

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE



**UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA**  
**FACULTE DES MATHÉMATIQUES ET**  
**DE L'INFORMATIQUE**



**DEPARTEMENT D'INFORMATIQUE**

**MEMOIRE de fin d'étude**

**Présenté pour l'obtention du diplôme de MASTER**

**Domaine : Mathématiques et Informatique**

**Filière : Informatique**

**Spécialité : Réseaux**

**Par : BOUKHARI Nawel**

**SUJET**

**Auto-localisation dans les réseaux de capteurs sans fil**

**Soutenu publiquement le : 31/05/2016 devant le jury composé de :**

**Mr. TAHRI Zohir**

**Université de M'sila**

**Président**

**Mr. DABBA Ali**

**Université de M'sila**

**Rapporteur**

**Mr. LAKHAL Ayat Raouf Ouanis**

**Université de M'sila**

**Examineur**

**Promotion : 2015 /2016**

---

## Remerciement

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué au succès de mon travail.

Tout d'abord, j'adresse mes remerciements à mon encadreur Dr DABBA Ali pour son aide.

Je tiens à remercier les membres du jury pour m'avoir fait le plaisir d'accepter d'examiner ce travail.

J'ai remercié aussi tous les enseignants, du primaire jusqu'à l'université, qui ont affiné ma formation.

Je tiens à remercier également ma famille et mes amies, et surtout mon mari ; ce travail n'aurait certainement jamais vu le jour sans leurs aides, et leurs soutiens, je tiens vivement à les remercier.

---

## Dédicace

*A mes parents ; A mes beaux-parents.*

*A ma petite famille mon mari et mes filles.*

*A mes frères et mes sœurs.*

*A mes amies*

# TABLE DES MATIERES

## Table des matières :

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Introduction générale</b>   | <b>1</b>  |
| <b>Chapitre 1 : Les réseaux de capteurs sans fil</b>                   | <b>4</b>  |
| 1. Les réseaux de capteurs sans fil (RCSF)                             | 4         |
| 1.1 Le nœud capteur  | 4         |
| 1.2 Architecture et fonctionnement d'un réseau de capteurs             | 7         |
| 2. Applications des réseaux de capteurs                                | 9         |
| 2.1 Les Applications militaires  | 9         |
| 2.2 Les applications environnementales                                 | 10        |
| 2.3 Les applications médicales   | 11        |
| 2.4 Les applications domestiques                                       | 11        |
| 2.5 Autres applications  | 12        |
| 3. Caractéristiques et contraintes des réseaux capteurs                | 13        |
| 3.1 Déploiement  | 14        |
| 3.2 Localisation   | 14        |
| 3.3 Couverture   | 15        |
| 3.4 Sécurité   | 16        |
| 3.5 Énergie et durée de vie  | 16        |
| 3.6 Topologie dynamique  | 16        |
| 3.7 Groupement «clustering»  | 17        |
| 3.8 Communication multi-saut   | 17        |
| 3.9 Mobilité   | 18        |
| 3.10 Identification  | 18        |
| 4. Problèmes étudiés en RCSF   | 18        |
| <b>Chapitre 2 : Localisation dans les réseaux de capteurs sans fil</b> | <b>21</b> |
| 1. Pourquoi ?  | 21        |
| 2. Comment ?   | 22        |
| 2.1 Estimation des distances   | 22        |
| 2.1.1 Indicateur de puissance de signal à la réception(RSSI)           | 23        |

|   |  |           |
|---|--|-----------|
| 2.1.2   | Mesure de la différence des temps d'arrivée (TDoA)         | 23        |
| 2.1.3   | Angles d'arrivée (AoA)                                     | 23        |
| 2.2   | Algorithme de localisation                                 | 23        |
| 2.2.1   | La trilatération   | 23        |
| 2.2.2   | La Multilatération   | 24        |
| 2.2.3   | La triangulation   | 24        |
| 3.  | Les Ancres (Beacons)                                       | 25        |
| 3.1   | Ancre mobile   | 26        |
| 4.  | La Classification des méthodes de localisation             | 26        |
| 4.1   | Système centralisés et Système distribués                  | 27        |
| 4.2   | Système anchor-free et anchor-based                        | 27        |
| 4.3   | Méthodes range-free et range-based                         | 27        |
| 4.4   | La mobilité des nœuds                                      | 28        |
| 5.  | Localisation avec ancre mobile et nœuds capteurs statiques | 28        |
| 5.1   | Mobile Assisted Localisation (MAL)                         | 29        |
| 5.2   | Algorithmes de localisation géométriques                   | 30        |
| 5.3   | Algorithmes de planification du chemin                     | 30        |
| 6.  | les critères de localisation                               | 31        |
| <b>Chapitre 3 : Etude de l'algorithme de localisation distribué basé sur une ancre mobile</b> |  | <b>33</b> |
| 1.  | Architecture et fonctionnement                             | 34        |
| 1.1   | Trajectoire  | 35        |
| 1.2   | Les paquets et les points de diffusion                     | 37        |
| 2.  | Algorithme de localisation                                 | 37        |
| 3.  | Les performances de l'algorithme de localisation           | 39        |
| <b>Chapitre 4 : Conception et réalisation d'un simulateur multithread</b>                     |  | <b>41</b> |
| 1.  | Conception de simulateur multithread                       | 41        |
| 1.1   | Identification des objets et les traitements               | 41        |
| 1.2   | La classe Thread ancre                                     | 42        |
| 1.3   | La classe Thread nœud                                      | 42        |
| 2.  | Simulation et Résultats                                    | 44        |
| 2.1   | Interface de simulateur                                    | 44        |
| 2.2   | Paramètres de simulation                                   | 45        |
| 2.3   | Les Résultats  | 45        |

---

|       |                              |           |
|-------|------------------------------|-----------|
| 2.3.1 | La couverture réseau         | 45        |
| 2.3.2 | Longueur du trajet           | 46        |
| 2.3.3 | La précision de localisation | 48        |
| 2.3.4 | Le coût de communication     | 49        |
| 2.3.5 | Passage à l'échelle          | 50        |
|       | <b>Conclusion générale</b>   | <b>52</b> |
|       | <b>Bibliographie</b>         | <b>53</b> |

