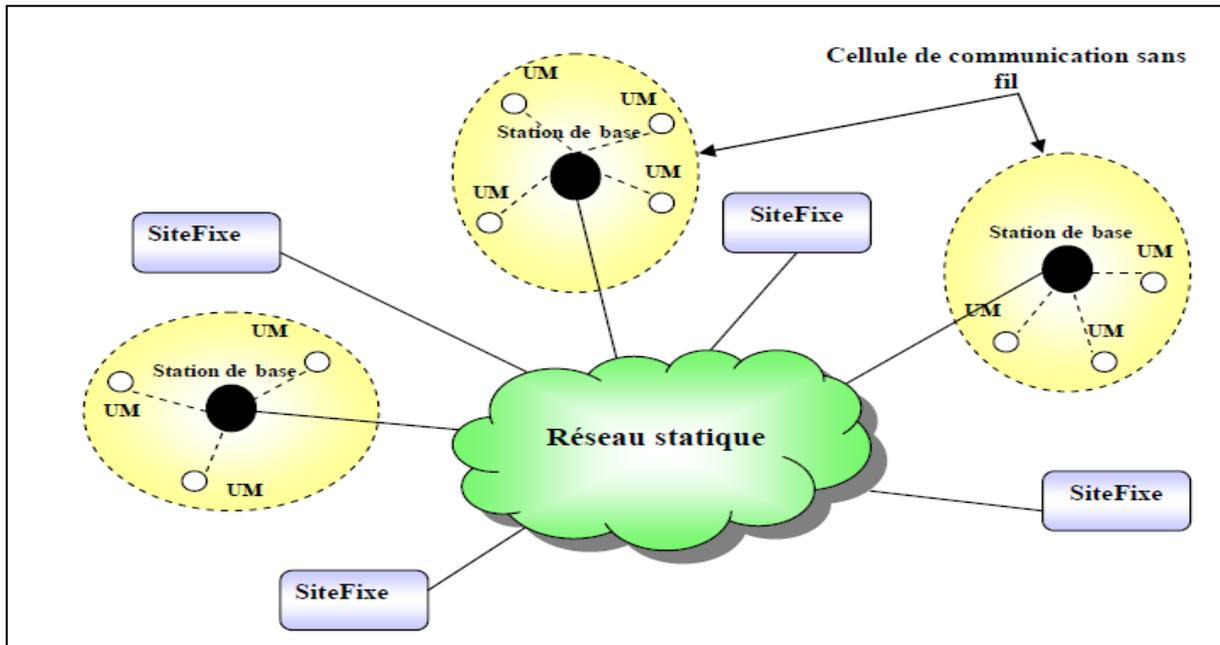


Figure1.2 : Le modèle des réseaux mobiles avec infrastructure.

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

b. Réseaux ad hoc (sans infrastructure) :

L'évolution récente de la technologie dans le domaine de la communication sans fil et l'apparition des unités de calculs portables (les laptops par exemple), poussent aujourd'hui les chercheurs à faire des efforts afin de réaliser le but des réseaux :

"L'accès à l'information n'importe où et n'importe quand"

Le concept des réseaux mobiles ad hoc essaie d'étendre les notions de la mobilité à tous les composants de l'environnement.

Ici, contrairement aux réseaux sans fil basés sur les points d'accès (avec infrastructure), aucune administration centralisée n'est disponible, ce sont les hôtes mobiles elles-mêmes qui forment, d'une manière ad hoc, une infrastructure du réseau. Aucune

Chapitre 1: Aperçu sur les réseaux sans fils

supposition ou limitation n'est faite sur la taille du réseau ad hoc, le réseau peut contenir des centaines ou des milliers d'unités mobiles.

Les réseaux ad hoc sont idéals pour les applications caractérisées par une absence (ou la non fiabilité) d'une infrastructure préexistante, tel que les applications militaires et les autres applications de tactique comme les opérations de secours (incendies, tremblement de terre..) et les missions d'exploration [2] ; [3].

1. Définition :

Un réseau ad hoc, connu aussi sous le nom de MANET (Mobile Ad hoc NETwork), est un réseau dont la topologie ne bénéficie d'aucune infrastructure fixe préexistante ou administration topologie ne bénéficie d'aucune infrastructure fixe préexistante ou administration centralisée [3].

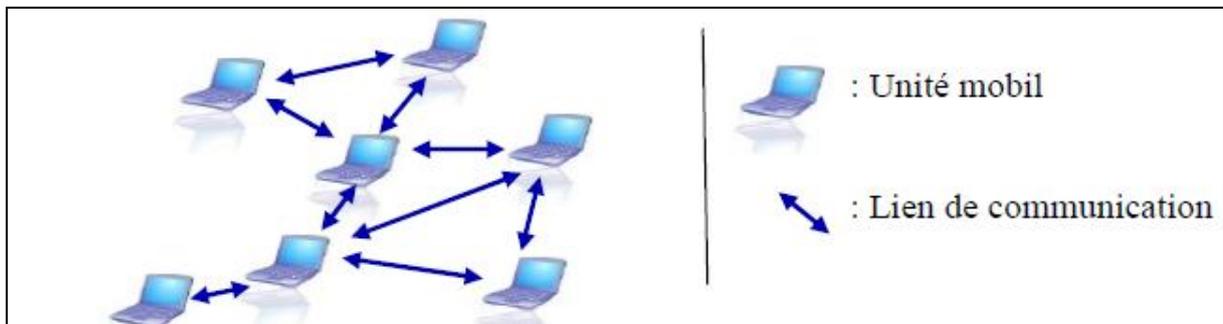


Figure1.3 : Réseau en mode ad hoc.

Ici, contrairement aux réseaux basés sur la communication cellulaire, ce sont les unités mobiles elles même qui forment, d'une manière ad hoc, une infrastructure du réseau et en maintiennent la connectivité d'une façon décentralisée. L'information est transmise par l'intermédiaire des mobiles présents.

Un réseau ad hoc est un réseau sans fil auto-configurable. Lorsque deux machines mobiles ou plus se retrouvent dans le même secteur géographique, elles doivent se reconnaître pour pouvoir s'échanger des données. Le réseau doit se configurer automatiquement ; périodiquement ou à la demande pour assurer la liaison entre ces machines [3].

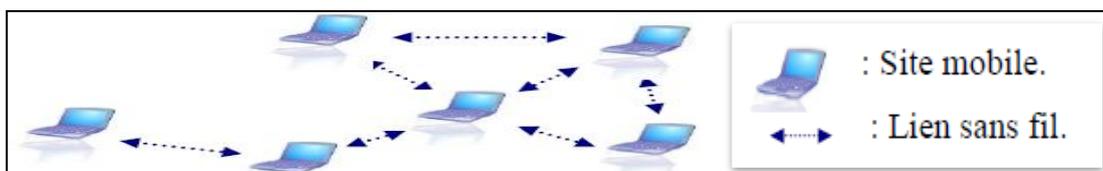


Figure1.4 : La modélisation des réseaux ad hoc.

Chapitre 1: Aperçu sur les réseaux sans fils

Un réseau ad hoc doit être facilement déployé, les nœuds peuvent joindre et quitter le réseau de façon totalement dynamique sans devoir en informer le réseau et si possible sans perturber les communications entre les autres nœuds du réseau.

La topologie des réseaux ad hoc est dynamique et décentralisé. Elle peut changer aléatoirement, et les unités mobiles sont libres de se déplacer arbitrairement. De ce fait, la déconnexion de ces unités est très fréquente [3].

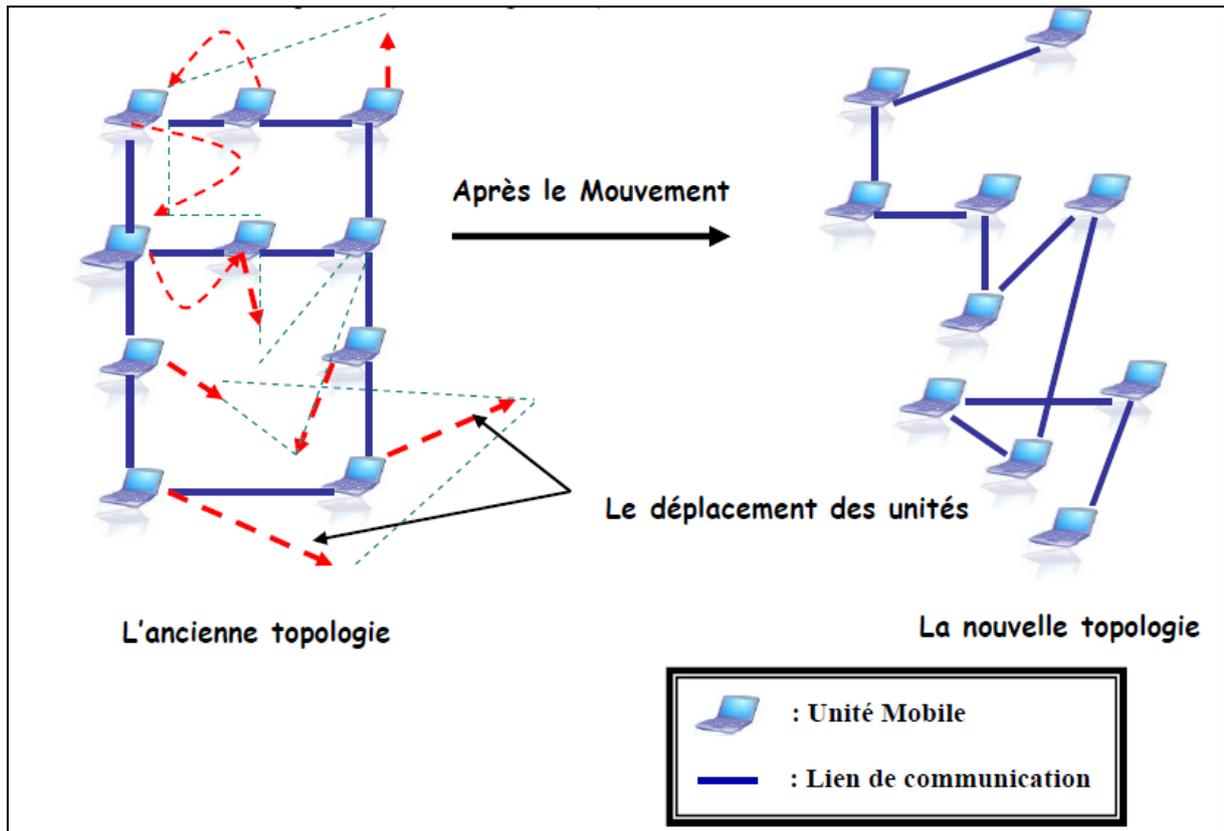


Figure1.5 : Le changement de la topologie des réseaux ad hoc.

Dans le cas, le plus compliqué, où une machine voudrait communiquer avec une autre se trouvant hors de portée, chaque nœud du réseau peut alors servir de routeur. Dans l'exemple ci-dessous, la machine A veut communiquer avec la machine C se trouvant hors de son champ de réception. Pour aboutir, la connexion réseau va donc utiliser la machine B se trouvant à la fois à portée de réception des machines A et C [3].

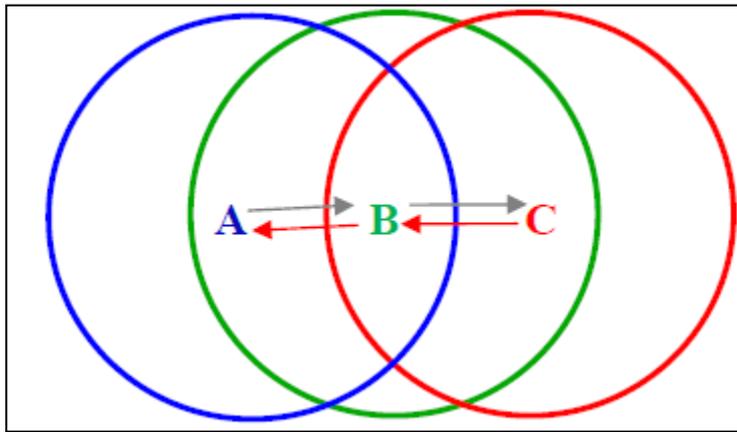


Figure1.6 : Communication entre les nœuds.

A partir de cette définition générale, il est intéressant de mettre en avant les caractéristiques principales qui différencient un réseau ad hoc d'un réseau classique.

2. Caractéristiques des réseaux ad hoc :

- **Mobilité (Une topologie dynamique) :**

La mobilité des nœuds constitue à l'évidence une caractéristique très spécifique des réseaux ad hoc. Cette mobilité est intrinsèque au fonctionnement du réseau. Dans un réseau ad hoc, la topologie du réseau peut changer rapidement, de façon aléatoire et non prédictible et les techniques de routage des réseaux classiques, basées sur des routes préétablies, ne peuvent plus fonctionner correctement [8].

- **Equivalence des nœuds du réseau :**

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

Cette différence n'existe pas dans les réseaux ad hoc car tous les nœuds peuvent être amenés à assurer des fonctions de routage [8].

- **Liaisons sans fil (Une bande passante limitée) :**

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

traités de façon prioritaire pour prendre en compte rapidement les modifications de topologie [8].

- **Autonomie des nœuds (Des contraintes d'énergie) :**

La consommation d'énergie constitue un problème important pour des équipements fonctionnant grâce à une alimentation électrique autonome. Ces équipements intègrent des modes de gestion d'énergie et il est important que les protocoles mis en place dans les réseaux ad hoc prennent en compte ce problème [8].

- **Vulnérabilité (Une sécurité physique limitée) :**

Les réseaux sans fil sont par nature plus sensibles aux problèmes de sécurité. Pour les réseaux ad hoc, le principal problème ne se situe pas au niveau du support physique mais principalement dans le fait que tous les nœuds sont équivalents et potentiellement nécessaires au fonctionnement du réseau [8].

3. Applications :

- **Recherche et sauvetage :**

Quand nous sommes en face d'un tremblement de terre, un ouragan ou bien n'importe quel désastre, les réseaux sans fil ad hoc peuvent s'avérer très utiles dans les opérations de la recherche et sauvetage. En général, les désastres laissent une grande population sans électricité et moyens de communication. Les réseaux sans fil ad hoc peuvent être établis sans de telles infrastructures et peuvent fournir des transmissions entre les diverses équipes de recherche pour coordonner leurs opérations de sauvetage [8] ; [3].

- **Domaine militaire :**

La transmission sécurisée est un des aspects principaux de toutes opérations militaires réussies. En outre, beaucoup d'opérations de la défense ont lieu dans des endroits où l'infrastructure de transmission n'est pas disponible. L'utilisation des réseaux sans fil ad hoc et de capteur dans de telles situations devient très utile. Les différentes unités (armée terrestre, marine, et l'armée de l'Air) impliquées dans des opérations militaires doivent également garder la transmission entre eux. Les avions de l'armée de l'air volant dans un groupe peuvent établir un réseau sans fil ad hoc pour communiquer entre eux et échanger des images et des données. Les groupes d'armée en mouvement peuvent également utiliser les réseaux sans fil ad hoc pour communiquer entre eux-mêmes. La même chose s'applique à la marine.

Chapitre 1: Aperçu sur les réseaux sans fils

L'idéal de ce type de communication est que le réseau ad hoc se déplace avec les combattants sur terre ou les avions en air. Une des nombreuses applications des réseaux sans fil ad hoc (en particulier de capteur) est la collecte de l'information. Les capteurs utilisés pour de telles applications sont essentiellement jetables et sont utilisés une fois pour une application. Les capteurs peuvent être déployés en grandes quantités dans la zone choisie pour la collecte intelligente de l'information. Les capteurs peuvent être déployés par avion ou par d'autres moyens.

En raison de leurs tailles très petites, les capteurs resteront suspendus dans l'air un certain temps. Pendant ce temps, ils peuvent rassembler l'information pour laquelle ils ont été programmés, traitent l'information, partagent l'information collectée avec d'autres capteurs voisins, et transmettent l'information à un nœud central. L'information peut alors être analysée au service de traitement central, et une décision au sujet de la prochaine étape peut être prise. Les réseaux de capteur peuvent également être utilisés pour repérer des objets ou des cibles, qui sont un des applications critiques dans le domaine militaire [3] ; [8].

- **Domaine de la santé :**

L'échange de l'information multimédia (audio, vidéo, et données) entre le patient et les équipements est très utile dans des situations critiques et d'urgences. Un individu qui est transporté à l'hôpital dans une ambulance peut envoyer de l'information en utilisant les réseaux ad hoc. Un docteur, dans beaucoup de situations, est en bonne position pour diagnostiquer et préparer un traitement pour un patient s'il a une vidéo plutôt que juste des données. Par exemple, la vidéo peut être utile en évaluant les réflexes et en visualisant la capacité de coordination d'un patient. De même, la gravité des blessures d'un patient peut être établie mieux avec l'information visuelle qu'avec information sonore ou juste autre information. L'échographie des reins d'un patient, du cœur, ou d'autres organes, en temps réel, peut être très utile en préparant un traitement pour un patient qui est transporté à l'hôpital, avant son arrivée. Une telle information peut être communiquée par les réseaux sans fil, d'une ambulance à un hôpital ou à des chirurgiens qui sont dispersés dans différents endroits mais ils convergent vers l'hôpital pour traiter le patient.