## Liste des figures

|  |    |
|--|----|
| Figure1.1 : Composants d'un capteur  | 6  |
| Figure1.2 : Exemple d'un capteur   | 6  |
| Figure 1.3 : Réseaux de capteurs sans fil vs Réseaux Ad-hoc                                | 7  |
| Figure 1.4 : Architecture de la communication d'un réseau RCSF                             | 8  |
| Figure1.5 : Acheminement d'un événement  | 8  |
| Figure1.6 : Acheminement d'une demande   | 9  |
| Figure 1.7 : Utilisation des RCSF dans le domaine militaire.                               | 10 |
| Figure 1.8 : Utilisation des RCSF dans le domaine environnementale.                        | 10 |
| Figure 1.9 : Utilisation des RCSF dans le domaine médicale.                                | 11 |
| Figure 1.9 : Utilisation des RCSF dans le domaine domestique                               | 12 |
| Figure 1.10 : Utilisation des RCSF dans le domaine agriculture.                            | 12 |
| Figure 1.11 : Déploiement aléatoire.   | 14 |
| Figure 1-12: Clustérisation d'un RCSF  | 17 |
| Figure1.13 : Exemple de communication multi-saut dans un réseau de capteurs                | 18 |
| Figure2.1 : Processus de localisation dans les réseaux capteurs                            | 22 |
| Figure 2.2 : La trilatération  | 24 |
| Figure 2.3 :Multilatération  | 24 |
| Figure 2.4 : Triangulation   | 25 |
| Figure 2.5 : Classification des algorithmes de localisation selon la mobilité<br>des nœuds | 28 |
| Figure 2.6 : Une seule ancre mobile pour aider les nœuds à s'auto-localiser                | 29 |

---

|  |    |
|--|----|
| Figure 2.7 : Algorithme de localisation LA   | 30 |
| Figure 2.8 : Trois différentes trajectoires.   | 31 |
| Figure 3.1 : Architecture du réseau  | 34 |
| Figure 3.2 : Processus de la localisation en utilisant une ancre mobile  | 35 |
| Figure 3.3 : Trajectoires tester dans notre algorithme (a) Scan, (b)Doublescan,<br>(c)Hilbert,(d)Triangulaire. | 37 |
| Figure 3.4 : Un exemple de trilatération   | 36 |
| Figure 4.1 : Interface simulateur  | 44 |
| Figure 4.2 : La couverture réseau des quatre trajectoires.   | 46 |
| Figure 4.3 : La longueur de trajet   | 47 |
| Figure 4.4 : La précision de localisation en fonction de L   | 48 |
| Figure 4.5 : La précision de localisation en fonction d'erreur d'estimation<br>de la distance                  | 49 |
| Figure 4.6 : Le coût de communication par rapport au nombre de message reçus                                   | 50 |
| Figure 4.7 : La variation de l'erreur moyenne par rapport au nombre de nœuds                                   | 50 |



## Liste des tableaux

|  |    |
|--|----|
| Tableau 1.1 : Les points de différence entre réseaux de capteurs sans fil<br>et réseaux ad-hoc | 13 |
| Tableau 4.1: Paramètres de simulation.   | 45 |

## Tables d'abréviations

|             |  |
|-------------|--|
| <b>RCSF</b> | Réseaux de Capteurs Sans Fil.  |
| <b>TDOA</b> | Time Difference Of Arrival : Mesure de la différence des temps d'arrivée.              |
| <b>AOA</b>  | Angle Of Arrival : Angles d'arrivée.   |
| <b>RSSI</b> | Received Signal Strength Indicator : indicateur de puissance de signal à la réception. |
| <b>GPS</b>  | Global Positioning System : (Système de positionnement par satellites)                 |

# INTRODUCTION GENERALE

Dans les domaines de recherche, d'analyse, d'observation et même de contrôle des phénomènes physiques, la phase de collection d'informations réelles tels que la température, la pression ou encore la luminosité est très importante. Cette tâche est déléguée aux capteurs dont la fonction est l'acquisition de l'information sur les phénomènes observés.

Le développement de la technologie dans les dernières années, en termes de miniaturisation des machines et des supports de communications conduit à l'émergence de nouvelle génération de micro-capteurs (miniaturisation, capacité de traitement (processeur), communication sans fil, diversité des capteurs (optiques, thermiques, multimédias, etc.), faible coût, etc.). En effet, grâce aux récents progrès des technologies sans fil, les capteurs peuvent communiquer non seulement de proche en proche mais aussi d'acheminer de l'information à tous les nœuds connectés au réseau.

Les réseaux de capteurs ont été identifiés comme l'une des dix technologies clefs de l'avenir et ce en raison de l'incroyable potentiel applicatif qu'elle renferme (selon MIT). Les réseaux de capteurs sans fil est composé d'un grand nombre de capteurs qui sont déployés de manière aléatoire à travers une zone géographique, appelée zone d'intérêt et travaillent de façon autonome et complètement transparente pour l'utilisateur. Celle de réseaux capables de s'auto-configurer et de s'autogérer sans qu'il y ait besoin d'interventions humaines. Les données récoltées par les capteurs sont acheminées grâce à des communications sans fil en multi-saut (c.-à-d. de proche en proche) à une station de base (ou puits) dont le rôle est d'agréger/exploiter les données récoltées. Elle représente en quelque sorte le point d'entrée du réseau de capteurs.

Les caractéristiques de RCSF ont ouvert beaucoup de perspectives applicatives très larges et très variées pour ces réseaux dans de nombreux domaines militaire, médical, domotiques, environnementales, etc.

Le domaine des réseaux de capteurs reste un « chantier » ouvert aux chercheurs de différentes communautés à tous les niveaux : initialisation et auto-configuration, localisation, couverture, déploiement, communication, topologie dynamique, collecte des données,

requêtes et traitement, etc. Nous sommes intéressés dans ce mémoire au problème de localisation.

Le déploiement d'un grand nombre de capteurs est généralement aléatoire, en raison soit de l'hostilité de la zone à surveiller, soit de son immensité ce qui pose **le problème de localisation des capteurs**. La localisation consiste à attribuer une position géographique aux capteurs. Elle est donc nécessaire non seulement au fonctionnement du réseau (routage géographique par exemple), mais également à l'exploitation des données récoltées (« où » est la question qui suit immédiatement l'avènement d'un événement dans la zone surveillée). Il est donc nécessaire de localiser, avec la meilleure précision possible, tous les nœuds du réseau. Cette problématique, malgré les nombreux travaux de recherche qui s'y étaient attachés, reste une problématique ouverte. Cependant l'utilisation des solutions matérielles (GPS) pour la localisation est très chère. Pour pallier ce problème plusieurs algorithmes de localisation ont été inventés.

En effet l'utilisation d'une ancre mobile est l'une de solution. Cette approche est très prometteuse vu que l'ancre mobile est équipée d'un GPS et n'a pas de contrainte d'énergie. Cette ancre mobile peut être un robot mobile, un opérateur humain ... En outre, le processus de localisation dans l'approche de l'ancre mobile dépend de deux principaux enjeux. Le premier enjeu est le choix de la trajectoire de l'ancre mobile. Le deuxième est le choix de l'algorithme de localisation. Dans ce mémoire, nous étudions une méthode de localisation basée sur une ancre mobile avec la Trilatération. Nous examinons différentes trajectoires de l'ancre, proposés dans la littérature tels que: Hilbert, Scan, DoubleScan et Triangulaire. Afin d'analyser cet algorithme selon plusieurs critères de performances, comme le taux de couverture, l'erreur, le coût, longueur de trajet et passage à l'échelle, nous avons réalisés un simulateur multithread en Java.

Ce mémoire s'articule autour de quatre chapitres :

**Chapitre 1** : Donne une vue générale sur les réseaux capteurs sans fil. Nous présentons les différents concepts tels que l'architecture, fonctionnement, domaines d'applications, et caractéristiques. Nous décrivons également, les principales problématiques de recherche dans les réseaux de capteurs.

**Chapitre 2**: traite de la problématique de la localisation dans les réseaux de capteurs. Nous présentons comment les nœuds s'auto-localisent, les différentes méthodes existantes ainsi que leurs classifications, Nous introduisons l'approche fondée sur l'utilisation d'une ancre mobile.

**Chapitre 3:** présente une étude détaillée de l'algorithme de localisation distribué dans les réseaux capteurs basé sur une ancre mobile. Nous justifions le choix d'implémentation de cet algorithme ainsi que les différentes trajectoires à tester.

**Chapitre 4:** détail la conception et la réalisation d'un simulateur multithread en java. Nous avons examiné les performances de quatre trajectoires différentes (la couverture, la longueur de trajet ; la précision de localisation ...), les résultats d'expérimentations obtenus sont décrits et commentés.

# CHAPITRE 1

## LES RESEAUX DE CAPTEURS SANS FIL

L'évolution de l'informatique a été marquée par différentes étapes dans la miniaturisation. Dernièrement, sont apparus d'infimes systèmes micro-électromécaniques, des dispositifs à bas coûts intégrant les fonctionnalités de captage, de traitement et de communication. Un grand nombre de ces dispositifs est déployé dans la nature afin de créer un réseau de capteurs. Ces réseaux facilitent le suivi et le contrôle à distance de l'environnement physique avec une meilleure précision. Ils peuvent avoir de très diverses applications (environnementales, militaires, médicales, etc.).

### 1. Les réseaux de capteurs sans fil (RCSF):

Un réseau de capteurs est constitué d'un grand nombre d'unités appelées nœuds capteurs. Chaque nœud est composé principalement d'un ou plusieurs capteurs. Il est capable de surveiller son environnement et de réagir en cas de besoin en envoyant l'information collectée à un ou plusieurs points de collecte. Ces nœuds communiquent entre eux selon une topologie (fixe ou mobile) du réseau afin d'acheminer les informations à une unité de commande en dehors de la zone de mesure.

#### 1.1 Le nœud capteur :

Un capteur est un dispositif ayant pour tâche de transformer une mesure physique observée en une mesure généralement électrique qui sera à son tour traduite en une donnée binaire exploitable et compréhensible par un système d'information [5].

Parmi les différents types de mesures enregistrées par les capteurs, on peut citer entre autres : la température, l'humidité, la luminosité, l'accélération, la distance, les mouvements, la pression, la présence d'un gaz, la vision (capture d'image), le son, etc.

Les nœuds de capteurs ont des composants matériels et logiciels.

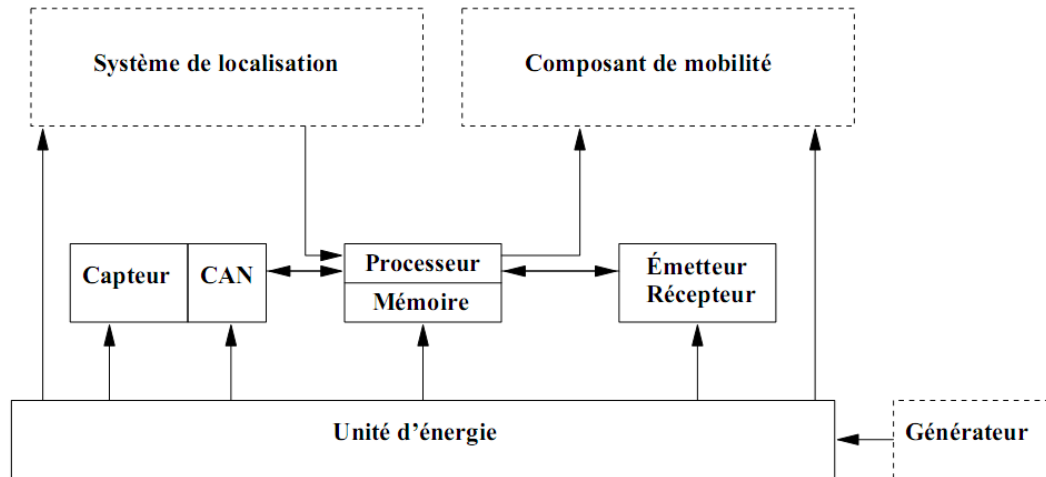
**(a) Les composants logiciels :**

La contrainte énergétique des capteurs exige l'utilisation de systèmes d'exploitation légers tels que TinyOS [5] (Open Source) et son langage de programmation NesC, Contiki et MantisOS [5]. Cependant, TinyOS reste toujours le plus utilisé et le plus populaire dans le domaine des RCSF. Il est libre et est utilisé par une large communauté de scientifiques dans des Simulations pour le développement et le test des algorithmes et protocoles réseau.

**(b) Les composants matériels :**

Est généralement composé de quatre unités principales [4] illustré dans la figure 1.1 :

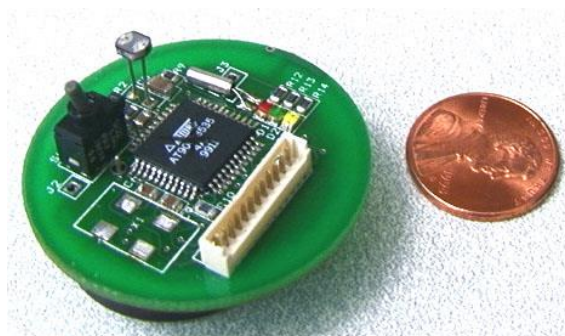
- **L'unité d'acquisition** : l'unité d'acquisition est composée d'un ou plusieurs capteurs qui vont obtenir des mesures numériques sur les paramètres environnementaux (température, pression, humidité, le bruit, les vibrations et les changements du paramètre d'état de la personne, par exemple la pression artérielle et le rythme cardiaque) et d'un convertisseur Analogique/Numérique (CAN) qui va convertir l'information relevée et la transmettre à l'unité de traitement.
- **L'unité de traitement** : l'unité de traitement est composée de deux interfaces, une interface pour l'unité d'acquisition et une interface pour l'unité de transmission. Cette unité est également composée d'un processeur et d'un système d'exploitation spécifique. Elle acquiert les informations en provenance de l'unité d'acquisition et les envoie à l'unité de transmission.
- **L'unité de transmission** : l'unité de transmission est responsable de toutes les émissions et réceptions de données via un support de communication radio.
- **L'unité d'énergie (Power unit)** : C'est la batterie qui, n'est généralement ni rechargeable ni remplaçable. La capacité d'énergie limitée au niveau des capteurs représente la contrainte principale lors de la conception de protocoles pour les réseaux de capteurs.