Les réseaux sans fil ad hoc installés dans les maisons peuvent être très utiles pour surveiller les patients chez eux. Ces maisons intelligentes peuvent prendre quelques décisions de base, (basées sur l'information échangée entre les différents capteurs du réseau ad hoc), qui sont bénéfiques aux personnes âgées. D'autres informations peuvent être collectées par les maisons intelligentes comme la surveillance des mouvements au sein de la maison, en

Chapitre 1: Aperçu sur les réseaux sans fils

reconnaissant une chute d'un être humain, ou bien une situation inhabituelle, et d'informer un organisme approprié afin que l'aide puisse être fournie, à temps. Le concept des tenues intelligentes, qui sont examinées dans la section sur le domaine militaire (ci-dessus), peut également être utilisé pour surveiller les conditions de santé des patients. Ces tenues peuvent devenir très utiles pour fournir les soins aux personnes âgées [3];[8].

- **Domaine académique :**

La plupart des établissements universitaires ont déjà des réseaux sans fil, ou sont en train d'établir de telles installations. Un tel environnement offre aux étudiants et aux professeurs un environnement pour interagir et accomplir leurs missions. Les réseaux sans fil ad hoc peuvent améliorer un tel environnement, et ajouter de nombreuses fonctionnalités. Par exemple, une communication sans fil peut être établie entre l'enseignant et les étudiants inscrits dans sa classe. Un tel environnement peut fournir un mécanisme simple et pratique pour l'instructeur afin de distribuer des documents à tous les élèves de sa classe et également pour que les étudiants soumettent leurs travaux. Le partage d'informations entre les participants du cours peut être aussi simple que de taper une touche du clavier. En raison de la mobilité des réseaux sans fil ad hoc, ces réseaux peuvent également être mis en place lors d'une visite aux sites industriels. Rester en contact ne peut pas être plus simple [8].

- **Domaine industriel :**

La plupart des sites industriels ou d'entreprises ont des réseaux sans fil en place, en particulier dans des environnements de production. Les installations de fabrication, en général, ont de nombreux dispositifs électroniques qui sont interconnectés. Le câblage mène à un encombrement de l'espace, qui pose non seulement des risques en matière de sécurité mais compromet également la fiabilité. L'utilisation des réseaux sans fil élimine plusieurs de ces soucis. Si la connectivité est sous forme de communication sans fil ad hoc, cela ajoute beaucoup d'aspects bénéfiques, y compris la mobilité. Les dispositifs peuvent être facilement déplacés, et les réseaux reconfigurés sur la base des nouvelles exigences [8] ;[3].

3. Conclusion :

Après avoir abordé le concept général de la communication sans fil, nous nous sommes intéressés plus à une catégorie des réseaux sans fil qui sont les réseaux de capteurs sans fils. Pour cela, on va traiter dans le prochain chapitre les réseaux de capteurs avec plus de détails sur les caractéristiques et l'intérêt qu'apporte ce type de réseaux.

Chapitre 2 : Les réseaux de capteurs et leurs applications

1. Introduction :

Les avancées récentes en technologie des systèmes micro-électro-mécanique (MEMS), des communications sans fil, et de l'électronique numérique ont permis le développement de nœuds capteurs peu coûteux, multifonctionnels et de basse puissance.

Ces capteurs sont petits par la taille et communiquent sur des courtes distances. Ces nœuds capteurs minuscules, sont constitués de composants de capture, de traitement de données et de communications. Ils ont influencé l'idée des réseaux de capteurs basés sur la collaboration d'un grand nombre de nœuds. Les réseaux de capteurs représentent une amélioration significative par rapport aux capteurs traditionnels. L'étendue des applications des réseaux de capteurs est vaste, on les retrouve dans le domaine de la santé, de la sécurité et dans le secteur militaire. ils permettent à l'utilisateur une meilleure compréhension de l'environnement. De nos jours, les réseaux de capteurs sans fils font partie intégrante de notre vie. La réalisation des applications mettant en œuvre les réseaux de capteurs sans fil nécessitent l'utilisation des techniques ad-hoc.

2. Le capteur :

2.1. Définition :

Un capteur est un petit appareil autonome capable d'effectuer des mesures simples sur son environnement immédiat, comme la température, la vibration, la pression, etc. Chaque capteur assure trois fonctions principales : la collecte, le traitement et la communication de l'information vers un ou plusieurs points de collecte appelés station de base (SB) [9].

2.2. Architecture :

L'évolution de l'architecture des capteurs est un des facteurs qui a permis l'essor de solutions à base de réseaux de capteurs. En effet les capteurs des générations précédentes avaient une architecture qui se limitait au capteur proprement dit (dispositif capable de mesurer une grandeur physique) et une unité d'alimentation (batterie, piles, etc.).

Les capteurs actuels ont su évoluer pour ajouter les fonctionnalités de traitement de l'information et de la communication de cette information. La figure 2.1 est l'illustration la plus générale de l'architecture d'un capteur.

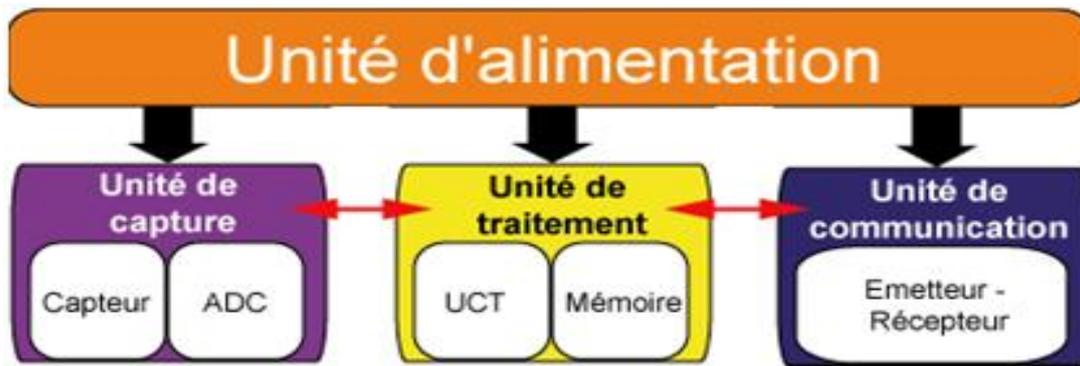


Figure2.1: Architecture d'un capteur

Cette architecture s'articule autour de 4 axes :

2.2.1. L'unité de traitement : c'est l'unité principale du capteur, généralement un processeur couplé à une mémoire vive. Son rôle est de contrôler le bon fonctionnement des autres unités. Sur certains capteurs elle peut embarquer un système d'exploitation pour faire fonctionner le capteur. Elle peut aussi être couplée à une unité de stockage, qui servira par exemple à y enregistrer les informations transmises par l'unité de capture.

2.2.2. L'unité de capture : elle permet la capture des données, c'est à dire la mesure des grandeurs physiques ou analogiques et leur conversion en données numériques. Elle est composée du capteur lui-même et de l'ADC (Analog to Digital Converter) . Le capteur est chargé de récupérer les signaux analogiques qu'il transmet à l'ADC qui a pour rôle de transformer et de communiquer les données analogiques en données numériques compréhensibles pour l'unité de traitement.

2.2.3. L'unité de communication : elle a pour fonction de transmettre et recevoir l'information. Elle est équipée d'un couple émetteur/récepteur. Elle permet la communication au sein du réseau, dans le cas qui nous intéresse par radiofréquence (ondes radios). Il existe cependant d'autres possibilités de transmission (optique, infrarouge, etc. . .).

2.2.4. L'unité d'alimentation : élément primordial de l'architecture du capteur, c'est elle qui fournit en énergie toutes les autres unités. Elle correspond le plus souvent à une batterie ou une pile alimentant le capteur, dont les ressources limitées en font une problématique propre à ce type de réseau. La réalisation récente d'unité d'alimentation à base de panneaux solaires tente d'apporter une solution pour prolonger sa durée de vie [10], [11].

Chapitre 2 : Les réseaux de capteurs et leurs applications

3. Réseaux de capteur sans fil :

Les réseaux de capteurs sans fil ou WSN (Wireless Sensor Networks) constituent une catégorie particulière de réseaux ad hoc. Ces derniers sont conçus pour répondre à des problématiques de communications où l'homme est souvent un acteur principal (accès à un réseau global comme Internet, téléphonie, télécommande. . .). Les WSN's offrent des moyens de communication très souvent spontanés entre objets autonomes, généralement sans aucune intervention humaine. Il existe des différences considérables entre les réseaux de capteurs et les réseaux ad hoc, donc dans la plus part des cas on ne pourra pas utiliser les mêmes protocoles [2].

3.1. Définition :

Un réseau sans fil de capteurs est une collection de nœuds. Chaque nœud se compose d'une unité de traitement (un ou plusieurs microcontrôleurs, CPU), peut contenir plusieurs types de mémoire (RAM, disque durs et mémoires Flash), doter d'un émetteur/récepteur et une source d'énergie (par exemple, des batteries et des piles solaires). Les nœuds de ces réseaux consistent en un grand nombre de capteurs capables de récolter et de transmettre des données environnementales d'une manière autonome, dispersés aléatoirement à travers une zone géographique (champ de captage) et mettant en œuvre un routage multi saut jusqu'au nœud considéré comme un « point de collecte ». Les réseaux sans fil de capteurs se composent de nœuds de capteurs qui doivent coopérer à l'exécution d'une fonction spécifique. En particulier, avec la capacité des nœuds de sentir, traiter et communiquer les données, elles sont bien convenues pour exécuter la détection d'événement, qui est clairement une application en avant des réseaux sans fil de capteurs [8].

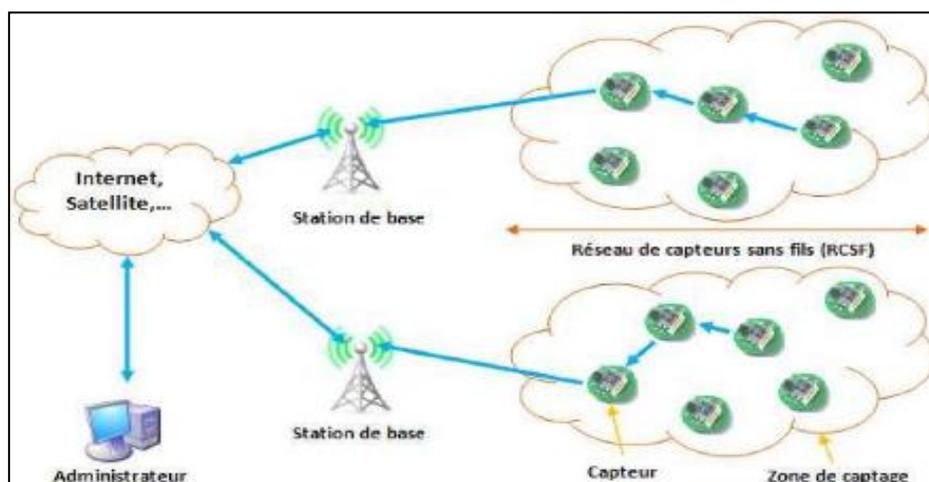


Figure2.2 : Illustration d'un réseau de capteur sans fil

Chapitre 2 : Les réseaux de capteurs et leurs applications

3.2. Caractéristiques des réseaux de capteurs sans fil :

Un ensemble de caractéristiques sont importantes pour l'accomplissement des tâches assignées aux applications. Les plus importants sont :

3.2.1. Le Type de service : on s'attend à ce que le RCSF (réseaux de capteurs sans fil) offre à l'utilisateur, des informations significatives sur l'objet d'intérêt.

3.2.2. La Qualité de service (QoS) : C'est une métrique de la qualité de service qui va être offerte par un RCSF à ses utilisateurs/applications. Le niveau de QoS est défini par un ensemble d'attributs comme le temps d'attente, la largeur de bande, et la perte de paquets qu'on relie directement avec le type de service du réseau. Dans QoS pour les RCSFs, la quantité et la qualité d'information extraites à partir des puits deviennent appropriées.

3.2.3. Tolérance aux fautes : il est important que le RCSF soit capable de traiter l'échec des nœuds capteurs. Une manière reconnue de satisfaire cette contrainte est de réaliser un déploiement redondant des nœuds capteurs.

3.2.4. La durée de vie : C'est la durée pendant laquelle le réseau reste opérationnel. On s'attend à ce que le RCSF puisse fonctionner au moins pendant le temps requis pour accomplir la tâche donnée. Néanmoins, la définition de la durée de vie dépend de l'application du RCSF et elle est en relation directe avec le fonctionnement efficace du réseau.

3.2.5. Scalabilité : Cette caractéristique traduit la capacité de maintenir la performance indépendamment de la taille du réseau. Comme un grand nombre de nœuds de capteur peuvent être employés dans les applications de RCSF, les architectures et les protocoles doivent fournir le support approprié pour maintenir efficacement les services fournis par le réseau.

3.2.6. Maintenance : les changements dans l'environnement du réseau, par exemple, l'apparition de nœuds de capteurs avec des batteries épuisées, exigent une solution permettant l'adaptation et le maintien des services du RCSF.

3.2.7. Programmation flexible : C'est la capacité des nœuds de capteur à modifier les options de traitement des données acquises et à effectuer des changements et des ajustements de leurs tâches [2].

Chapitre 2 : Les réseaux de capteurs et leurs applications

3.3. Mécanismes utilisés pour atteindre les caractéristiques des réseaux de capteurs sans fil :

Afin de réaliser les caractéristiques précédentes, des nouveaux mécanismes de communications, d'architectures et de protocoles doivent être développés. Les mécanismes typiques considérés dans les RCSFs sont :

3.3.1. Communication multi-sauts : Pour les communications à longue distance, l'utilisation des nœuds intermédiaires pour transmettre les paquets, peut induire une réduction de l'énergie exigée.

3.3.2. Utilisation efficace d'énergie : C'est là un mécanisme clé pour offrir et soutenir sur une durée longue l'opérationnalité du réseau.

3.3.3. Auto-configuration : Ce mécanisme est employé dans différents aspects des RCSF. Le nœud capteur devrait être capable d'adapter ses paramètres de service pour tenir compte des défaillances des autres nœuds, des obstacles et de l'ajout de nœuds au réseau.

3.3.4. Collaboration et traitement dans le réseau : Selon l'application, il est parfois exigé qu'un groupe de nœuds de capteurs interagissent afin de détecter un événement ou faire un traitement plus complet d'informations. La considération des approches des offres de traitement dans le réseau comme l'agrégation de données, qui réduisent la quantité de données transmises et par conséquent améliore l'efficacité énergétique du réseau.

3.3.5. Data-centric : dans des applications communes, les nœuds de capteurs sont déployés d'une manière redondante, pour protéger le réseau contre des défaillances de nœuds. Dans une approche « data-centric », l'identité d'un nœud particulier fournissant des données devient non pertinente. Le plus important, ce sont les réponses générales que le RCSF offre à l'utilisateur [2].

3.4. Architecture de communication :

Comme tout les types de réseaux, les RCSF utilisent une architecture de communication en couches, ce sont les cinq premières couches du modèle OSI ; la couche physique, la couche liaison de données, la couche réseau, la couche transport et la couche application. Chaque couche a son propre rôle et ses propres protocoles pour atteindre son objectif. Nonobstant le fait que l'objectif d'un RCSF n'est pas la communication elle même, qu'il est soumis à de fortes contraintes énergétiques, par voie de conséquence, d'autres unités

Chapitre 2 : Les réseaux de capteurs et leurs applications

doivent lui être ajouté afin de gérer la consommation d'énergie, la mobilité des nœuds et l'ordonnement des tâches.

3.4.1. Couche physique :

La couche physique est responsable du choix de la fréquence, de la génération de la fréquence porteuse, de la détection du signal, de la modulation et du chiffage des données. Dans un réseau de capteurs multi-sauts, les nœuds communicants sont liés par un médium sans fil. Ces liens peuvent être constitués par les ondes radio ou des signaux infrarouges.

3.4.2. Couche liaison de données :

Beaucoup de recherches dans le domaine des réseaux de capteurs entrent dans le cadre de l'optimisation de la couche de liaison. Elle manipule toutes les issues de communication entre les nœuds voisins. Dans les réseaux sans fil, l'accès au médium commun (la fréquence) doit être contrôlé. Ceci est appelé le contrôle d'accès au Médium (MAC : Medium Access Control). La tâche principale de cette couche est d'interdire l'accès simultané au canal dans la même marge de fréquence radio. Si un récepteur reçoit deux signaux simultanément, c'est malheureusement une collision qui détruit toute l'information reçue par le récepteur. La plupart des protocoles MAC de la couche liaison tentent d'éliminer entièrement les collisions ou de réduire au minimum la capacité de canal qu'ils exigent.

3.4.3. Couche réseau :

La couche réseau en ce qui concerne les réseaux de capteurs est habituellement conçue selon les principes suivants :

- L'efficacité d'énergie est toujours une considération importante.
- Les réseaux de capteurs sont la plupart du temps data-centric.
- L'agrégation de données est une fonctionnalité majeure.

3.4.4. La couche transport :

La couche transport fournit un service de communication de bout en bout, fiable pour l'application. Elle manipule la segmentation des grands paquets. Elle effectue le contrôle des flots de données de bout en bout afin d'éviter la surcharge du récepteur ou du réseau.

Chapitre 2 : Les réseaux de capteurs et leurs applications

3.4.5. La couche application :

Selon les tâches de capture, il existe différents types de logiciels qui peuvent être installés et employés pour la couche application.

3.4.6. Gestion d'énergie :

La couche de gestion d'énergie contrôle la manière d'utiliser l'énergie par le nœud capteur, et gère la consommation d'énergie selon le mode de fonctionnement employé (capture, calcul, et communication par radio). Par exemple pour éviter de recevoir des messages redondants, le nœud capteur change son mode en « Off » après une réception d'un message d'un de ses voisins. En outre un nœud capteur annonce à ses voisins qu'il a atteint un bas niveau d'énergie, par conséquent il ne va pas participer au routage des données, et l'énergie restante va être utilisée pour capter et détecter des tâches.