**Figure1.1** : composants d'un capteur [2]

D'autres composants peuvent être ajoutés à un nœud capteur, comme un système de localisation (GPS : *Global Positioning System* qui est un système de géo localisation fonctionnant au niveau mondial et reposant sur l'exploitation de signaux radio émis par des satellites dédiés), un composant de mobilité pour le rendre mobile, un générateur d'énergie, etc.

Les principaux avantages des nœuds capteurs sont : leur taille réduite voir figure1.2, leur très faible consommation électrique et surtout leur capacité à communiquer sans fil (ce qui permet une grande liberté de mouvement par rapport aux nœuds filaires).

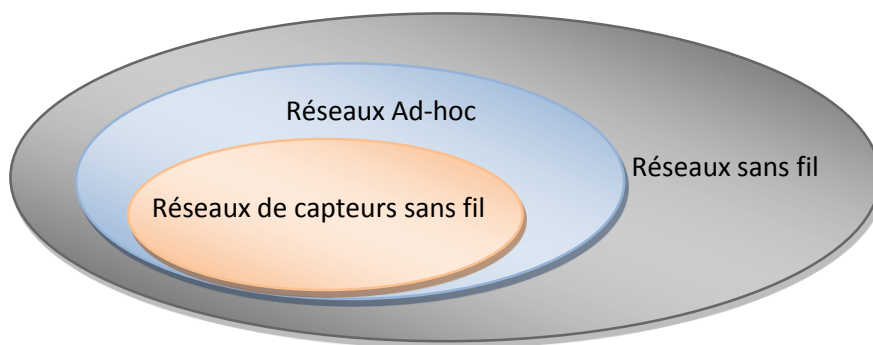


**Figure1.2** : exemple d'un capteur



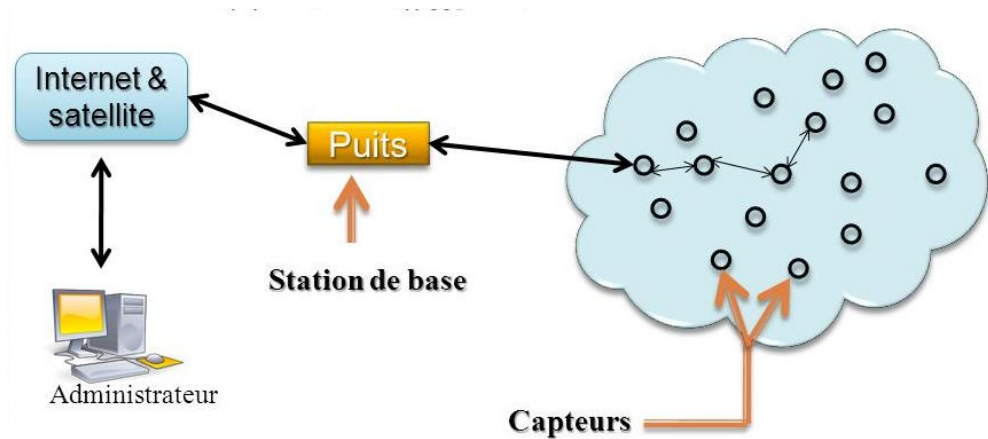
## 1.2 Architecture et fonctionnement d'un réseau de capteurs :

Les réseaux de capteurs sans fil sont constitués de milliers des nœuds capteurs (sensors), ils sont considérés comme un type spécial de réseaux ad-Hoc [2] (figure 1.3). Ils apportent une perspective intéressante : celle de réseaux capables de s'auto-configurer et de s'autogérer sans qu'il y ait besoin d'interventions humaines. Les nœuds sont généralement déployés de manière aléatoire à travers une zone géographique, appelée zone d'intérêt « *champ de captage* ».



**Figure 1.3 :** Réseaux de capteurs sans fil vs Réseaux Ad-hoc [3]

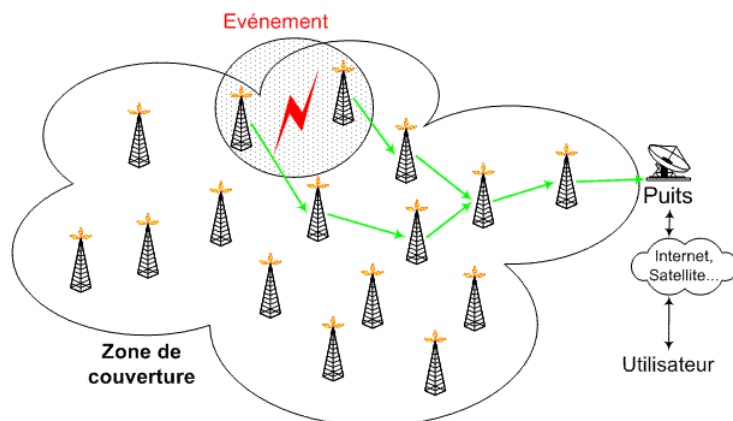
Un réseau de capteurs sans fil permettant de capter et collecter des événements, d'analyser les traitements et de transmettre les informations recueillies dans différents environnements. Les données récoltées sont acheminées grâce à des communications sans fil en multi-saut (c.-à-d. de proche en proche) à une station de base (ou puits « *sink* »). Ces nœuds-puits sont des bases de contrôle qui possèdent plus de ressources matérielles et dont le rôle est d'agréger/exploiter les données récoltées issues des capteurs. Elle représente en quelque sorte le point d'entrée du réseau de capteurs. (Figure 1.4).



**Figure 1.4** : Architecture de la communication d'un réseau RCSF

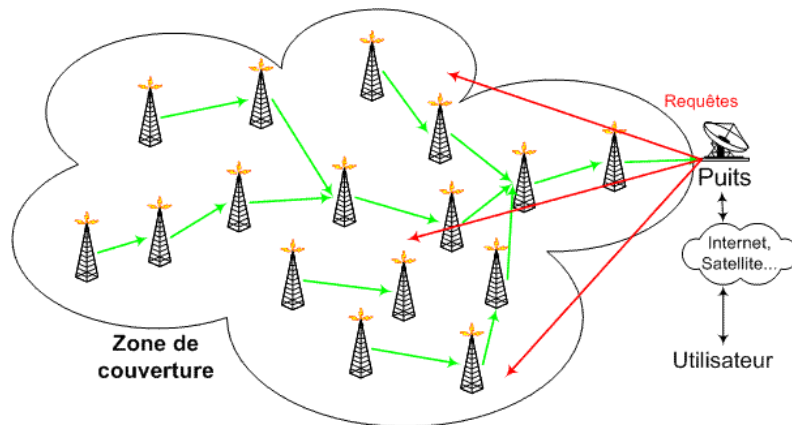
En d'autres termes le fonctionnement d'un réseau de capteurs se déroule de la manière suivante :

- les nœuds sont déployés dans une zone de captage pour la surveiller.
- En cas d'un événement : Lorsqu'un nœud détecte un événement (changement brusque de température, mouvement...), il le traite localement et l'achemine vers la station de base via une communication multi-saut [4] (figure1.5).



**Figure1.5** : Acheminement d'un événement [4].

- En cas d'une demande : Lorsque l'on souhaite avoir l'état de la zone de couverture à un moment T, le puits émet des broadcasts vers toute la zone pour que les capteurs remontent leur dernier relevé vers le puits. Les informations sont alors acheminées par une communication multi-sauts [4] (figure1.6).



**Figure1.6** Acheminement d'une demande [4].

- Dans les deux cas, le puits récupère les informations remontées par les différents capteurs et les transmet au centre de traitement (utilisateur final) à travers un réseau de communication, éventuellement l'Internet.

## 2. Applications des réseaux de capteurs :

Le concept de réseaux de capteurs sans fil est basé sur une simple équation [17]

« Capteurs + Processeur + Radio = Une centaine d'applications potentielles »

La taille de plus en plus réduite des micro-capteurs, le coût de plus en plus faible, la large gamme des types de capteurs disponibles (thermique, optique, vibrations,...) ainsi que le support de communication sans fil utilisé, permettent aux réseaux de capteurs d'envahir plusieurs domaines d'applications différents, tels que le domaine militaire, scientifique, industriel, médical, climatique, etc. qui sont détaillées dans cette section.

### 2.1 Les Applications militaires :

Comme dans le cas de plusieurs technologies, le domaine militaire a été un moteur initial pour le développement des réseaux de capteurs. L'exploitation militaire est l'une des principales applications de ces réseaux.

Dans ce contexte, l'emploi des réseaux de capteurs peut aller des surveillances de routine des périmètres, jusqu'à assister des attaques aériennes ou terrestres et conduire des opérations d'espionnage. Comme exemple d'application dans ce domaine, on peut penser à un réseau de capteurs déployé sur un endroit stratégique ou difficile d'accès, afin de surveiller toutes les

activités des forces ennemies, ou d'analyser le terrain avant d'y envoyer des troupes (détection d'agents chimiques, biologiques ou de radiations).



**Figure 1.7 :** utilisation des RCSF dans le domaine militaire.

## 2.2 Les applications environnementales :

Les réseaux de capteurs peuvent être utilisés pour surveiller les changements environnementaux [2]. Ils servent à déterminer les valeurs de certains paramètres à un endroit donné, comme par exemple : la température, la pression atmosphérique, humidité, de vibration, etc. En dispersant des nœuds capteurs dans la nature, on peut détecter des événements tels que des feux de forêts, des tempêtes ou des inondations. Ceci permet une intervention beaucoup plus rapide et efficace des secours. Avec les réseaux de capteurs on peut contrôler la pollution, par exemple en déposant des capteurs au-dessus d'un emplacement industriel pour détecter et surveiller des fuites de gaz ou de produits chimiques.



**Figure 1.8 :** utilisation des RCSF dans le domaine environnementale.

### 2.3 Les applications médicales :

Les capteurs peuvent être implantés dans le corps humain pour contrôler les problèmes médicaux et pour aider les patients à maintenir leur santé en collectant des informations sur le patient : battement de cœur, tension du sang, la respiration. Ils peuvent être utilisés aussi pour surveiller les patients et l'avancement de leurs états dans un hôpital, mais de surveiller des malades ou des personnes âgées à distance. En outre, en implantant sous la peau des mini capteurs vidéo, on peut recevoir des images en temps réel d'une partie du corps sans aucune chirurgie et pendant environ 24h. On peut ainsi surveiller la progression d'une maladie ou la reconstruction d'un muscle.

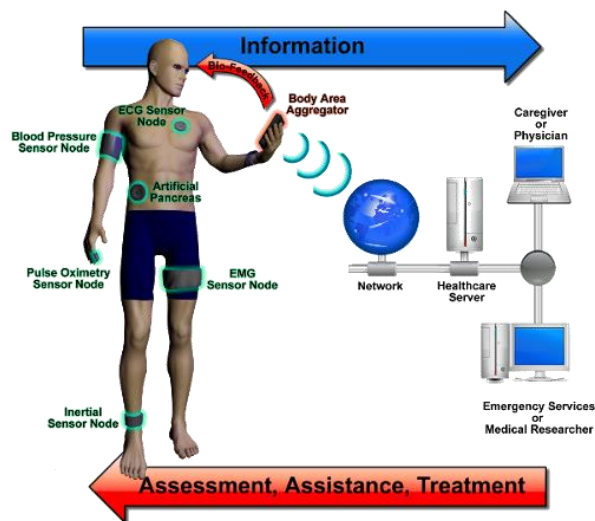


Figure 1.9 : utilisation des RCSF dans le domaine médicale.

### 2.4 Les applications domestiques :

Les réseaux de capteurs peuvent également être utilisés dans la domotique et l'environnement intelligent [2]. Ils jouent un rôle essentiel dans les grandes usines et les entrepôts en surveillant les changements climatiques. Par exemple, des capteurs peuvent être utilisés pour contrôler les vibrations susceptibles d'endommager la structure d'un bâtiment. Dans les auteurs décrivent une application qui surveille l'état de grandes structures comme des immeubles administratifs





**Figure 1.9** : utilisation des RCSF dans le domaine domestique

## 2.5 Autres applications :

Parmi les autres applications des réseaux de capteurs, on a : l'agriculture, des capteurs sont incorporés dans la terre pour donner des informations sur l'état du champ, on peut déterminer les secteurs les plus secs afin de les arroser en priorité. La protection des barrages pourrait être accomplie en y introduisant des capteurs. La détection prompte de fuites d'eau permettrait d'éviter des dégâts.

Grâce aux réseaux de capteurs, les entreprises pourraient offrir une meilleure qualité de service tout en réduisant leurs coûts. Les réseaux de capteurs peuvent également être utilisés pour : surveiller l'infrastructure, lutter contre le terrorisme, contrôler du trafic, détecter des intrusions (en plaçant, à différents points stratégiques, des capteurs, on peut ainsi prévenir des cambriolages), contrôler les stocks (savoir le lieu, la quantité, la forme de tous les produits, contrôler leur flux, etc.), le recouvrement des catastrophes (par exemple chercher des signes de vie après un tremblement de terre), et beaucoup d'autres applications qui rendent notre environnement plus intelligent.