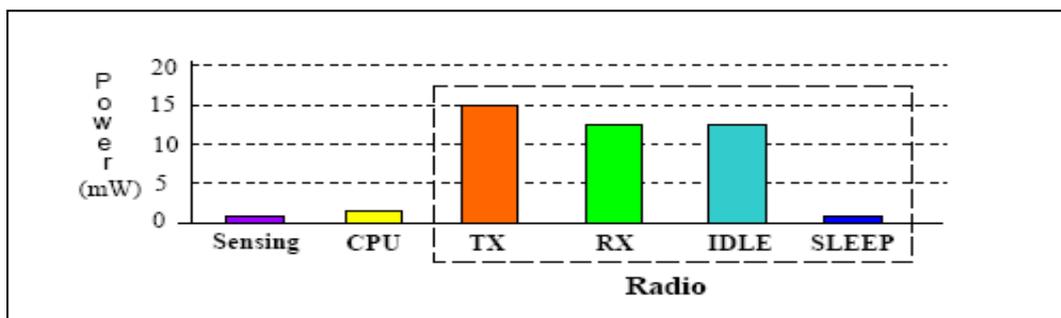


Figure2.3: Energie consommée par les sous-systèmes d'un capteur

3.4.7. Gestion de mobilité :

La couche de gestion de mobilité détecte et enregistre le mouvement/mobilité des nœuds capteurs. En utilisant ces positions, les nœuds capteurs peuvent connaître qui sont leurs voisins. Parfois une auto-organisation des nœuds est nécessaire à cause de la destruction de quelques nœuds. Dans ce cas, la couche de gestion de mobilité doit être capable de faire changer la position des nœuds.

3.4.8. La gestion des tâches :

La couche de gestion des tâches assure la coopération des efforts des nœuds capteurs, elle ordonnance les événements captés, et les tâches détectées dans une zone de capture spécifique. Par conséquent, les nœuds capteurs qui appartiennent à la même zone de capture ne sont pas obligés d'effectuer les tâches de capture en même temps. Selon leur niveau

Chapitre 2 : Les réseaux de capteurs et leurs applications

d'énergie, quelques nœuds capteurs peuvent accomplir des tâches de capture mieux que d'autres [2].

4. Problèmes des réseaux de capteurs sans fil :

Un ensemble de métriques permet de déterminer le design d'un réseau de capteurs. Ces facteurs influencent sur l'architecture des réseaux de capteurs et le choix des protocoles à implémenter [13].

4.1. Consommation d'énergie :

L'économie d'énergie est une des problématiques majeures dans les réseaux de capteurs. En effet, la recharge des sources d'énergie est souvent trop coûteuse et parfois impossible. Il faut donc que les capteurs économisent au maximum l'énergie afin de pouvoir fonctionner. En effet, un réseau de capteurs ne peut pas survivre si la perte de nœuds est très importante car ceci engendre des pertes de communications dues à une très grande distance entre les nœuds restants. Les réseaux de capteurs fonctionnant selon un mode de routage par saut, chaque nœud du réseau joue un rôle important dans la transmission de données. Le mauvais fonctionnement d'un nœud implique un changement dans la topologie et impose une réorganisation du réseau [13].

4.2. Routage :

En réseaux ad hoc, protocoles de routage sont censés appliquer trois fonctions principales: la détermination et la détection des changements de la topologie du réseau; le maintien de la connectivité réseau ; et le calcul et la détection des bon itinéraires. En réseaux de capteurs, moins d'effort à été donnée aux protocoles de routage, même si c'est clair que les protocoles de routage ad hoc tels que DSDV (destination sequenced distance vecteur), TORA (temporally-ordered routing algorithm), DSR (dynamic source routing), et AODV (ad hoc on demand distance vector) ne sont pas adaptées pour le réseaux capteur pour la cause du type de trafic qui est "plusieurs à un" et que tous les nœuds typiquement transmettent à une seule station de base ou centre de fusion. Néanmoins, certains mérites de ces protocoles se rapportent aux caractéristiques des réseaux de capteurs, comme la communication multi-sauts et le routage QoS. Le routage peut être associé à la compression des données pour améliorer l'évolutivité du réseau [12].

Chapitre 2 : Les réseaux de capteurs et leurs applications

4.3. Localisation :

Un système de localisation existe déjà, qui est disponible sur toute la surface du globe le GPS. Pourtant, il n'est pas satisfaisant pour l'usage nécessaire, car il cumule les handicaps. Il est disponible seulement en extérieur, et encore si aucun obstacle ne vient obstruer le champ de vue des récepteurs : le fonctionnement sous un feuillage dense, ou dans des villes aux rues étroites, n'est pas possible, où seulement dans de très mauvaises conditions.

De plus il est particulièrement coûteux, tant en ce qui concerne le matériel – qui est dupliqué en nombreux exemplaires dans un réseau à forte densité de capteurs. De plus, la réception du signal est très gourmande en énergie, ce qui n'est pas compatible avec les problématiques de gestion de durée de vie des batteries. La localisation par moyens propres est donc indispensable. Elle se fait en deux étapes : premièrement l'estimation de la distance aux autres nœuds, et ensuite la triangulation. Le développement de nouvelles techniques de localisation est devenu un grand souci pour les réseaux sans fil de capteurs [12].

4.4. La sécurité :

En fonction de l'application, la sécurité peut être critique. Le réseau devrait permettre la détection des intrusions et la tolérance, ainsi qu'un fonctionnement robuste dans le cas de défaillance parce que, souvent, les nœuds capteur ne sont pas protégés contre les mauvaises manipulation ou attaques. L'écoute, le brouillage, et les attaques de retransmission peuvent entraver ou empêcher l'opération; par conséquent, le contrôle d'accès, l'intégrité des messages, et la confidentialité doit être garanti [12].

4.5. Environnement :

Les capteurs sont souvent déployés en masse dans des endroits hostiles. Ils sont soumis à différentes conditions d'environnement; ils peuvent fonctionner sous haute pression au fond de l'océan, dans un environnement dur tel que les champs de bataille, dans des champs biologiquement ou chimiquement souillés ou même dans des milieux extrêmement froids. Par conséquent, ils doivent pouvoir fonctionner sans surveillance dans des régions géographiquement éloignées ou inaccessibles [13].

4.6. Agrégation des données :

Dans les réseaux de capteurs, les données produites par les nœuds capteurs sont très reliées, ce qui implique l'existence de redondances de données. Une approche répandue

Chapitre 2 : Les réseaux de capteurs et leurs applications

consiste à agréger les données au niveau des nœuds intermédiaires afin de réduire la consommation d'énergie lors de la transmission de ces données [13].

4.7. Topologie dynamique :

La dynamicité du réseau découle des défaillances des nœuds ou des cassures des liens entre ceux-ci. La disparition d'un nombre de capteurs dans le réseau, ainsi que le déploiement de nouveaux capteurs, rend la topologie du réseau fréquemment instable. La maintenance d'un réseau est d'autant importante que le changement de sa topologie. On distingue généralement trois phases dans la mise en place et l'évolution d'un réseau [13].

4.7.1. Déploiement :

Le déploiement des capteurs est la première opération (phase) dans le cycle de vie d'un réseau de capteurs. On peut envisager plusieurs formes de déploiements selon les besoins des applications. Les nœuds peuvent être déployés aléatoirement d'un avion ou d'une roquette par exemple, ou bien ils peuvent être placés un par un d'une manière déterministe par un humain ou un robot. Dans un grand nombre d'applications, le déploiement manuel est impossible. De plus, même lorsque l'application permet un déploiement déterministe, le déploiement aléatoire est adopté dans la majorité des scénarios à cause de raisons pratiques tels que le coût et le temps. Cependant, le déploiement aléatoire ne peut pas fournir une distribution uniforme sur la région d'intérêt, ce qui déclenche de nouveaux problèmes dans les réseaux de capteurs. Les principaux problèmes engendrés sont la localisation, la couverture de la zone, la connexité et la sécurité.

4.7.2. Post-Déploiement - Exploitation :

Durant la phase d'exploitation, la topologie du réseau peut être soumise à des changements dus à des modifications de la position des nœuds ou bien à des pannes.

4.7.3. Redéploiement :

L'ajout de nouveaux capteurs dans un réseau existant implique aussi une remise à jour de la topologie.

Dans tous les cas, le réseau de capteurs doit pouvoir se réorganiser rapidement avec un coût énergétique réduit [13].

Chapitre 2 : Les réseaux de capteurs et leurs applications

4.8. Tolérance aux pannes :

Les nœuds peuvent être sujets à des pannes dues à leur fabrication (ce sont des produits de série bon marché, il peut donc y avoir des capteurs défectueux) ou plus fréquemment à un manque d'énergie. Les interactions externes (chocs, interférences) peuvent aussi être la cause des dysfonctionnements. La panne d'un nœud capteur ne doit pas affecter le fonctionnement global de son réseau. La tolérance aux pannes est donc la capacité de maintenir les fonctionnalités du réseau sans interruption due à une panne d'un nœud capteur [13].

5. Applications des réseaux de capteurs :

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

5.1. Application militaire :

Comme pour de nombreuses autres technologies, le domaine militaire a été le moteur initial pour le développement des réseaux de capteurs. Le déploiement rapide, le coût réduit, l'auto-organisation et la tolérance aux pannes des réseaux de capteurs sont des caractéristiques qui font de ce type de réseaux un outil appréciable dans un tel domaine. Actuellement, les RCSFs peuvent être une partie intégrante dans le commandement, le contrôle, la communication, la surveillance, la reconnaissance, etc. [14]

5.2. Application médical :

Les réseaux de capteurs sont également largement répandus dans le domaine médical. Cette classe inclut des applications comme : fournir une interface d'aide pour les handicapés, collecter des informations physiologiques humaines de meilleure qualité, facilitant ainsi le diagnostic de certaines maladies, surveiller en permanence les malades et les médecins à l'intérieur de l'hôpital [14].

5.3. Applications environnementales :

Dans ce domaine, les capteurs peuvent être exploités pour détecter les catastrophes naturelles (feux de forêts, tremblements de terre, etc.), détecter des fuites de produits toxiques (gaz, produits chimiques, pétrole, etc.) dans des sites industriels tels que les centrales nucléaires et les pétrolières [14].

Chapitre 2 : Les réseaux de capteurs et leurs applications

5.4. Applications commerciales :

Parmi les domaines dans lesquels les réseaux de capteurs ont aussi prouvé leur utilité, on trouve le domaine commercial. Dans ce secteur on peut énumérer plusieurs applications comme : la surveillance de l'état du matériel, le contrôle et l'automatisation des processus d'usinage, etc. [14]

5.5. Applications agricoles :

Dans le domaine de l'agriculture, les capteurs peuvent être utilisés pour réagir convenablement aux changements climatiques par exemple le processus d'irrigation lors de la détection de zones sèches dans un champ agricole [15].

5.6. Applications à la sécurité :

L'application des réseaux de capteurs dans le domaine de la sécurité peut diminuer considérablement les dépenses financières consacrées à la sécurisation des lieux et des êtres humains. Ainsi, l'intégration des capteurs dans de grandes structures telles que les ponts ou les bâtiments aidera à détecter les fissures et les altérations dans la structure suite à un séisme ou au vieillissement de la structure [15].



Figure 2.4: Figure des domaines d'applications des réseaux de capteurs sans fil

Chapitre 2 : Les réseaux de capteurs et leurs applications

6. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté les réseaux de capteurs sans fil ainsi que leurs applications dans les différents domaines de la vie. Parmi ces applications, nous intéressons dans notre étude au domaine environnemental qui sera le sujet de notre prochain chapitre.

Chapitre 3 : La localisation dans les réseaux de capteurs

1. Introduction :

La capacité de localisation (estimation de la position) est essentielle dans la plupart des applications de réseaux sans fil de capteurs. Dans les applications de surveillance de l'environnement comme : la surveillance de l'habitat des animaux, la surveillance de la qualité de l'eau et l'agriculture de précision. Les données de mesures ne sont pas une connaissance précise de l'endroit d'où les données sont obtenues. Par ailleurs, la disponibilité d'informations de localisation permet l'apparition de nouvelles applications telles que la gestion des stocks, la détection d'intrusion, le suivi de la circulation routière, la surveillance de la santé, etc.... La plupart des procédés employés pour déterminer une position sont basés sur des calculs géométriques comme la triangulation (en mesurant des angles par rapport à des points fixes ou des nœuds connaissant leur position) et la trilatération (en mesurant la distance entre les nœuds). Pour connaître la distance entre deux nœuds, plusieurs techniques peuvent être utilisées, comme la synchronisation, la puissance de signal reçu ainsi que les caractéristiques physiques de l'onde porteuse. D'autres approches, comme les caractéristiques du signal radio reçu et l'angle de l'arrivée peuvent être également appliquées pour le calcul de position.

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

2. Objectif de localisation :

La localisation dans les réseaux de capteurs déployés de manière aléatoire consiste à déterminer les coordonnées géographiques des différents capteurs. La localisation des nœuds est nécessaire, non seulement pour localiser les différents événements survenus dans la zone surveillée, mais aussi pour le développement de protocoles de routage de l'information récoltée, pour la couverture de la zone d'intérêt, pour l'agrégation des données, etc. Elle est la première tâche exécutée par les nœuds après leur déploiement.

Chapitre 3 : La localisation dans les réseaux de capteurs

La connaissance des positions des capteurs dans l'environnement surveillé est souvent indispensable pour une grande majorité des applications (militaires, suivis des animaux, ...), afin de pouvoir déterminer l'origine des événements détectés. « Où ? » est la question qui suit immédiatement la détection d'un événement (par exemple, où est le feu ?). En outre, la localisation peut être utilisée dans les protocoles de routage géographique dans les réseaux à grande échelle, en transmettant les données seulement dans la direction de la destination [16].

3. Définition :

la localisation est un procédé permettant de positionner un objet sur un plan ou une carte géographique, cette opération est réalisée à l'aide d'un terminal capable d'être localiser en temps réel ou de façon différée. les positions enregistrées peuvent être stockées au sein du terminal et être extraites postérieurement, ou être transmises en temps réel vers une plateforme logiciel de localisation. La transmission temps réel nécessite un terminal équipé d'un moyen de télécommunication qui permet d'envoyer les positions à des intervalles réguliers [17].

4. Propriétés de localisation :

Un système de localisation doit avoir les propriétés suivantes :

- a) Une technique d'estimation de position - trilatération ou triangulation.
- b) Un repère qui permet d'obtenir des positions et qui les organise de façon cohérente.

Trois types de position sont observés :

- Les positions absolues renseignent sur la position réelle de l'objet sur le globe terrestre- longitude et latitude - ou dans l'espace - longitude, latitude et altitude.
 - Les positions relatives indiquent juste une direction par rapport à un voisinage donné- à droite au bout de la rue par exemple.
 - Les positions symboliques désignent par exemple une salle, un espace particulier.
- c) Une précision de position : une position peut aller d'un point dans le cas d'une grande précision à une surface (ou volume) si la précision de position est moins importante.
 - d) Une architecture particulière : un système de positionnement en intérieur dans un bâtiment par exemple - ne possède pas les mêmes contraintes qu'un système de localisation d'extérieur.
 - e) Un cout - matériel, infrastructure, ... [8].

Chapitre 3 : La localisation dans les réseaux de capteurs

5. Critères de localisation :

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

5.1. Précision de la localisation :

L'erreur de la localisation est souvent défini 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.

5.2. 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.

5.3. 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.

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 [16].

6. Techniques de mesure :

La localisation dans les WSN's repose sur des mesures. Il y a plusieurs facteurs qui influent sur le choix de l'algorithme à utiliser pour une application spécifique et la précision de l'emplacement estimé. On peut citer quelques facteurs, l'architecture du réseau, le degré moyen de nœuds (à savoir, le nombre moyen de voisins par capteur), la forme géométrique de la zone du réseau et la distribution de capteurs dans ce domaine, la synchronisation du temps

Chapitre 3 : La localisation dans les réseaux de capteurs

du capteur et la bande passante de signalisation entre les capteurs. Toutefois, c'est le type de mesures utilisées et la précision voulue qui déterminent fondamentalement l'estimation de précision d'un système de localisation et l'algorithme de localisation mis en œuvre par ce système. Les mesures déterminent également le type d'algorithme qui peut être utilisé par un système de localisation particulier.

Nous allons dans un premier temps rappeler les deux techniques d'estimation de position utilisées par les systèmes de positionnement : la trilatération et la triangulation. Nous détaillerons ensuite différentes méthodes exploitants ou nécessaires à ces deux techniques d'estimation de position [8].

6.1. Techniques géométriques d'estimation de position :

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

6.1.1. La trilatération :

La trilatération est un algorithme qui permet de positionner un nœud à l'aide de trois nœuds de référence. Il existe deux types de mesure de distances entre les nœuds de référence et le nœud que l'on cherche à positionner, une méthode à base de temps d'arrivée et une à base de mesure de puissance du signal [18].

Cet algorithme consiste donc à mesurer les distances qui séparent le nœud à positionner aux nœuds de référence. Ensuite, on trace un cercle autour de chaque nœud de référence, le nœud à positionner se situe à l'intersection de ces trois cercles (figure 3.1).

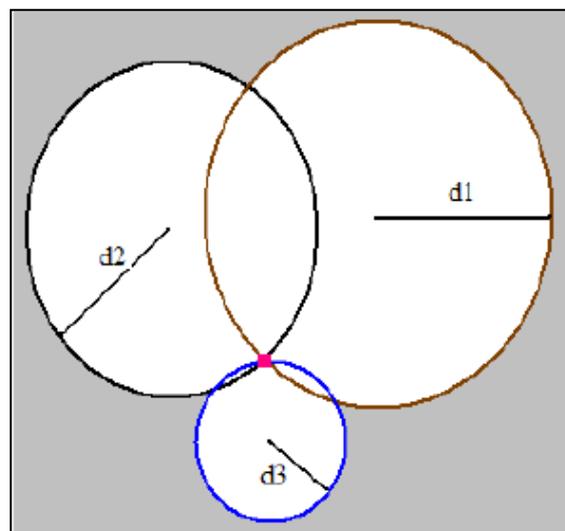


Figure 3.1: Estimation de position par trilatération

Chapitre 3 : La localisation dans les réseaux de capteurs

6.1.2. La triangulation :

La triangulation est un algorithme utilisant les propriétés géométriques du triangle pour pouvoir positionner un nœud à partir de deux nœuds de référence. Il utilise pour cela :

- la loi des sinus
- le théorème d'Al Kashi

Soit un triangle **ABC**, dans lequel on utilise les notations usuelles exposées sur (figure 3.2) : d'une part α , β et γ pour les angles et, d'autre part, **a**, **b** et **c** pour les cotes respectivement opposés à ces angles. Alors, le théorème d'al-Kashi stipule que $c^2 = a^2 + b^2 - 2ab\cos(\gamma)$.

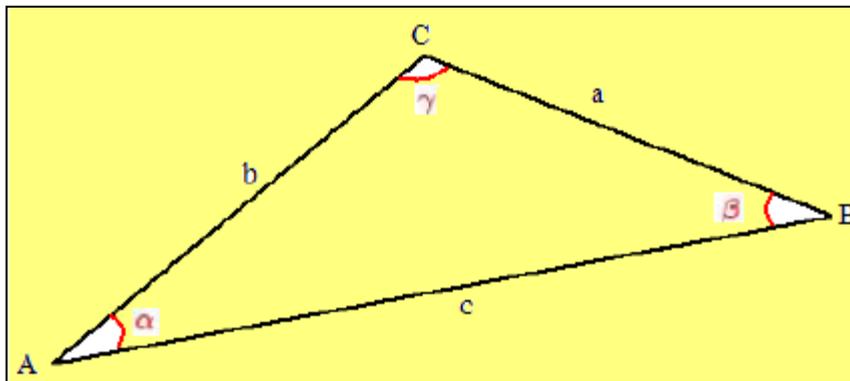


Figure 3.2: Triangle

A partir de ces relations et de deux nœuds de référence, on peut obtenir la position d'un troisième nœud (bateau par exemple (figure 3.3)). Dans le cas du positionnement d'un bateau, on utilise en effet, la distance **AC** entre les deux balises puis on mesure les angles **A** et **C**. Ensuite, il existe plusieurs solutions pour arriver à déterminer les deux distances **AB** et **BC** qui nous manquent.

Cet algorithme utilise donc moins de nœuds de référence mais nécessite la connaissance de plus d'informations liant les trois nœuds. Il est en effet nécessaire de connaître les angles formés par le triangle issu des trois nœuds, les autres algorithmes n'utilisant que les distances [18].

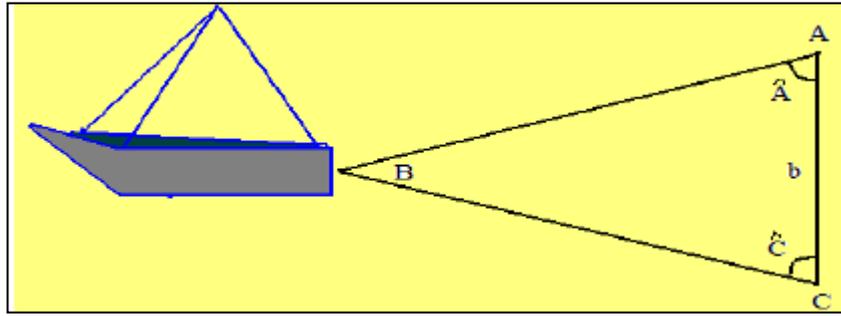


Figure 3.3: Triangulation

6.2. Techniques de mesures basées sur l'angle d'arrivée (AOA) :

Les mesures basées sur l'angle d'arrivée sont également connus sous le nom des mesures basées sur la direction d'arrivée. Ces mesures peuvent généralement être obtenus auprès de deux catégories de techniques: celles qui faisant usage de l'amplitude de la réponse de l'antenne du récepteur et ceux qui font usage de la phase réponse de l'antenne du récepteur, la précision des mesures **AOA** est affectée par d'autres facteurs environnementaux, comme l'ombrage et les chemins multiples, ce qui fait paraître l'émetteur situé dans une direction différente du récepteur.

La première catégorie des mesures de l'angle d'arrivée est largement connue comme la formation de faisceau, elle est aussi basée sur l'anisotropie de la structure d'accueil d'une antenne [19]. La taille de l'unité de mesure peut être relativement faible en ce qui concerne la longueur d'onde des signaux. La figure 3.4 montre la configuration du faisceau d'une antenne anisotrope typique.

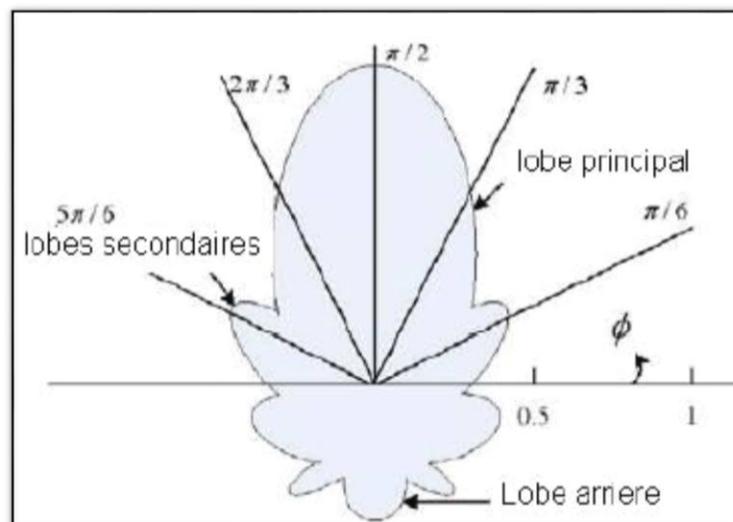


Figure 3.4: Le diagramme horizontal d'une antenne

Chapitre 3 : La localisation dans les réseaux de capteurs

L'autre catégorie de techniques de mesure de l'angle d'arrivée est largement connue sous le nom de l'interférométrie de phase et elle tire les mesures de l'angle d'arrivée à partir des mesures des différences de phases dans l'arrivée d'un front d'onde. Une antenne du récepteur de grande taille (par rapport à la longueur d'onde du signal de l'émetteur) ou un ensemble d'antennes est, généralement, requis pour l'utilisation de cette technique. La figure 3.5 montre un ensemble d'antenne de n éléments. Les antennes voisines sont séparées par une distance déterminée d . Pour un émetteur loin de l'ensemble d'antennes, la distance de k ème antenne peut être approximativement obtenu par :

$$R_k \approx R_0 - kd \cos \theta$$

Avec R_0 la distance entre l'émetteur et la 0ème antenne, est la direction de l'émetteur vu de l'ensemble d'antennes.

- Le signal de l'émetteur reçu par les antennes adjacentes sera une différence de phase de : $2\pi \frac{d \cos \theta}{\lambda}$ avec λ est la longueur d'onde du signal de l'émetteur.

Par conséquent l'angle d'arrivée de l'émetteur à l'égard de l'ensemble d'antennes peut être dérivé à partir des mesures des différences de phase. La précision des mesures AOA obtenue en utilisant cette approche n'est généralement pas affecté par un grand ratio du signal par rapport au bruit (signal-to-noise-ratio SNR), mais cette approche peut échouer en présence d'une forte interférence co-canal et / ou des signaux multiples.

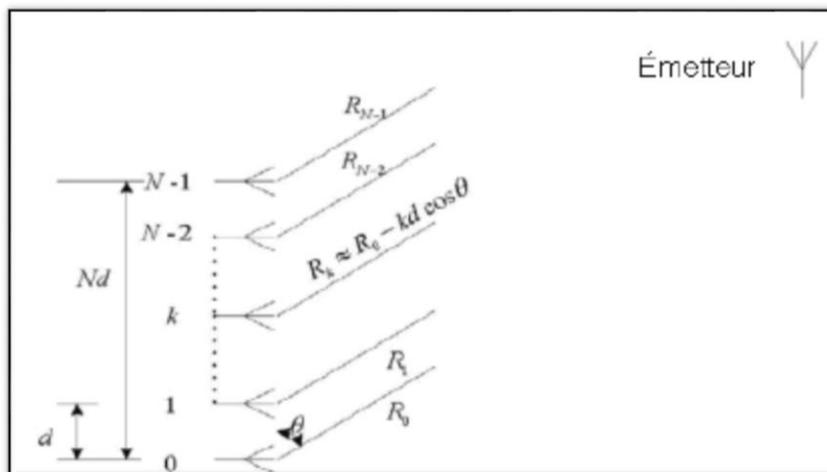


Figure 3.5: Ensemble d'antenne de n éléments

La précision des mesures AOA est limitée par la directivité de l'antenne et les mesures sont encore compliquées en présence d'ombrage et des chemins multiples dans

Chapitre 3 : La localisation dans les réseaux de capteurs

l'environnement de mesure. Un défi majeur dans les mesures de l'angle d'arrivée est donc l'estimation exacte de l'AOA en présence des chemins multiples et de l'ombrage.

Les mesures AOA s'appuient sur un chemin en ligne de vision directe (ligne direct-of-sight LOS) entre l'émetteur et le récepteur. Un composant multi-chemin du signal de l'émetteur peut apparaître comme un signal venant d'une direction complètement différente et provoque donc une erreur très importante dans la mesure de l'angle d'arrivée. Les problèmes des chemins multiples dans les mesures de l'angle d'arrivée ont été généralement traités à l'aide d'algorithmes (Maximum Likelihood ML) l'interférométrie [20]. En fonction des hypothèses prises sur les caractéristiques statistiques des signaux de l'émetteur, à savoir si la structure du signal de l'émetteur est connue ou inconnue pour le récepteur, ces algorithmes ML peuvent être encore classés comme algorithmes ML déterministe et stochastiques.

6.3. Les mesures basées sur la distance :

Les mesures qui peuvent être classées dans la catégorie des mesures liées à la distance comprennent les mesures basées sur le temps de propagation, à savoir, les mesures de temps de propagation en un seul sens, les mesures de temps de propagation aller-retour et des mesures TDOA (Time-difference-of-arrival); les mesures basées sur RSSI (Received Signal Strength Indicator) , et les mesures de connectivité .

6.3.1. Les mesures basées sur le temps de propagation :

a. Les mesures basées sur le temps de propagation à sens unique :

Le principe de ce type de mesures est simple: mesurer la différence entre le temps de l'envoi d'un signal à l'émetteur et le temps de réception du signal au niveau du récepteur. En sachant la différence de temps et la vitesse de propagation du signal dans les médias, on peut obtenir la distance entre l'émetteur et le récepteur. La mesure de temporisation est relativement un champ mature. La méthode la plus largement utilisée pour l'obtention de la mesure de temporisation est appelé la méthode généralisée de corrélation croisée [22], [21].

Un défi majeur dans la mise en œuvre des mesures de temps de propagation à sens unique est qu'elle nécessite l'heure locale de l'émetteur et l'heure locale au niveau du récepteur pour être exactement synchronisés. Toute différence entre les deux horloges locale deviendra le biais dans la mesure de propagation à sens unique. A la vitesse de la lumière, une erreur de synchronisation de **1ns** se traduira par une erreur de mesure de distance de **0,3 m**. L'exigence de synchronisation précise peut augmenter le coût des capteurs par une horloge de haute

Chapitre 3 : La localisation dans les réseaux de capteurs

précision, ou augmenter la complexité du réseau de capteurs, en exigeant un algorithme sophistiqué de synchronisation. Cet inconvénient rend les mesures de temps de propagation à sens unique une option moins attrayante dans les WSN's.

En plus d'utiliser une horloge précise pour chaque capteur ou en utilisant un algorithme de synchronisation sophistiquée, une approche intéressante a été proposée dans la littérature. Cette approche permet de surmonter le problème de synchronisation basée sur le fait que la vitesse du son dans l'air est beaucoup plus petite que la vitesse de la lumière ou le signal radio (RF) dans l'air [23]. Une combinaison du RF et du matériel ultrason est utilisée dans la technique. A chaque transmission, un émetteur envoie un signal RF et une impulsion ultrasonique dans le même temps.

Le signal RF arrivera plus tôt au niveau du récepteur que l'impulsion ultrasonique. Lorsque le récepteur reçoit le signal RF, il tourne son récepteur à ultrasons pour l'écoute de l'impulsion ultrasonique. La différence de temps entre la réception du signal RF et la réception du signal ultrasonore est utilisée comme une estimation d'un temps de propagation acoustique. Cette méthode donne assez de précision à la distance estimée au coût du matériel supplémentaire et à la complexité du système, car la réception ultrasons souffre des effets graves des chemins multiples provoqués par les réflexions des murs et des autres objets.

b. Les mesures basées sur le temps de propagation aller-retour :

C'est la différence entre le moment de l'envoi d'un signal par un capteur et le moment où le signal est renvoyé par un second capteur au capteur original. Parce que la même horloge locale est utilisée pour calculer le temps de propagation aller-retour, il n'y a pas un problème de synchronisation. La source d'erreur importante dans les mesures de temps de propagation aller-retour est le délai requis pour prendre en charge le signal par le second capteur. Ce délai interne est soit connu, calibrer auparavant, ou mesurées et envoyées au premier capteur pour être soustraite. Une technique qui peut être utilisée pour surmonter le problème des délais internes, elle implique la coopération des deux capteurs dans les mesures.

Un premier capteur **A** envoie un signal au capteur **B** au temps locale de **A** t_{A1} , le signal arrive au capteur **B** au temps locale de **B** t_{B1} . Après un délai, le capteur **B** envoie un signal au capteur **A** au temps locale de **B** t_{B2} , avec la différence de temps ($t_{B2} - t_{B1}$). Le signal arrive au capteur **A** au temps locale de **A** t_{A2} . Ensuite le capteur **A** peut calculer le temps de l'aller-retour à l'aide $(t_{A2} - t_{A1}) - (t_{B2} - t_{B1})$.

Chapitre 3 : La localisation dans les réseaux de capteurs

En plus de l'erreur de synchronisation, la précision des deux mesures de temps de propagation à sens unique et aller-retour est affectée par le bruit, la bande passante du signal et les chemins multiples. Récemment, les signaux ultra-large bande (UWB) ont commencé à être utilisés pour les mesures de temps de propagation précises [25], [24]. Un signal UWB est un signal dont le ratio de la bande passante sur la fréquence centrale est supérieur à **0,2** avec un signal d'une bande passante totale de plus de **500 MHz**. En principe, UWB peut atteindre une précision plus élevée, car sa bande passante est très large et donc sa pulsation a une durée très courte.

6.3.2. Les mesures de différence de temps d'arrivée (TDOA):

Les mesures **TDOA (Time Différence Of Arrival)** se basent sur la différence entre le temps d'arrivée d'un signal d'émetteur à deux récepteurs, respectivement. On note les coordonnées des deux récepteurs par \mathbf{X}_i et \mathbf{X}_j , et les coordonnées de l'émetteur par \mathbf{X}_t . La mesure TDOA Δt_{ij} est liée aux positions des deux récepteurs par :

$$\Delta t_{ij} = t_i - t_j = \frac{1}{c} (\|\mathbf{X}_t - \mathbf{X}_i\| - \|\mathbf{X}_t - \mathbf{X}_j\|)$$

Avec t_i et t_j sont respectivement les temps d'arrivée du signal de l'émetteur au récepteurs i et j , et c est la vitesse de propagation du signal de l'émetteur. En supposant que l'emplacement des récepteurs est connu et que les deux récepteurs sont parfaitement synchronisés, l'équation définit une branche d'hyperbole à laquelle l'émetteur doit se trouver. Les foyers de l'hyperbole sont les emplacements des récepteurs \mathbf{I} et \mathbf{J} . Dans un système des récepteurs N , il y a $N-1$ mesures TDOA linéairement indépendants, donc $N-1$ équations linéairement indépendants comme l'équation précédente. Les mesures TDOA de trois récepteurs au minimum sont requises pour déterminer l'emplacement de l'émetteur. Ceci est illustré dans la figure 3.6 :

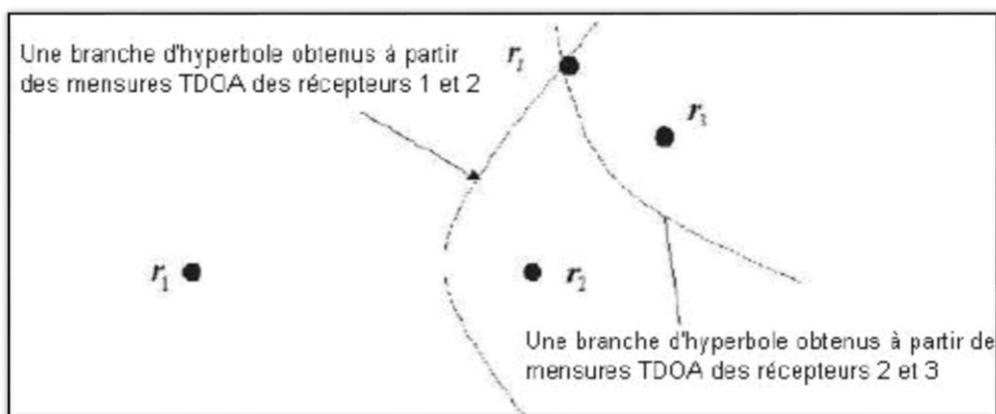


Figure 3.6: Exemple des mesures TDOA

Chapitre 3 : La localisation dans les réseaux de capteurs

La précision des mesures TDOA est affectée par l'erreur de synchronisation entre les récepteurs et les chemins multiples. La précision et les capacités de résolution temporelle de mesures permettront d'améliorer TDOA lorsque la séparation entre les récepteurs augmente parce que cette différence augmente entre les temps d'arrivée [20].