**Figure 1.10** : utilisation des RCSF dans le domaine agricole.

### 3. Caractéristiques et contraintes des réseaux capteurs :

Les réseaux de capteurs sans fil sont apparentés aux réseaux ad-hoc [2]. En effet, ces deux types de réseaux ont de nombreux points communs :

- réseaux sans infrastructure,
- architecture décentralisée,
- autonomie,
- utilisation d'ondes radio pour communiquer.

Les points de différence entre les deux réseaux illustrés dans le tableau suivant :

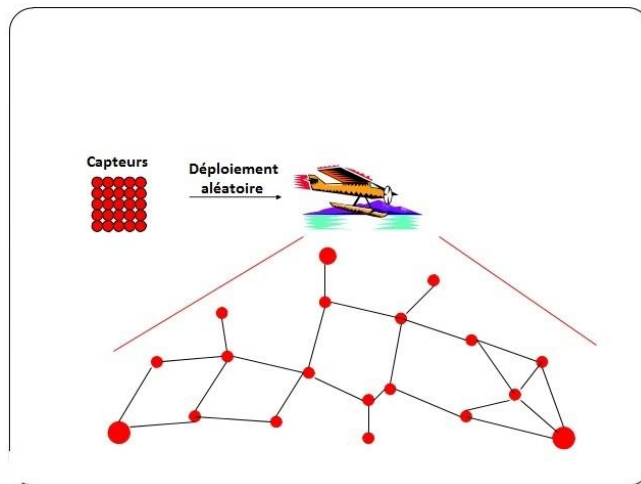
| Capteurs   | Ad-hoc   |
|--|--|
| -la densité des nœuds déployés est beaucoup plus importante. | - a densité des nœuds déployés moins importante. |
| -les nœuds ont capacités limitées en énergie et mémoire,     | - capacités illimitées ;                         |
| - les capteurs peuvent ne pas avoir un identifiant global.   | -Notion d'ID                                     |
| -Nœuds collaborent pour remplir un objectif.                 | - Chaque nœud a son propre objectif.             |

**Tableau1.1** : Les points de différence entre réseaux de capteurs sans fil et réseaux ad-hoc

Dans cette section, nous allons montrer les différentes caractéristiques liées aux réseaux de capteur telles que le déploiement, la couverture, l'énergie, la mobilité, identification, etc.

#### 3.1 Déploiement :

Le déploiement des capteurs est la première opération (phase) dans le cycle de vie d'un réseau de capteurs [2]. On peut envisager plusieurs formes de déploiements selon les besoins des applications. Les nœuds peuvent être déployés aléatoirement d'un avion par exemple, ou bien ils peuvent être placés un par un d'une manière déterministe par un humain ou un robot. Le déploiement peut être fait d'un seul coup ou bien peut être un processus continu en redéployant d'autres capteurs dans une même zone. 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 (Figure 1.11). 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, et la sécurité.



**Figure 1.11** : Déploiement aléatoire.

### 3.2 Localisation :

Comme les capteurs sont lâchés aléatoirement, chaque capteur doit définir lui-même sa position, pour pouvoir délivrer une information complète aux administrateurs. La localisation sert en particulier à identifier l'origine géographique de l'information (d'où vient-elle ?). La majorité des applications exige la connaissance de la position physique des nœuds pour pouvoir localiser les événements. La question qui suit immédiatement la détection d'un événement est « où se passe-t-il ? », sans connaître leurs positions, les nœuds seront incapables de répondre à une telle question.

Plusieurs techniques de localisation sont disponibles. La première et la plus développée est l'utilisation du GPS (Global Positioning System). Cette technique n'est pas applicable à



l'ensemble du réseau de capteurs, car elle est bien trop coûteuse du point de vue financier comme du point de vue énergétique. Pour réduire ce coût, on a proposé d'autres approches qui consistent à équiper une partie des capteurs d'un module GPS, permettant de se localiser grâce aux coordonnées terrestres (longitude et latitude). Une fois leurs coordonnées absolues récupérées, ces nœuds émettent leur position autour d'eux, qui servira ensuite de repères aux autres (ceux n'étant pas équipés de module GPS) pour qu'ils puissent à leur tour se localiser. Une deuxième technique de localisation consiste à déployer un seul nœud mobile au lieu de plusieurs équipés par un GPS. Une fois déployé, le mobile traverse toute la zone en diffusant des informations autour de lui pour aider les nœuds à trouver leurs positions

Dans le chapitre suivant nous expliquerons plus en détails le problème de localisation ainsi que les différentes solutions existantes.

### **3.3 Couverture :**

Un nœud capteur permet de surveiller une zone appelée zone de couverture. Après un déploiement aléatoire une des questions fondamentales qui se pose après la localisation est la couverture. Elle consiste à déterminer le degré de couverture de la zone d'intérêt. On peut distinguer trois sortes de couverture [2]. La couverture « clairsemée », où les nœuds déployés assurent la couverture d'une partie de la zone d'intérêt. La couverture « dense », dans ce cas la zone est presque complètement couverte. La couverture « redondante », où on peut trouver des zones couvertes plusieurs fois par plusieurs nœuds. En général, la couverture peut être considérée comme la mesure de la qualité de service d'un réseau de capteurs. Par ailleurs, une mauvaise répartition des capteurs engendrera une perte de certains nœuds qui n'auront pas de voisins et qui par conséquent seront isolés et déconnectés du réseau.

### **3.4 Sécurité :**

Comme les nœuds sont dispersés dans une zone publique et ouverte, ils doivent être capables de maintenir privées les informations qu'ils recueillent. Par conséquent, la sécurité des données dans les réseaux de capteurs devient encore plus significative. Ceci consiste à concevoir des protocoles pour assurer la sécurité des communications. La difficulté du problème vient de nombreuses limitations dont le déploiement aléatoire ou on ne doit pas présumer une connaissance préalable de voisinage.

### **3.5 Énergie et durée de vie :**

La durée de vie est un élément essentiel pour tout réseau de capteurs sans fil. Le but de n'importe quelle application est d'avoir des nœuds placés sur le terrain pour des mois ou des années. Le principal facteur limitant la durée de vie d'un réseau de capteurs est l'énergie. Comme la seule source d'énergie d'un capteur est une batterie à durée de vie limitée, l'optimisation énergétique doit être prise en considération quelque soit le problème traité. Donc il est très important que les batteries durent le plus longtemps possible, étant donné que dans la plupart des applications il est impossible de retourner les changer.

Plusieurs solutions, à la fois matérielles et logicielles, ont été proposées afin d'optimiser la consommation d'énergie pour maximiser la durée de vie du réseau de capteurs. Par exemple du côté des batteries l'utilisation des piles à combustible qui atteignent des performances bien supérieures aux batteries classiques. Au niveau logiciel, le but est de concevoir des algorithmes non complexes distribués pour minimiser la consommation d'énergie, et des protocoles (routage par exemple) à moindre communication. Diverses approches ont été proposées dans ce domaine.

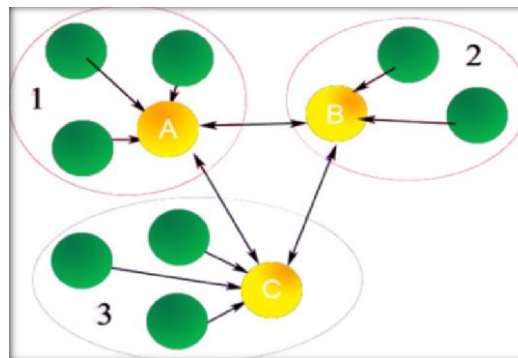
### **3.6 Topologie dynamique :**

Le réseau de capteurs a une topologie dynamique surtout lorsqu'il s'agit d'un réseau mobile. La moindre défaillance énergétique d'un capteur peut donc changer significativement la topologie du réseau et imposer une réorganisation coûteuse de ce dernier. La perturbation des communications (comme les obstacles, l'interférence, etc.) peut induire des cassures des liens entre les nœuds voisins. Le redéploiement et l'ajout d'autres nœuds peuvent être envisagés pour pallier quelques défaillances. Dans tous les cas, le réseau de capteurs doit pouvoir se réorganiser rapidement avec un coût énergétique réduit. De nouveaux protocoles de communications (surtout de routage) doivent être développés afin de supporter les services hauts niveaux et les opérations temps réel, et de s'adapter facilement aux changements extrêmes du réseau.

### **3.7 Groupement «clustering» :**

Un réseau de capteur est souvent constitué de plusieurs milliers de nœuds capteurs. Pour réduire la complexité des algorithmes de routage, faciliter l'agrégation de données, simplifier

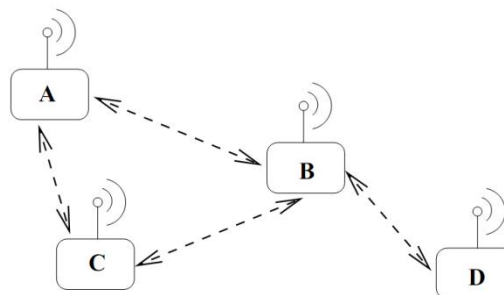
la gestion du réseau comme l'affectation des adresses, et optimiser la consommation d'énergie, les nœuds sont regroupés dans des clusters. Les nœuds qui sont regroupés ensemble dans un cluster seront capables de communiquer facilement les uns avec les autres. Un chef de cluster est élu pour effectuer plusieurs tâches, comme le filtrage, la fusion et l'agrégation. Toutes les communications de tous les nœuds seront effectuées par l'intermédiaire du chef du cluster auquel ils appartiennent. La figure 1-12[5] représente un exemple de réseau clustérisé où les nœuds A, B et C ont été respectivement élus cluster-head des clusters 1, 2 et 3.



**Figure 1-12:** Clustérisation d'un RCSF [5]

### 3.8 Communication multi-saut :

Un réseau de capteurs est constitué d'un grand nombre de nœuds déployés dans une zone locale, ayant une courte portée (rayon communication), un faible débit et aucune existence d'infrastructure. Un nœud capteur peut communiquer directement avec ses voisins, c'est-à-dire ceux qui sont à sa portée de communication, et fait office de routeur pour les autres nœuds. Par exemple dans la figure 1.13, le nœud B pourra relayer les messages du capteur D vers le capteur A. Dans ce cas, les nœuds capteurs communiquent en acheminant les messages par routage « multi-saut ».



**Figure1.13 :** Exemple de communication multi-saut dans un réseau de capteurs [2].

### **3.9 Mobilité :**

Un réseau de capteurs statique ne considère aucune mobilité des nœuds, ni de l'observateur, ni de la zone d'intérêt. Dans ce cas, les capteurs sont regroupés pour capter par exemple la température dans une région déterminée. D'autre part, dans un réseau de capteurs mobile les nœuds, la zone d'intérêt, et l'observateur sont mobiles. Si les nœuds se déplacent, cela implique un changement de la zone d'intérêt qui devient alors « mobile ». Comment un nœud peut-il être mobile ? Il peut être attaché à un robot, à un être humain, véhicule, etc. À notre connaissance, pour l'instant la mobilité des réseaux de capteurs n'est pas largement traitée. La majorité des recherches existantes considèrent des réseaux statiques [2].

### **3.10 Identification :**

Les nœuds dans un réseau de capteurs sont souvent nommés par leurs attributs. Avec le grand nombre de nœuds, il peut être impossible de faire attention à chaque nœud à part. Par exemple, un utilisateur est plus intéressé par la zone ayant une température supérieure à 30 °C, ou par la température moyenne dans le quadrant sud-est, plutôt que par la température du capteur dont son identifiant est 101.

## **4. Problèmes étudiés en RCSF :**

Les réseaux de capteurs sans fil sont très différents de réseaux sans fil en raison des contraintes et de la nature spécifique de l'application de RCSF. Par conséquent, RCSF posent différents défis de la recherche. Dans le système de communication sans fil, les modèles de perte de puissance du signal sur une distance, effets de la réflexion du signal et la diffusion sont bien développées.

Dans un RCSF réelle, la communication radio est de faible puissance et de courte portée par rapport à tout autre réseau de communication sans fil. Les caractéristiques de performance du système est différentes dans RCSF même si les mêmes principes de base du réseau de communication sans fil. La taille, la puissance et le coût sont contraintes fondamentales dans RCSF, donc de nombreux problèmes ont été identifiés et étudiés. Parmi ces problèmes certains sont liés à la conception et la performance du réseau comme : stratégie de déploiement, la localisation, le routage géographique, et le passage à l'échelle, etc. on site par exemple :

- **Passage à l'échelle :**

Le nombre de capteurs déployés peut être de l'ordre du millier ou de la centaine de milliers, Ainsi, les algorithmes dédiés aux réseaux de capteurs doivent être capables de fonctionner efficacement avec une grande quantité de capteurs. Ces algorithmes doivent être capables de traiter un grand nombre d'évènements sans être saturés. Le passage à l'échelle est à l'origine de nouveaux problèmes de recherche, comme le routage adapté aux réseaux de capteur.

- **Routage géographique :**

Le routage dans les réseaux de capteur diffère de celui dans les réseaux ad-hoc ou dans l'Internet en deux points [2] : le premier est que les réseaux de capteurs sont basés sur des attributs qui contiennent souvent les positions géographiques ; le second point est que les contraintes d'énergie, l'aspect dynamique du réseau, le déploiement et le passage à l'échelle empêchent l'obtention d'un algorithme de routage global et proactif. Les stratégies de routage qui fonctionnent principalement en se basant sur des informations locales sont plus appropriées, car elles peuvent être réactives aux changements locaux. Le routage géographique est une technique qui propose un algorithme distribué de routage, basé sur les positions géographiques des nœuds dans le réseau.