6.3.3. Mesures basées sur l'intensité du signal reçu :

Les mesures basées sur l'intensité du signal reçu estiment les distances entre les capteurs voisins à partir des mesures de l'intensité du signal reçu entre les deux capteurs. La plupart des appareils sans fil ont la capacité de mesurer l'intensité du signal reçu.

L'intensité du signal sans fil reçu par un capteur d'un autre capteur est une fonction monotone décroissante de leur distance. Cette relation entre la puissance du signal reçu et la distance est modélisée par le modèle **log** normal suivant:

$$P_r(d)[dBm] = P_0(d_0)[dBm] - 10n_p \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + X_\alpha$$

Avec **P₀(d₀)[dBm]** : est une puissance de référence en milliwatts dB à une distance de référence **d₀** de l'émetteur, **n_p** est l'exposant de perte de trajet qui mesure la vitesse à laquelle l'intensité du signal reçu diminue avec la distance, **X_α** est une variable aléatoire de moyenne de distribution gaussienne nulle avec l'écart-type **σ** et il représente l'effet aléatoire causé par l'ombrage. **n_p** et **σ** sont dépendants de l'environnement. L'exposant de perte de trajet **n_p** est généralement supposé être une constante.

Toute fois, certaines études sur les mesures suggèrent que le paramètre est plus précisément modélisé par une variable aléatoire gaussienne ou bien par un exposant de perte de trajet différents qui devrait être utilisée pour un récepteur dans le champ lointain de la région de l'émetteur ou dans la région de champ proche de l'émetteur. Etant donné le modèle et les paramètres du modèle, qui sont obtenus via une mesure approximative, les distances inter-capteurs peuvent être estimées à partir des mesures RSS. Les algorithmes de localisation peuvent être alors appliqués à ces mesures de distance pour obtenir les endroits estimés des capteurs [26], [27], [28]

Chapitre 3 : La localisation dans les réseaux de capteurs

6.3.4. Les mesures de connectivité :

Les mesures de connectivité sont peut être les plus simples des mesures. En effet dans les mesures de connectivité, un capteur mesure les capteurs qui sont dans sa portée de transmission. Ces mesures peuvent être interprétées comme des mesures de distance binaires. En d'autre terme, soit qu'un autre capteur se trouve dans la zone de couverture d'un capteur donné, ou qu'il soit en dehors de sa portée de transmission.

Un capteur est dans la portée de transmission d'un autre capteur définit une contrainte de proximité entre ces deux capteurs, ce qui peut être exploité pour la localisation. Dans sa forme la plus simple, quand un capteur non-ancre est voisin de trois ancres, cela signifie que ce capteur est très proche de trois ancres, ainsi de nombreux algorithmes peuvent utiliser le centre des trois ancres comme l'endroit approximatif du capteur non-ancre [8].

6.4. Les mesures bases sur le profilage RSSI (Received Signal Strength Indicator) :

Cette méthode est basée sur la mesure des pertes de propagation en espace libre **Ploss** reliées à la distance **d** par :

$$P_{loss} = 20 \log \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)$$

En déterminant la distance séparant un capteur de trois bases et en utilisant la trilatération, on détermine la position du capteur (figure 3.7). Cependant dans un milieu « indoor », cette technique demande de réaliser une modélisation de scène afin de prendre en compte les chemins multiples et les absorptions engendrées par les objets environnants. Cette méthode demande donc la mise en place d'un algorithme complexe. Et tout changement dans la scène, entrée ou sortie d'un objet, demande de modéliser à nouveau la scène [29].

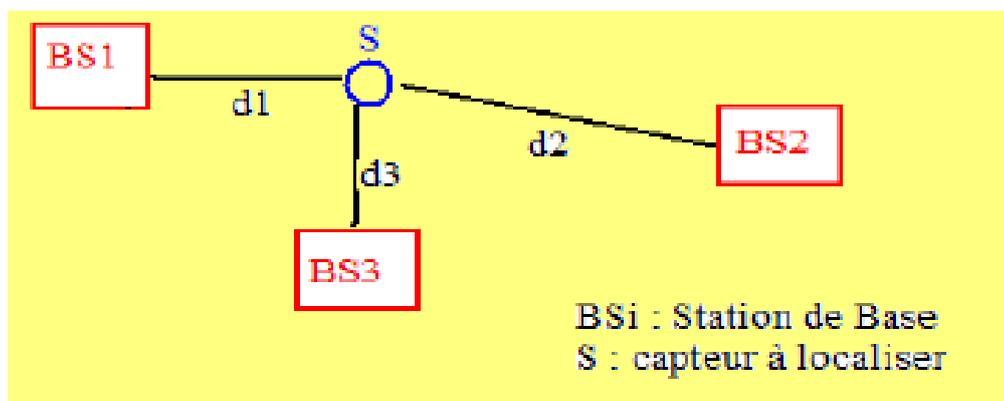


Figure 3.7: Méthode RSSI

Chapitre 3 : La localisation dans les réseaux de capteurs

6.5. Les techniques basées sur les clusters :

Une autre manière d'organisation hiérarchique d'un réseau est l'organisation clustérisée. Dans cette organisation, le réseau en entier est divisé en plusieurs clusters (groupes) selon une métrique spécifique ou une combinaison de métriques. Chaque cluster est géré par un cluster-head (chef de groupe) qui est élu par les membres du cluster. Le cluster-head joue le rôle d'agrégateur qui agrège les données des membres du cluster locaux et transmet le résultat de l'agrégat à la station de base.

7. Algorithmes de localisation :

Nous distinguons deux façons d'implémenter un algorithme de localisation selon leur organisation de calcul : les algorithmes centralisés et les algorithmes distribués.

7.1. Algorithmes centralisés :

Les algorithmes centralisés sont conçus pour fonctionner sur une machine centrale très puissante au niveau ressources. Les nœuds capteurs recueillent des informations (signal, voisins, distances, etc.) de leur environnement et les transmettent à une station de base qui à son tour les analyse, calcule les positions et les transmet aux nœuds. Les algorithmes centralisés contournent le problème des ressources limitées des nœuds en acceptant des coûts de communications très élevés pour envoyer les informations à la machine centrale. Ces algorithmes deviennent de plus en plus coûteux quand la taille du réseau augmente, car ça épuise les nœuds qui sont trop proches de la station de base qui subissent un très grand nombre de communications.

En outre, les algorithmes centralisés exigent qu'une station de base puissante soit déployée parmi les nœuds, ce qui n'est pas toujours possible. Dans le cas où c'est possible, le problème de la mise à l'échelle peut être résolu en déployant plusieurs stations de bases. Cependant, La centralisation permet à un algorithme d'être plus complexe, car les calculs se font sur la machine centrale et non pas par les nœuds eux-mêmes [16].

7.2. Algorithmes distribués :

Dans le cas d'un algorithme distribué tous les nœuds communiquent avec leurs voisins pour estimer les distances et échanger les informations de voisinage, afin de dériver leur position. Par conséquent, à la fin du processus de localisation, chaque nœud doit connaître sa position ainsi que celles de ses voisins sans l'aide d'aucune unité centrale. Les

Chapitre 3 : La localisation dans les réseaux de capteurs

algorithmes distribués, extrapolent généralement les positions des nœuds à partir de celles des ancres. Ainsi, ils localisent les nœuds directement dans le système de coordonnées global de ces ancres.

Comme le calcul des positions se fait par les nœuds eux mêmes, les algorithmes distribués ne sont pas complexes. Pour les réseaux à grande échelle, on considère qu'une méthode distribuée est nécessaire car les méthodes centralisées demanderaient trop de communication pour l'acheminement des informations vers l'unité centrale et consommeraient donc trop d'énergie [16].

7.3. Algorithmes multidimensionnels :

7.3.1. MDS - MAP

La technique du cadrage multidimensionnel (MDS) peut trouver son fondement dans la théorie des graphes, elle a été à l'origine utilisée en psychométrie et en psychophysique. Elle est souvent utilisée dans le cadre de l'analyse exploratoire des données ou d'une technique de visualisation d'information qui affiche la structure des données à distance, sous forme d'une image géométrique. Le but typique de la MDS est de créer une configuration de points dans une, deux ou trois dimensions, dont les distances inter-point sont «proches» des distances inter-point connues (et peut-être inexact). Selon un critère utilisé pour définir "proche", de nombreuses variantes de MDS de base existent. MDS a été appliquée dans de nombreux domaines, tels que l'apprentissage automatique et la chimie de calcul. Lorsqu'il est utilisé pour la localisation, MDS utilise la connectivité ou les informations de distance entre les capteurs pour l'estimation de l'emplacement.

La procédure typique des algorithmes de MDS consiste d'abord à calculer le plus court chemin (par exemple, le plus petit nombre de sauts) entre toutes les paires de nœuds. Si les distances entre toutes les paires de capteurs le long du chemin le plus court reliant deux nœuds sont connues, la distance entre les deux nœuds le long du chemin le plus court peut être calculée. Cette information est utilisée pour construire une matrice de distance pour MDS, où l'entrée (i, j) représente la distance le long du plus court chemin entre les nœuds i et j. Si juste l'information de connectivité est disponible, l'entrée (i, j) représente alors le plus petit nombre de sauts entre les nœuds i et j. Ensuite, MDS est appliqué à la matrice de distance et une valeur approximative des coordonnées relatives de chaque nœud est obtenue. Enfin, les coordonnées relatives sont transformées aux coordonnées absolues en alignant les

Chapitre 3 : La localisation dans les réseaux de capteurs

coordonnées relatives estimées des nœuds ancrés avec leurs coordonnées absolues. Les estimations d'emplacement obtenues en utilisant les étapes précédentes peuvent être affinées en utilisant une minimisation des moindres carrés. La forme de base du MDS est une technique de localisation centralisée et ne peut être utilisée que dans un réseau régulier où la distance entre deux nœuds le long du chemin le plus court est proche de leur distance euclidienne. Cependant plusieurs variantes de l'algorithme à la base de MDS sont proposées qui permettent la mise en œuvre de MDS dans les environnements distribués et les réseaux irréguliers. Il existe quatre algorithmes basés sur MDS: MDS-MAP (C), MDS-MAP (P), MDS-hybride et Range Q-MDS. MDS-MAP (C) est un algorithme centralisé. MDS-MAP (P) est une variante du MDS-MAP (C) pour la mise en œuvre dans un environnement distribué. Il a de meilleures performances que MDS-MAP (C) dans les réseaux irréguliers. MDS-hybride estime la position relative dans un environnement sans nœuds ancrés. Range Q-MDS utilise une technique d'estimation de la distance basée sur RSS quantifié pour permettre une localisation plus précise que les algorithmes utilisant uniquement les mesures de la connectivité binaires (deux nœuds sont soit connectés ou non connectés) [8].

7.3.2. CCA – MAP :

Li et al, proposent un algorithme de style similaire à MDS-MAP appelé CCA-MAP. Il est similaire en ce qu'il génère des cartes locales relatives à des sections du réseau puis les regroupe dans un système de coordonnées global. CCA-MAP est mieux que MDS-MAP car l'algorithme est plus efficace. MDS est un algorithme de réduction non-linéaire, il a un coût de $O(n^3)$, où n est le nombre de nœuds dans chaque carte locale. La taille de chaque carte locale dépend de la portée radio qui affecte le nombre de voisins pour chaque nœud capteur. En outre, l'algorithme pourrait être géré de manière centralisée, ce qui signifie que n est le nombre total de nœuds dans le réseau. D'autre part, CCA-MAP a un coût total de $O(n^2)$. CCA s'exécute en une série d'itérations, où chaque itération a un coût de calcul de $O(n)$. CCA-MAP comporte quatre phases. Dans la première phase, chaque nœud construit une carte locale des nœuds. Pour cette carte locale, la matrice de plus courte distance est accumulée, comme dans l'APS et MDS-MAP. La deuxième phase consiste à réaliser l'algorithme CCA lui-même sur chaque carte locale, générant des coordonnées relatives pour chaque nœud de la carte locale. Dans la troisième phase, les cartes locales sont fusionnées, comme dans MDS-MAP (P), et enfin, en phase quatre, les coordonnées relatives sont transformées en coordonnées absolues sur la base des coordonnées connues des nœuds ancrés, la phase quatre

Chapitre 3 : La localisation dans les réseaux de capteurs

ne peut être effectuée qu'avec un minimum de trois ancrés pour l'espace 2D ou quatre ancrés pour l'espace 3D.

CCA-MAP est souple quant à l'endroit où les calculs peuvent être effectués. Les calculs de la carte locale peuvent être effectués au niveau des nœuds eux-mêmes, si les ressources de calcul le permettent, ou sous-traitée à plusieurs nœuds passerelle puissante ou un serveur central. La fusion de la carte Local peut être réalisée en parallèle à des nœuds sélectionnés dans le réseau, ou encore à un serveur central [8].

7.4. Les algorithmes de localisation DV-Hop et DV-Distance :

L'algorithme DV (distance vector)-hop utilise les mesures de connectivité pour estimer les lieux des nœuds non-ancré. L'algorithme commence par la diffusion de tous les nœuds ancrés via leurs emplacements aux autres nœuds dans le réseau. Les messages sont propagés saut par saut et il y a un compteur de saut dans le message. Chaque nœud maintient une table d'informations sur le nœud ancre et compte le nombre le plus petit de saut qui le sépare d'un nœud ancre. Quand un nœud ancre reçoit un message provenant d'un autre nœud ancre, il estime la distance moyenne d'un saut en utilisant les emplacements des deux ancrés et le compteur de saut, qu'il renvoie au réseau comme un facteur de correction. Lors de la réception du facteur de correction, un nœud non-ancré est en mesure d'estimer sa distance avec des nœuds ancrés et effectue une trilatération pour estimer sa position si ses distances avec au moins trois nœuds ancre sont disponibles.

L'algorithme de DV-distance est similaire à l'algorithme de DV-hop sauf qu'il inclut les distances mesurées dans le processus de localisation. L'idée principale de l'algorithme DV-distance est la propagation de la distance mesurée entre les nœuds voisins au lieu de nombre de sauts. Depuis la proposition des algorithmes de DV-hop et DV-distance, de nombreux autres algorithmes fondés essentiellement sur le même principe ont été proposés. Ils visent à améliorer les performances des algorithmes de DV-hop et DV-distance de base dans des conditions différentes, par exemple, dans les réseaux irréguliers ou quand il n'y a plus d'informations disponibles telles que la distribution de nœud. Nous renvoyons les lecteurs intéressés à pour une information plus détaillée [8].

Chapitre 3 : La localisation dans les réseaux de capteurs

8. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté un certain nombre de techniques de mesure de position ainsi que les algorithmes utilisés dans la localisation des capteurs. Suite à cela, nous avons arrêté notre choix sur les techniques basées sur les clusters pour faire l'objet de nos simulations, dans le but de déterminer la position des capteurs, où cette technique repose sur deux éléments qui sont les chefs de groupe et les membres de groupe pour localiser le feu de forêt.

Chapitre 4 : Application des RCSFs pour la localisation d'un incendie

1. Introduction :

Depuis quelques décennies, le besoin d'observer et de contrôler les environnements hostiles est devenu essentiel pour de nombreuses applications militaires et scientifiques. Ceci nécessite une nouvelle technologie qui prend en considération la sensibilité de l'environnement et qui fournit des informations pertinentes sur le milieu balayé. Cette technologie est capable de détecter différents types d'informations, comme la température, l'humidité, la lumière, les vibrations sismiques, et la présence ou la nature d'organismes biologiques.

Ce chapitre propose une mise en œuvre d'un réseau de senseurs sans fil, capable de recueillir et de traiter des informations provenant de l'environnement, comme la température. D'où le titre : "Mise en œuvre d'un réseau de capteurs sans fil pour la détection et la localisation d'un incendie".

Ce chapitre est structuré comme suit. La première section liste des généralités sur les feux de forêts. La seconde section énonce l'objectif de notre travail. La troisième présente les différentes plateformes logicielles et matérielles utilisées au cours de notre travail. La dernière section introduit le cœur de notre mémoire c'est à dire l'implémentation de l'application.

2. Généralités sur les feux de forêt :

2.1. Qu'est ce qu'un feu de forêt ?

Le feu a toujours été présent dans les forêts du monde. Chaque année des millions d'hectares de terres boisées sont dévastés par les flammes, faisant dépenser des sommes colossales pour leur extinction et occasionnant d'immenses pertes en bois, biens et espaces de récréation et, dans certains cas, en vies humaines.

Les feux de forêts sont des incendies qui se déclarent et se propagent dans des formations végétales, d'une surface minimale d'un hectare pouvant être des forêts ou des formations subforestières et qu'une partie au moins des étages arbustifs et/ou arborés (parties hautes) soit détruite. Généralement, la période de l'année la plus propice aux feux de forêt est l'été, car aux effets conjugués de la sécheresse et d'une faible teneur en eau des sols, vient s'ajouter l'activité anthropique [30].

Chapitre 4 : Application des RCSFs pour la localisation d'un incendie

2.2. Comment se manifeste-t-il ?

Pour qu'il y ait inflammation et combustion, trois facteurs doivent être réunis, chacun en proportions convenables :

- **un combustible** (végétation ou n'importe quel matériau pouvant brûler) [30].
- **une source externe de chaleur de chaleur** (flamme, étincelle) [30].
- **un apport en oxygène** nécessaire pour alimenter le feu : le vent active la combustion [30].

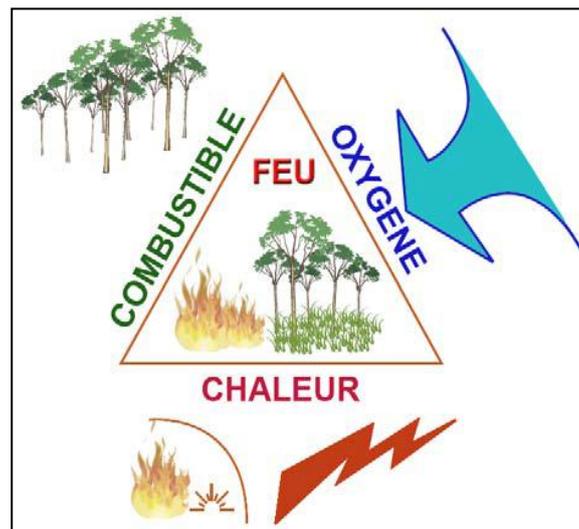


Figure 4.1 : Conditions de déclenchement d'un feu de forêt (Triangle de feu)

2.3. Quels sont les combustibles d'un feu de forêt ?

La forêt, dans son intégralité, doit être considérée comme un combustible potentiel. Les flammes peuvent en effet parcourir indifféremment la végétation vivante (branches, feuilles) ou morte (aiguilles, arbres morts sur pied), tout comme les infrastructures humaines implantées en zone forestière. Les incendies concernent ainsi :

- Les Forêts sont des formations végétales dominées par des arbres et des arbustes, d'essences forestières, d'âges divers et de densité variable [30].
- Les Formations subforestières se distinguent en deux types de végétations :
 - *Les maquis* : formation végétale basse, fermée et dense (sols siliceux *garrigue*) [30].
 - *Les landes* : formations végétales composées de genêts et de petits arbustes (sols acides) [30].

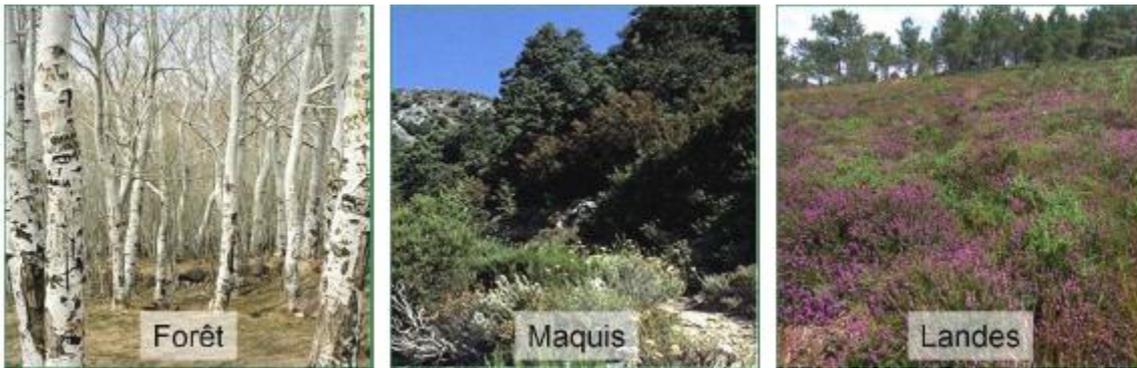


Figure 4.2 : Les combustibles des feux de forêts.

2.4. Quels sont les facteurs de prédisposition des feux de forêt?

2.4.1. Le type de végétation et le climat :

La probabilité qu'un feu parte et se propage dans un milieu forestier n'est jamais nulle. Cependant, les caractéristiques de la végétation et le climat peuvent créer des conditions favorables au développement des incendies.

Certaines formations végétales, comme les landes, le maquis et la garrigue, sont plus sujettes que d'autres au feu. Cette prédisposition s'explique par les différences dans la composition des plantes (principalement la teneur en eau), mais aussi par les conditions climatiques auxquelles elles sont soumises [30].

2.4.2. L'occupation du sol :

De nombreux facteurs anthropiques contribuent dans une certaine mesure au développement des incendies de forêt. C'est le fait des activités humaines : loisirs, production, certaines infrastructures de transport (routes, voies ferrées) qui peuvent être à l'origine de l'écllosion et de la propagation des feux. De même, l'évolution de l'occupation du sol influe notablement sur le risque d'incendie de forêt en raison du développement de l'interface forêt/habitat et de l'absence de zone tampon que constituent les espaces cultivés [30].

2.5. Les mécanismes de propagation de feux de forêt :

La propagation d'un feu se décompose en quatre étapes : combustion du matériel végétal avec émission de chaleur, transfert de la chaleur émise vers le combustible en avant du front de flammes, absorption de la chaleur par le végétal en avant du front de flammes, inflammation. Le transport de la chaleur émise par la combustion est assuré par trois processus [30] :

Chapitre 4 : Application des RCSFs pour la localisation d'un incendie

- **La conduction**, permet la transmission de proche en proche de l'énergie produite par le mouvement de la flamme. Elle ne contribue que très faiblement au transfert de chaleur [30].
- **Le rayonnement thermique**, correspond au mode de propagation de l'énergie sous forme d'ondes infrarouges. C'est le principal mode de propagation des incendies de forêt [30].
- **La convection**, liée aux mouvements d'air chaud, voit son importance augmenter avec le vent et la pente. Ce processus peut contribuer au transport de particules incandescentes en avant du front de flammes et au déclenchement de foyers secondaires (sautes de feu) [30].

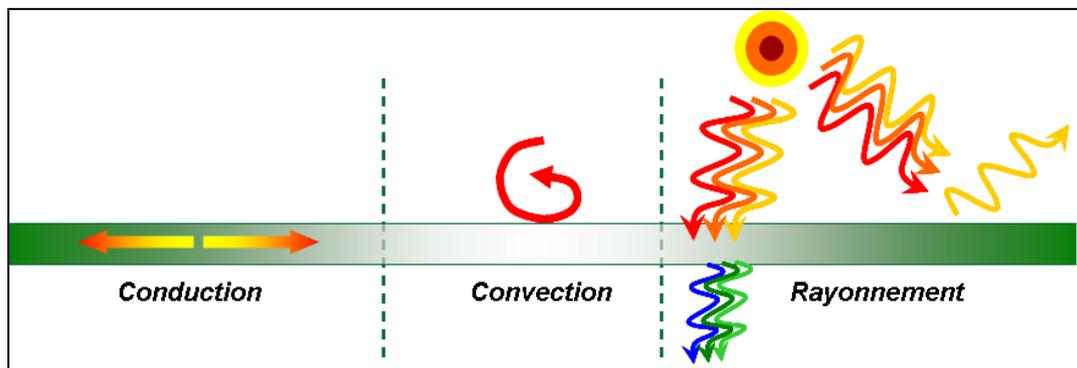


Figure 4.3 : Les mécanismes de propagation d'un feu.

2.6. Les différents types de feux de forêt :

Une fois éclos, un feu peut prendre différentes formes, chacune étant conditionnée par les caractéristiques de la végétation et les conditions climatiques (principalement la force et la direction du vent). Alors on distingue trois catégories [30]:

- **les feux de sol** : qui brûlent la matière organique contenue dans la litière, l'humus ou les tourbières. Alimentés par incandescence avec combustion, leur vitesse de propagation est faible [30].
- **les feux de surface** : qui brûlent les strates basses de la végétation, c'est-à-dire la partie supérieure de la litière, la strate herbacée et les ligneux bas. Ils se propagent en général par rayonnement et affectent la garrigue ou les landes [30].
- **les feux de cimes** : qui brûlent la partie supérieure des arbres (ligneux hauts) et forment une couronne de feu. Ils libèrent en général de grandes quantités d'énergie et leur vitesse de propagation est très élevée. Ils sont d'autant plus intenses et difficiles à contrôler que le vent est fort et le combustible sec [30].

Chapitre 4 : Application des RCSFs pour la localisation d'un incendie

2.7. Gestion du risque de feux de forêts :

Les feux de forêt représentent un agent de changement significatif dans les écosystèmes forestiers à l'échelle planétaire. Ainsi, ils fournissent une excellente occasion de faire le suivi des feux actifs avec le concours conjoint de senseurs à haute et basse résolution dans le but de déterminer la localisation et la modélisation du comportement d'un incendie. Ces dernières sont des problèmes très difficiles en raison du grand nombre de paramètres qui dirigent ce phénomène complexe (vent, température, ...). Généralement, ces paramètres ne sont pas stables et varient dans le temps.

Cependant, puisque la prévention du feu et la modélisation du comportement des feux de forêts sont très utiles pour la gestion du feu, de nombreuses applications des réseaux de capteur ont été mises en œuvre pour la détection des incendies. Le rôle de ces applications est de fournir des données exactes et réelles sur la propagation des incendies dans les forêts.

Après qu'on a cité quelques notions sur les feux de forêt, on va entamer dans ce chapitre au cœur de notre travail qui présente une application des WSNs pour détecter et localiser un incendie.

3. Objectif de notre travail :

Dans le but de fournir des données exactes et réelles sur la propagation des incendies dans les forêts, de nombreux travaux sur le développement de modèles de prédiction de comportements du feu ont été effectués. Dans ces études, des modèles ont été proposés pour simuler la propagation des feux, l'intensité lumineuse, la hauteur de la flamme et la température.

L'idée majeure de notre travail est d'implémenter une application qui permettra de détecter et de localiser la propagation des feux de forêts en prenant en compte la température recueillie par les senseurs.

Ce chapitre décrit l'expérience qui a été réalisée pour mesurer la température, et connaître la position où se trouve l'incendie puis il présente l'analyse des résultats obtenus à partir de cette expérience.

4. Implémentation de l'application :

Cette section définit la conception et l'implémentation de l'application de WSN utilisée pour détecter un incendie. Plus spécifiquement, elle explique la plateforme matérielle et logicielle utilisée pour l'implémentation, les exigences et l'architecture de l'application.

Chapitre 4 : Application des RCSFs pour la localisation d'un incendie

4.1. Plate-forme logicielle et matérielle :

Dans le cadre de notre projet, nous avons utilisé les outils matériels et logiciels suivants :

4.1.1. Logiciel utilisé :

La réalisation de la plateforme d'expérimentation nécessite le choix d'un système d'exploitation, d'un émulateur de capteurs et d'un langage de programmation permettant d'implémenter notre application.

On a utilisé TinyOS comme un environnement de développement dans ce projet. C'est un système d'exploitation destiné aux réseaux de capteur à ressources limitées.

a. Définition :

TinyOS est un système d'exploitation open-source conçu pour des réseaux de capteurs sans fil. Il respecte une architecture basée sur une association de composants, réduisant la taille du code nécessaire à sa mise en place. Cela s'inscrit dans le respect des contraintes de mémoires qu'observent les réseaux de capteurs.

Pour autant, la bibliothèque de composant de TinyOS est particulièrement complète puisqu'on y retrouve des protocoles réseaux, des pilotes de capteurs et des outils d'acquisition de données. L'ensemble de ces composants peut être utilisé tel quel, il peut aussi être adapté à une application précise.

En s'appuyant sur un fonctionnement événementiel, TinyOS propose à l'utilisateur une gestion très précise de la consommation du capteur et permet de mieux s'adapter à la nature aléatoire de la communication sans fil entre interfaces physiques [31].



Figure 4.4 : Logo de TinyOS.

Chapitre 4 : Application des RCSFs pour la localisation d'un incendie

b. Propriétés de TinyOS :

- **Disponibilité et sources** : TinyOS est un système principalement développé et soutenu par l'université américaine de Berkeley, qui le propose en téléchargement sous la licence BSD et en assure le suivi. Ainsi, l'ensemble des sources sont disponibles pour de nombreuses cibles matérielles [32].
- **Event-driven** : Le fonctionnement d'un système basé sur TinyOS s'appuie sur la gestion des événements se produisant. Ainsi, l'activation de tâches, leur interruption ou encore la mise en veille du capteur s'effectue à l'apparition d'événements, ceux-ci ayant la plus forte priorité. Ce fonctionnement événementiel (event-driven) s'oppose au fonctionnement dit temporel (time-driven) où les actions du système sont gérées par une horloge donnée [32].
- **Langage** : Comme nous l'avons évoqué plus haut, TinyOS a été programmé en langage NesC que nous allons détailler plus loin [32].
- **Préemptif** : Le caractère préemptif d'un système d'exploitation précise si celui-ci permet l'interruption d'une tâche en cours. TinyOS ne gère pas ce mécanisme de préemption entre les tâches mais donne la priorité aux interruptions matérielles. Ainsi, les tâches entre-elles ne s'interrompent pas mais une interruption peut stopper l'exécution d'une tâche [32].
- **Temps réel** : Lorsqu'un système est dit « temps réel » celui-ci gère des niveaux de priorité dans ses tâches permettant de respecter des échéances données par son environnement. Dans le cas d'un système strict, aucune échéance ne tolère de dépassement contrairement à un système temps réel mou. TinyOS se situe au-delà de ce second type car il n'est pas prévu pour avoir un fonctionnement temps réel [32].
- **Consommation** : TinyOS a été conçu pour réduire au maximum la consommation en énergie du capteur. Ainsi, lorsqu'aucune tâche n'est active, il se met automatiquement en veille [32].

c. Cibles possibles Tinyos :

Il existe de nombreuses cibles possibles pour ce système d'exploitation embarqué. Malgré leurs différences, elles respectent toutes globalement la même architecture basée sur un noyau central autour duquel s'articule les différentes interfaces d'entrée-sortie, de communication et d'alimentation. Voici un schéma représentant cette architecture [31] :

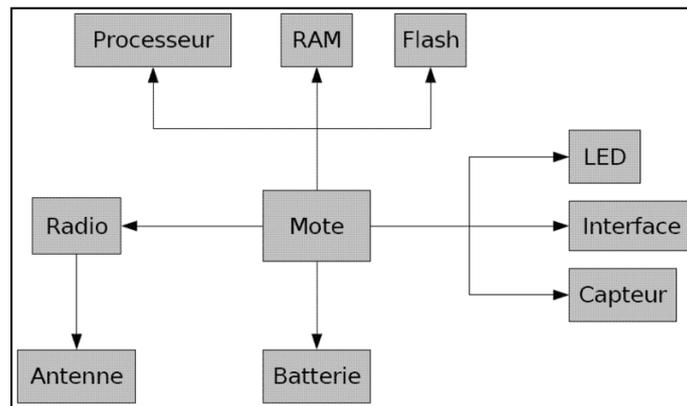


Figure 4.5 : Schéma représentant l'architecture de TinyOS.

- **Mote, processeur, RAM et Flash :** On appelle généralement Mote la carte physique utilisant TinyOS pour fonctionner. Celle-ci a pour cœur le bloc constitué du processeur et des mémoires RAM et Flash. Cet ensemble est à la base du calcul binaire et du stockage, à la fois temporaire pour les données et définitif pour le système TinyOS [31], [32].
- **Radio et antenne :** TinyOS est prévu pour mettre en place des réseaux sans fils, les équipements étudiés sont donc généralement équipés d'une radio ainsi que d'une antenne afin de se connecter à la couche physique que constitue les émissions hertziennes [31], [32].
- **LED, interface, capteur :** TinyOS est prévu pour mettre en place des réseaux de capteurs, on retrouve donc des équipements bardés de différents types de détecteurs et autres entrées [31], [32].
- **Batterie :** Comme tout dispositif embarqué, ceux utilisant TinyOS sont pourvus d'une alimentation autonome telle qu'une batterie [31], [32].

d. TOSSIM :

TOSSIM est un simulateur à événements discrets pour TinyOS. Au lieu de compiler une application TinyOS pour l'exécuter sur les capteurs, les utilisateurs peuvent compiler dans le cadre TOSSIM, qui fonctionne sur un PC et qui lève la contrainte de posséder déjà les capteurs pour faire tourner l'application (simulation d'un réseau de capteurs). Cela permet aux utilisateurs de déboguer, tester et analyser des algorithmes dans un environnement contrôlé et reproductible. Comme TOSSIM fonctionne sur un PC, les utilisateurs peuvent examiner leur code TinyOS à l'aide de débogueurs et autres outils de développement [33].

Chapitre 4 : Application des RCSFs pour la localisation d'un incendie

e. VirtualBox :

VirtualBox est un logiciel de virtualisation de systèmes d'exploitation. En utilisant les ressources matérielles de l'ordinateur (*système hôte*), VirtualBox permet la création d'un ou de plusieurs ordinateurs virtuels dans lesquels s'installent d'autres systèmes d'exploitation (*systèmes invités*) [34].

Les *systèmes invités* fonctionnent en même temps que le *système hôte*, mais seul ce dernier a accès directement au véritable matériel de l'ordinateur. Les *systèmes invités* exploitent du matériel générique, simulé par un « faux ordinateur » (*machine virtuelle*) créé par VirtualBox [34].

VirtualBox permet de faire fonctionner plus d'un système d'exploitation en même temps en toute sécurité. En effet, les *systèmes invités* n'interagissent pas directement avec le *système hôte*, et n'interagissent pas entre eux. Le champ d'action des *systèmes invités* est confiné, limité à leur propre machine virtuelle [35].

La réalisation de la plateforme de notre expérimentation nécessite le choix d'un système d'exploitation car il existe plusieurs versions de TinyOS, la version qui nous intéresse est le **TinyOS-2.x** parce qu'il est le plus développé en termes d'applications par rapport aux anciennes versions.

4.1.2. Capteur utilisé :

Au cours de nos expériences, nous utilisons des capteurs sans fil de type MTM-CM5000-MSP, de « MAXFOR TECHNOLOGY ING ». Chaque module radio est contrôlé par un microcontrôleur MSP430 fabriqué par Texas instruments qui est équipé de 10 Kilobits de mémoire vive (RAM), 48 Kilobits de mémoire flash, et fonctionne à 2.4 GHZ. De plus, chaque senseur est muni de capteurs pour détecter la lumière, la température et l'humidité. Pour la communication radio, les senseurs utilisent une puce RF émetteur-récepteur CC2420. Cette puce est conformée au standard IEEE 802.15.4 qui sert d'intermédiaire entre le MSP430 et l'antenne et qui permet aussi de mesurer la puissance du signal reçu [36], [37].

La figure suivante illustre des sur ce type des capteurs :



Figure 4.6 : Spécifications de capteur Mtm-cm5000-msp.

4.1.3. PC utilisé :

Au cours de notre application, on a utilisé un ordinateur portable de type HP650-I3 qui possède 4G de RAM et 500G de disc dur.

Et pour réaliser la plateforme pour notre application dédiée aux réseaux de capteurs sans fil ,on a installé le logiciel **TinyOS** et pour ne pas risquer d'endommager la machine hôte, on a choisi d'installer « VirtualBox-4.0.4-70112-Win » qui va permettre de faire fonctionner plus d'un système d'exploitation en même temps en toute sécurité.

4.2. Déploiement de l'application :

La localisation est un problème primordial dans de nombreuses applications des réseaux de capteur. Les techniques citées dans le chapitre précédent doivent veiller à prolonger la durée de vie de capteur. Une première solution consiste à équiper tous les capteurs par des systèmes de positionnement GPS (Global Positioning System). Cette méthode s'avère être trop coûteuse. Cependant, une solution alternative plus efficace consiste à n'équiper qu'un faible nombre de capteur avec des GPS.

Suite à cela, nous avons arrêté notre choix sur une méthode qui est basée sur les clusters .Dans cette organisation, le réseau en entier est divisé en plusieurs clusters (groupes) selon une métrique spécifique ou une combinaison de métriques. Chaque cluster est géré par un chef de groupe (cluster_head) . Ce dernier permet de coordonner entre les membres de son cluster, d'agréger leurs données collectées et de les transmettre à la station de base.

Au cours de nos expériences, on a utilisé un dispositif GPS d'un téléphone « IPHONE » qui nous a permet de connaître la position d'un capteur et nous allons considérer

Chapitre 4 : Application des RCSFs pour la localisation d'un incendie

ce dernier comme un chef de groupe. Pour les autres capteurs ; on les a distribués aléatoirement en respectant le rayonnement entre eux et entre le chef de groupe.

4.3. Fonctionnement de notre système :

La mise en place de notre système s'articule autour de deux parties : entre l'installation logicielle et matérielle et entre l'algorithme (programme) utilisé pour réaliser notre objectif.

4.3.1. Installation logicielle :

La première étape a été de prendre en main les capteurs, le langage NesC et le système d'exploitation TinyOs. On a choisi l'environnement Linux (Ubuntu) pour la mise en place de l'application. Il est possible de l'exploiter sous cygwin (Windows) mais il y a des soucis avec la deuxième version de TinyOs (TinyOs-2.x) sous cet environnement.

4.3.2. Installation matérielle :

Une fois l'installation logicielle terminée ; il a fallu installer le matériel :une station de base reliée à l'ordinateur via un câble USB, différents capteurs telosB (Sender/Receiver).Un capteur joue le rôle de chef de groupe (cluster-head) permet de mesurer la température et de localiser les autres capteurs (membres de groupe) en cas ou un déclenchement de feu.les membres de groupe jouent le rôle des nœuds relais avec le chef de groupe via une liaison sans fil et permet aussi de mesurer et collecter les valeurs de température et d'hierarchiser la plateforme pour éviter les transmissions redondantes.

La figure (4.7) présente le schéma de communication dans la plateforme qu'on a développé :

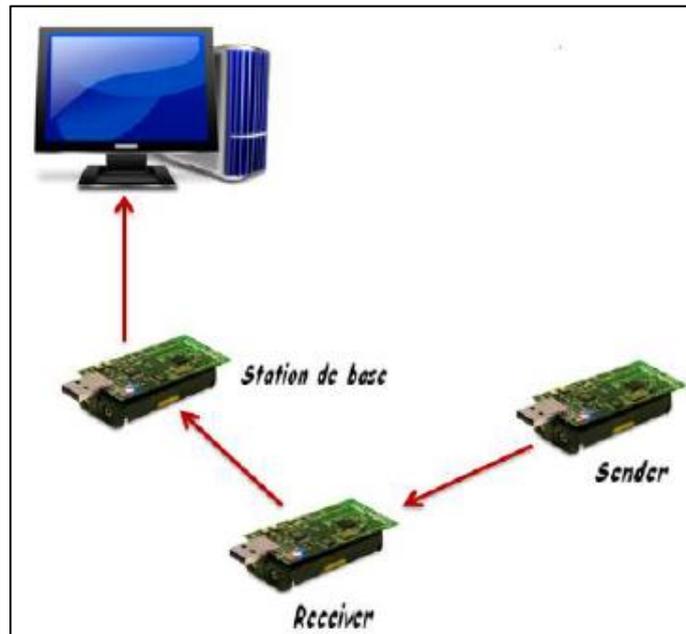


Figure 4.7 : Schéma de communication dans la plateforme.

Dans cette architecture simplifiée, chaque capteur telosB envoie périodiquement la température ambiante aux autres capteurs qui ont leurs tours l'envoient à la station de base via une liaison sans fil. Suite à cela, cette station analyse les données collectées et vérifie les alertes en cas un déclenchement de feu.

Le changement climatique se manifeste pour des formes diverses. Quand la température se dépasse un certain seuil, le capteur quelque soit son type (membre ou chef de groupe) se déclenche une alerte de feu.

Le but de notre travail est de localiser ce feu ; c'est-à-dire connaître où se trouve le feu ? On a utilisé un algorithme (programme) qui va nous permettre de réaliser cette contribution.

4.3.3. Algorithme d'application (programme) :

TinyOS a été utilisé comme environnement de développement dans cette recherche. Les bibliothèques et les applications du système TinyOS sont écrites en NesC [38], une version de C qui a été conçue pour programmer les systèmes embarqués. Dans NesC, les programmes sont construits à partir des composants qui sont connectés ensemble pour former le programme entier.

Ces composants sont liés par des interfaces. Cependant, les interfaces utilisées dans notre travail sont :

Chapitre 4 : Application des RCSFs pour la localisation d'un incendie

- **Packet** : forme de message diffusé.
- **Leds** : permettent de suivre le déroulement du programme en allumant les Leds du capteur à des moments pertinents. Dans notre cas, on a utilisé la couleur rouge pour la diffusion de température et les alertes en cas de déclenchement de feu et la couleur verte pour la diffusion de la position.
- **Receive** : permet de recevoir les messages recueillis via la liaison sans fil.
- **AMSend**: permet d'envoyer les messages via une liaison sans fil.
- **Read** : permet de lire la valeur de température recueillie.

Dans ce programme, on a utilisé deux times pour déclencher les événements périodiques (détection et localisation) :

- **TimerMilli** : Ce time permet d'envoyer périodiquement un message de position aux reste membres de groupe ; il est égale 10 seconde.
- **Timer0** : Ce time permet d'envoyer périodiquement un message qui contient la valeur de température aux restes membres de groupe. Ce time est programmé à 2 secondes.

L'algorithme qu'on a utilisé a une structure bien définie qui spécifie un ensemble de fonctions tel que :

- **Type** : il existe deux types de messages diffusés :

1-diffusé par le chef de groupe pour donner la position aux restes membres de groupe.

2-diffusé par le membre de groupe en cas d'alerte (dépassement du seuil de température).

- **Sauts** : définit le nombre de sauts séparant le membre de groupe de son chef de groupe afin d'estimer la position.
- **Seq** : définit le numéro de séquence utilisé par les capteurs afin d'éviter qu'un message (position ou alerte) soit traiter deux fois.

- **(x,y,z)** : la position de chef de groupe.

- **Tmp** : la valeur de température recueillie par les capteurs.

- **Chef** : cette fonction sépare le chef de groupe de reste membres de groupes :

Chef=1 : pour le chef de groupe.

Chef= 2 : pour le membre de groupe.

- **Taille** : cette fonction définit la taille de cluster qui est égale à 2 dans notre cas.

Chapitre 4 : Application des RCSFs pour la localisation d'un incendie

Suite à cela, on va installer le programme dans les capteurs et pour faire cette étape ; il faut d'abord le compiler pour obtenir une image binaire sous TinyOS. Ensuite, on charge cette image binaire dans les capteurs en séparant entre le chef de groupe (Chef=1) au reste membres de groupe (Chef=0).

Les commandes pour compiler et installer le programme sont :

```
Cd /opt/tinyos-2.x/apps/Amar
```

```
Make telosb
```

```
Make telosb reinstall bsl, /dev/ttyUSB0
```

Les trois lignes de commandes montrent respectivement, la méthode d'accès au répertoire (Amar) qui contient l'application, la compilation de cette application et l'installation de cette dernière dans le capteur.

Après l'installation de programme dans les capteurs, ces derniers peuvent collecter la température et la communiquer aux autres capteurs.

Au cours de notre travail, on a pris le seuil de température égale à 70° pour que les capteurs déclenchent une alerte de feu. Nous allons baisser le seuil de température à 15°, c'est-à-dire créer une alerte pour vous montrer le cœur de notre travail. Les figures suivantes illustrent la fiabilité de cette application :



Figure 4.8 : Diffusion d'alerte

On remarque que les Leds des capteurs (Chef ou membre de groupe) se clignotent chaque deux secondes par la couleur rouge. Cela nous permet de comprendre comment un

Chapitre 4 : Application des RCSFs pour la localisation d'un incendie

capteur détecte la chaleur transmise par l'incendie et annonce la présence de feu dans l'environnement réel après un dépassement de certain seuil de température.

La figure suivante illustre la diffusion des messages d'alerte et de position entre le chef de groupe et le membre :

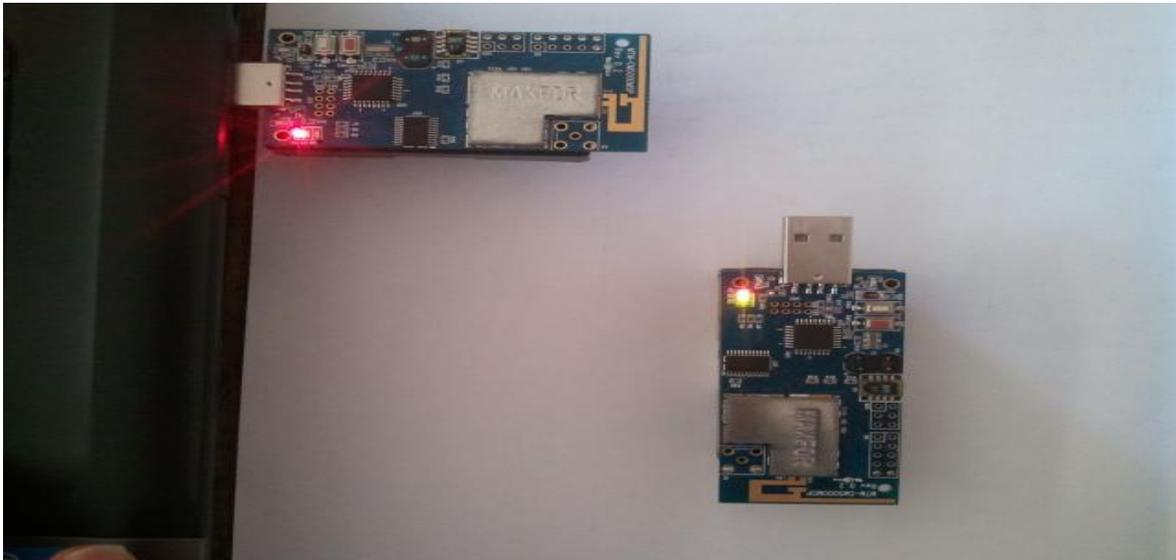


Figure 4.9 : Diffusion d'alerte et de position

On remarque que les Leds des deux capteurs (Chef ou membre de groupe) se clignotent par la couleur rouge, cela nous permet de comprendre que l'alerte est toujours présente en diffusant chaque deux secondes un message d'alerte entre le chef de groupe et le membre .Par contre, le chef de groupe se clignote aussi chaque dix secondes par la Led verte. Cela, signifie qu'à chaque dix secondes ; on a une diffusion d'un message de position (x,y,z) envoyé par le chef de groupe vers le membre .

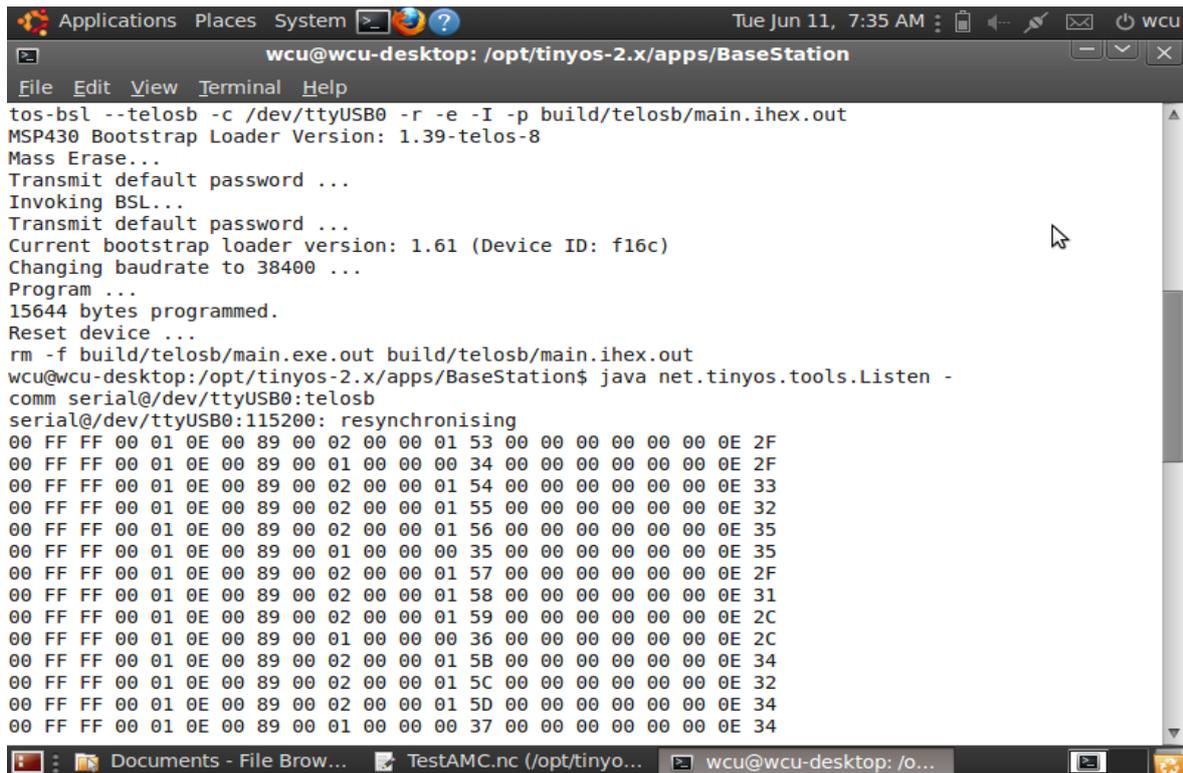
Après la réalisation de notre travail, on a pu ajouter une station de base qui permet le traitement et l'analyse des données collectées et la vérification des alertes dans le cas d'un déclenchement de feu.

Tout d'abord, on procède à installer l'application de la station de base sur un capteur en suivant les mêmes commandes précédentes et en utilisant le même seuil de température de 15°C (le seuil d'alerte), puis on introduit la commande suivante :

```
java net.tinyos.tools.Listen -comm serial@/dev/ttyUSB0:telosb
```

Le résultat obtenu est illustré dans la figure 4.10 :

Chapitre 4 : Application des RCSFs pour la localisation d'un incendie



```
wcu@wcu-desktop: /opt/tinyos-2.x/apps/BaseStation
File Edit View Terminal Help
tos-bsl --telosb -c /dev/ttyUSB0 -r -e -I -p build/telosb/main.ihex.out
MSP430 Bootstrap Loader Version: 1.39-telos-8
Mass Erase...
Transmit default password ...
Invoking BSL...
Transmit default password ...
Current bootstrap loader version: 1.61 (Device ID: f16c)
Changing baudrate to 38400 ...
Program ...
15644 bytes programmed.
Reset device ...
rm -f build/telosb/main.exe.out build/telosb/main.ihex.out
wcu@wcu-desktop:/opt/tinyos-2.x/apps/BaseStation$ java net.tinyos.tools.Listen -
comm serial@/dev/ttyUSB0:telosb
serial@/dev/ttyUSB0:115200: resynchronising
00 FF FF 00 01 0E 00 89 00 02 00 00 01 53 00 00 00 00 00 0E 2F
00 FF FF 00 01 0E 00 89 00 01 00 00 00 34 00 00 00 00 00 0E 2F
00 FF FF 00 01 0E 00 89 00 02 00 00 01 54 00 00 00 00 00 0E 33
00 FF FF 00 01 0E 00 89 00 02 00 00 01 55 00 00 00 00 00 0E 32
00 FF FF 00 01 0E 00 89 00 02 00 00 01 56 00 00 00 00 00 0E 35
00 FF FF 00 01 0E 00 89 00 01 00 00 00 35 00 00 00 00 00 0E 35
00 FF FF 00 01 0E 00 89 00 02 00 00 01 57 00 00 00 00 00 0E 2F
00 FF FF 00 01 0E 00 89 00 02 00 00 01 58 00 00 00 00 00 0E 31
00 FF FF 00 01 0E 00 89 00 02 00 00 01 59 00 00 00 00 00 0E 2C
00 FF FF 00 01 0E 00 89 00 01 00 00 00 36 00 00 00 00 00 0E 2C
00 FF FF 00 01 0E 00 89 00 02 00 00 01 58 00 00 00 00 00 0E 34
00 FF FF 00 01 0E 00 89 00 02 00 00 01 5C 00 00 00 00 00 0E 32
00 FF FF 00 01 0E 00 89 00 02 00 00 01 5D 00 00 00 00 00 0E 34
00 FF FF 00 01 0E 00 89 00 01 00 00 00 37 00 00 00 00 00 0E 34
```

Figure 4.10 : détection d'alerte dans la station de base

D'après cette figure nous déduisons que le rôle de la station de base consiste à afficher l'alerte sous forme des valeurs en hexadécimale en respectant l'ordre de la structure de programme : température, coordonnées (x,y,z),numéro de séquence ,nombre de saut, type de message (alerte ou position) et paramètre de température (137) .

On a ajouté une interface qui permet d'afficher l'alerte sous forme d'une fenêtre qui contient la valeur de température détectée par le capteur en décimale ainsi que les coordonnées (x,y,z) de ce dernier. Cela est illustré dans la figure suivante :

Chapitre 4 : Application des RCSFs pour la localisation d'un incendie

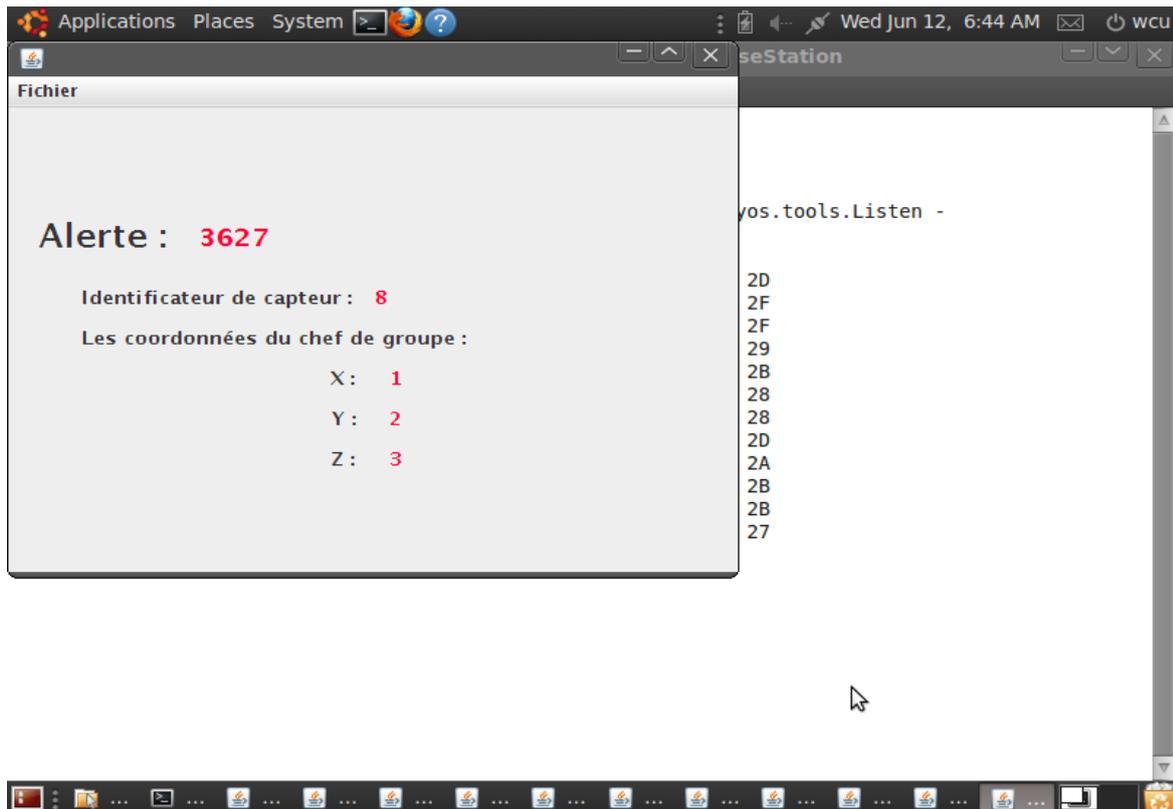


Figure 4.11 : Affichage d'alerte

Finalement, comme nos expériences ont été réalisées sur une plateforme de petite échelle, il serait utile de penser à l'approvisionnement en énergie dans un réseau appliqué sur une grande échelle, surtout que l'énergie est très importante pour la durée de vie des réseaux de capteurs.

5. Conclusion :

Dans ce chapitre, on a présenté les outils logiciels et matériels ainsi que la démarche à suivre pour réaliser une application orientée détection et localisation d'un incendie.

Cette implémentation basée sur les réseaux de capteurs exige des outils bien particuliers qui sont développés pour exploiter les systèmes à ressources limitées tels qu'un système d'exploitation léger « TinyOs », un langage orienté composant « NesC » et une station base pour traiter les informations collectées et vérifier les alertes en cas un déclenchement de feu.

Conclusion générale

Conclusion générale :

Les réseaux de capteurs sans fil présentent des spécificités bien particulières. Ils se caractérisent par l'aspect miniaturisé et les ressources limitées en termes d'énergie, calcul et stockage. Ils traitent deux types d'applications: les applications orientées événements et les applications orientées surveillance. Dans le premier type, on s'intéresse principalement aux événements pertinents qui peuvent survenir dans la zone de déploiement alors que dans le deuxième type on s'intéresse à une surveillance de longue durée d'une zone d'intérêt.

Dans le cadre de notre projet, on s'est intéressé aux applications orientées détection et localisation. Ces applications consistent à envoyer des informations périodiques à un centre de contrôle distant. Ces informations peuvent être exploitées directement ou stocker dans une base de données pour effectuer un éventuelle positionnement. Par exemple, le suivi d'un patient, le suivi d'un animal, etc.

Bibliographie

Bibliographie :

- [1] Samir Athmani ; «Protocole de sécurité pour les réseaux de capteurs sans fil ». Thèse de Magistère ; Université de Hadj Lakhdar-Batna ; Juillet 2010.
- [2] Boudjaadar Amina ; « Plateforme basée Agents pour l'aide à la conception et la simulation des réseaux de capteurs sans fil ». Thèse de Magistère ; Université de Skikda ; 2009/2010.
- [3] Belkheir Khaled et Haned Ahmed ; « Réseaux WiFi ad hoc ». Mémoire d'ingénieur ; Institut de télécommunication d'Oran ; Juin 2008.
- [4] J.Lanford-Home RF: Bringing Wireless Connectivity home-Intel Home RF technology Tutorial; Avril 1999.
- [5] LAN-MAN; Standards Committee of the IEEE Computer Society -802.11 IEEE Standard for Information technology; 1999.
- [6] Livre blanc ; « Sécurité des systèmes sans fil ». Cyber Networks ; Janvier 2004.
- [7] Tayeb Lemlouma ; « Le routage dans les réseaux mobiles ad hoc ».Mini projet ; Septembre 2000.
- [8] Messaoud Belloula ; « La géolocalisation dans les réseaux de capteurs sans fil ; Etude de cas : Utilisation en agriculture ».Thèse de Magistère ; Université Hadj Lakhder-Batna.
- [9] I.F. AKYILDIZ, W. S. SANKARASUBRAMANIAM, E. CAYIRCI: Wireless Sensor Networks: A Survey. Computer networks, 2002, 38, pp.393-422.
- [10] Kris Lin, Jennifer Yu, Jason Hsu, Sadaf Zahedi, David Lee, Jonathan Friedman, Aman Kansal, Vijay Raghunathan, and Mani Srivastava. Heliomote : enabling long-lived sensor networks through solar energy harvesting. In SenSys '05: Proceedings of the 3rd international conference on Embedded networked sensor systems, pages 309_309, New York, NY, USA, 2005.ACM.
- [11] Thimo Voigt, Hartmut Ritter, and Jochen Schiller.Utilizing solar power in wireless sensor networks. Local Computer Networks, Annual IEEE Conference on, 0:416, 2003.
- [12] I.F.Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasu bramaniam, E. Cayirci, (2002). Wireless sensor networks: a survey. Elsevier Science. Computer Networks 38 (2002), 393–422.
- [13] Mme LABRAOUI Nabila, La sécurité dans les réseaux sans fil Ad hoc, Doctorat Spécialité : “ Informatique”, A L'université de TLEMCCEN Faculté des sciences ,2012.
- [14] Kaci BADER, Détection d'intrusion dans les réseaux de capteurs sans fils, Master recherche 2 en Informatique, IFSIC-Rennes 1, 2009/2010.

Bibliographie

- [15] Kamal BEYDOUN, Conception d'un protocole de routage hiérarchique pour les réseaux de capteurs, Grade de Docteur, L'université de FRANCHE-COMTE, 16 décembre 2009.
- [16] Abdallah Makhoul, Réseaux de capteurs : localisation, couverture et fusion de données, grade de DOCTEUR, l'Université de Franche-Comté, 14 novembre 2008.
- [17] <http://fr.wikipedia.org>.
- [18] <Http://sed.inrialpes.fr/stages/stages2007/rapportEsteves.pdf>
- [19] Cheng, D. K. Field and wave electromagnetic (2nd ed.): Addison-Wesley Publishing Company, Inc, (1989).
- [20] Rapport, T. S., Reed, J. H., & Woerner, B. D. Position location using wireless communications on highways of the future. *IEEE Communications Magazine*, 34(10), (1996), 33-41.
- [21] Knapp, C., & Carter, G. The generalized correlation method for estimation of time delay. *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, Signal Processing*, 24 (4) (1976), 320–327.
- [22] Carter, G. Time delay estimation for passive sonar signal processing. *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, 29 (3), (1981), (p.p. 463-470).
- [23] Priyantha, N. B., Chakraborty, A., & Balakrishnan, H. The cricket location-support system. *Proc. of the Sixth Annual ACM International Conference on Mobile Computing and Networking* (2000, August), (pp. 32-43).
- [24] Lee, J.-Y., & Scholtz, R. A. Ranging in a dense multipath environment using an UWB radio link. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 20(9), (2002), 1677-1683.
- [25] Gezici, S., Tian, Z., Giannakis, G. B., Kobayashi, H., Molisch, A. F., Poor, H. V., et al. Localization via ultra-wideband radios: A look at positioning aspects for future sensor networks. *IEEE Signal Processing Magazine*, 22(4), (2005), 70-84.
- [26] Elnahrawy, E., Li, X., & Martin, R. P. The limits of localization using signal strength: A comparative study. *First Annual IEEE Conference on Sensor and Ad-hoc Communications and Networks*, (2004), (pp. 406-414).
- [27] Dragos Niculescu, Badri Nath, "Ad hoc positioning system (APS) using AOA", *IEEE INFOCOM 2003 - The Conference on Computer Communications*, vol. 22, no. 1, Mar 2003 pp. 1734-1743.

Bibliographie

[28] Patwari, N., Ash, J. N., Kyperountas, S., Hero, A. O., III, Moses, R. L., & Correal, N. S. Locating the nodes: Cooperative localization in wireless sensor networks. *IEEE Signal Processing Magazine*, 22(4), (2005), 54-69.

[29] DOUMA Nabila, ELHAMMOUTI Mohamed, La localisation dans un réseau de capteurs, PROJET 1ere Année Master RTM, Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse.

[30] Document (Rapport) ; « Etude pour la réalisation d'une cartographie et d'un système d'information géographique sur les risques majeurs au Maroc ». Version 1.0 ; Septembre 2008.

[31] <http://fr.wikipedia.org/wiki/TinyOS>

[32] Héni Jmel - Maxime Caudron ; Aurélien BRISSET - Pierre Marc GUITARD ; « RESEAU DE CAPTEURS SANS FILS ». Projet avancé ;

[33] XUE Yong - AGUILAR Andres ; GONZALEZ Andres - BARROUX Mickaël ; « Agrégation de données dans les réseaux de capteurs ». Rapport ; Université de technologie Compiègne ; 2010.

[34] <http://doc.ubuntu-fr.org/virtualBox>

[35] Benkhadda Amel –Amri Leyla ; « Installation et configuration d'un réseau de capteurs sans fil ». Mémoire de Master ; Université de Tlemcen ; Juillet 2011.

[36] <http://french.alibaba.com/product-free/mtm-cm5000-msp-110784720.html>

<http://www.advanticsys.com/shop/mtmcm5000msp-p-14.html>

[37] Slatna Abbes ; « Implémentation d'une application orientée surveillance pour les réseaux de capteurs ». Mémoire de Master en informatique ; Université de Tlemcen ; Juillet 2012.

[38] David Gay, Philip Levis et D. Culler ; « The NesC language : A holistic approach to networked embedded systems ». 2003.

Annexes:

Algorithme d'application:

```
#include "structure.h"
module TestAMC {
  uses {
    interface Packet;
    interface AMPacket;
    interface Leds;
    interface Boot;
    interface Receive;
    interface AMSend;
    interface Timer<TMilli> as MilliTimer;
    interface SplitControl as AMControl;
    interface Read<uint16_t>;
    interface Timer<TMilli> as Timer0;
  }
  implementation {
    message_t packet;
    bool locked;
    uint16_t seqA = 0;
    uint16_t seqP = 0;
    uint8_t chef=1; //0 pour les membres du groupe
                 //1 un pour le chef du groupe
    uint8_t taille = 2;
    uint8_t alert=2;
    uint8_t position=1;
    uint16_t x;
    uint16_t y;
    uint16_t z;
    event void Boot.booted() {
      call AMControl.start();
    }
    void position_send() {
      MSG_t* msg = (MSG_t*)call Packet.getPayload(&packet, sizeof(MSG_t));
      msg->type=1;
    }
  }
}
```

Annexes

```
msg->x=x;
msg->y=y;
msg->z=z;
seqP++;
msg->seq=seqP;
msg->sauts=0;
if (locked) {
    return;
}
else if (call AMSend.send(AM_BROADCAST_ADDR, &packet, sizeof(MSG_t)) ==
SUCCESS) {
    call Leds.led1Toggle();
    locked = TRUE;
}
return;
}
void alert_send(uint16_t data) {
MSG_t* msg = (MSG_t*)call Packet.getPayload(&packet, sizeof(MSG_t));
msg->type=2;
msg->x=x;
msg->y=y;
msg->z=z;
msg->tmp=data;
seqA++;
msg->seq=seqA;
if (locked) {
    return;
}
else if (call AMSend.send(AM_BROADCAST_ADDR, &packet, sizeof(MSG_t)) ==
SUCCESS) {
    call Leds.led0Toggle();
    locked = TRUE;
}
return;
}
event void MilliTimer.fired() {
```

Annexes

```
        if(chef==1) position_send();
    }
event void Timer0.fired()
{
    call Read.read();
}
event message_t* Receive.receive(message_t* bufPtr, void* payload, uint8_t len) {
MSG_t*
msg = (MSG_t*)payload;
if(msg->type==alert){ // reception d'une alerte
    if(msg->seq>seqA){
        seqA=msg->seq;
        if (locked) {
        }
        else if (call AMSend.send(AM_BROADCAST_ADDR, &packet, sizeof(MSG_t)) ==
SUCCESS) {
            call Leds.led2On();
            locked = TRUE;
        } }
    else{ // réception d'un message de position
if(chef==0){
if(msg->seq>seqP){
        seqP=msg->seq;
        msg->sauts++;
        x=msg->x;
        y=msg->y;
        z=msg->z;
        if(msg->sauts<taille){
            if (locked) {
            }
            else if (call AMSend.send(AM_BROADCAST_ADDR, &packet, sizeof(MSG_t)) ==
SUCCESS) {
                call Leds.led2On();
                locked = TRUE;
            } } } }
    }
return bufPtr;
```

```
    }
    event void AMSend.sendDone(message_t* bufPtr, error_t error) {
        if (&packet == bufPtr) {
            locked = FALSE;
            call Leds.led2Off();
        } }
    event void AMControl.startDone(error_t err) {
        call MilliTimer.startPeriodic(10000);
        call Timer0.startPeriodic( 3000 );

        // Ce timer permet d'envoyer périodiquement un message de position aux reste
        du membre de son groupe
    }
    event void AMControl.stopDone(error_t err) {
    }
    event void Read.readDone(error_t result, uint16_t data)
    {
    uint16_t T;
        if (result == SUCCESS){
            T=-39.5+0.01*data;
            if (data > 70) alert_send(data);
        }
    }
}
```