La recherche récente qui aborde le problème de localisation dans les réseaux de capteurs a, toutefois, conduit à des algorithmes non complexes, à moindre coût et qui assurent une bonne précision de positionnement. Cette évolution indique qu'une forme dominante de routage dans les réseaux de capteurs est susceptible d'être géographiquement conduite, sachant que l'attribut « Position » peut réduire les coûts de communication.

La phase de localisation est donc nécessaire non seulement au fonctionnement du réseau (routage géographique par exemple), mais également à l'exploitation des données récoltées. Dans le chapitre suivant nous avons représenté le problème de localisation.

**CHAPITRE 2**

**LOCALISATION DANS LES RESEAUX DE**

**CAPTEURS SANS FIL**

Les réseaux de capteurs sans fil sont utilisés dans les environnements différents pour effectuer diverses tâches de surveillance telles que la recherche, et le secours. Dans de nombreuses applications, la localisation joue un rôle primordial, qui sert à déterminer les coordonnées physiques des capteurs, qui est la première tâche après le déploiement des capteurs. C'est pour cela la localisation des nœuds de capteurs en RCSF, a été et est encore une zone essentiel de la recherche. Nous verrons dans ce chapitre l'importance et les principes de localisation.

## **1. Pourquoi ?**

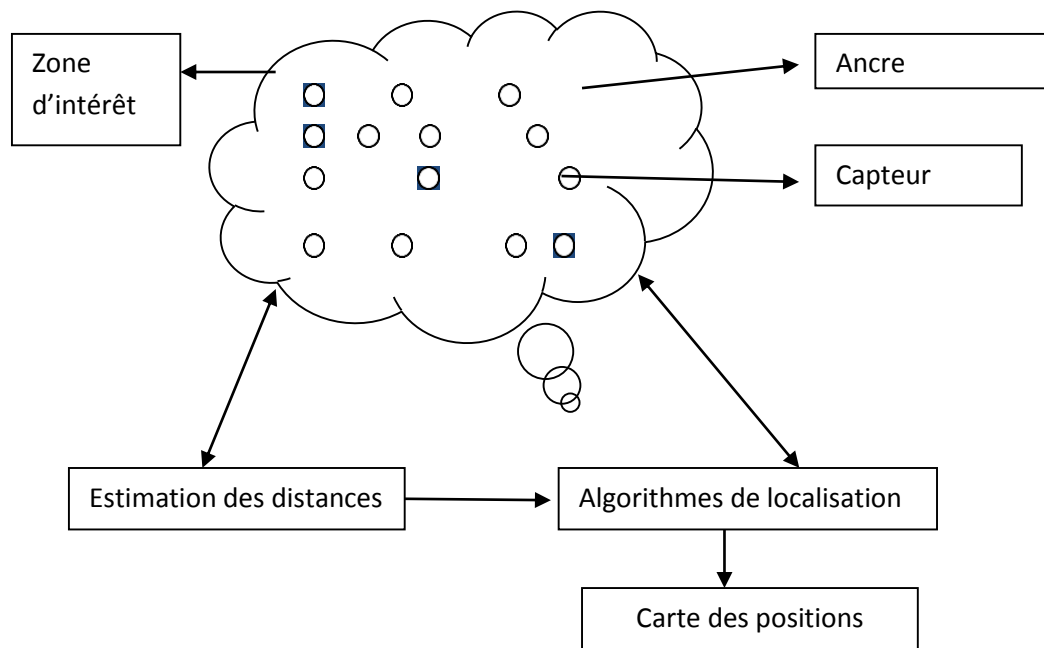
La localisation dans les réseaux de capteurs déployés de manière aléatoire dans la zone de surveillance, en raison soit de l'hostilité de la zone à surveiller, soit de son immensité. est donc nécessaire pour les raisons suivantes :

- L'utilisation des capteurs équipés du GPS est trop coûteuse du point de vu financier comme du point de vue énergétique.
- Identifier l'origine de l'information (d'où vient-elle ?) et détecter la place d'un événement est « où se passe-t-il ? »
- Aider a le bon fonctionnement des services des réseaux tels que le routage et les services géo-localisation.

## **2. Comment ?**

D'une manière générale, presque tous les algorithmes de localisation de réseaux de capteurs partagent deux phases principales :

- (1) Estimation des distances : Cette phase comprend des techniques de mesure pour estimer la distance relative entre les nœuds.
- (2) Algorithme de localisation : les algorithmes de localisation sont utilisés à fin de calculer les positions finales en se basant sur d'une part les positions des de quelques nœuds du réseau (appelés ancres ou «beacons») et d'autre part sur les estimations inter-nœuds. Le processus de localisation est illustré dans la figure 2.1.



**Figure 2.1** Processus de localisation dans les réseaux capteurs.

## 2.1 Estimation des distances :

Plusieurs techniques sont développées pour les estimations des distances entre les nœuds voisins. Parmi lesquelles nous trouvons:

### 2.1.1. Indicateur de puissance de signal à la réception (Received Signal Strength Indication (RSSI)):

La mesure de la puissance d'un signal radio reçu ou RSSI est très simple, gratuite et non intrusive. Chaque nœud peut mesurer la puissance du signal reçu pour chaque paquet de données entrant sans impacter ni la bande passante ni l'énergie. Une estimation de la distance entre l'émetteur du paquet et le récepteur est obtenue à partir de cette puissance du signal reçu en connaissant la puissance du signal émis et le modèle d'atténuation utilisé « Path loss ». Le modèle le plus utilisé est basé sur le log normal shadowing [9]

### 2.1.2. Mesure de la différence des temps d'arrivée (Time Difference of Arrival (TDoA)) :

La différence entre les moments de réception de plusieurs signaux distincts (TDOA) peut être employée pour estimer la distance entre les nœuds cette distance entre l'émetteur et



le récepteur peut être mesuré par la différence de temps d'arrivée avec des différents supports de communication à des vitesses différentes.

### 2.1.3. Angles d'arrivée (Angle of Arrival (AoA)):

L'angle d'arrivée (AoA) n'est pas basée sur le signal radio seulement, est une technique permettant d'estimer l'AoA du signal de l'ancre par rapport à une référence. Cette méthode consiste à définir une direction entre deux nœuds. La direction (l'angle) est généralement recueillie par la radio et un ensemble de microphones, qui permettent à un nœud écouteur de déterminer sa direction par rapport à l'émetteur et avec des relations géométriques simples on peut calculer les positions des nœuds.

## 2.2 : Algorithme de localisation :

Les techniques de base utilisées dans ces algorithmes sont :

### 2.2.1. La trilatération :

Elle est la méthode la plus simple. Elle est fondée sur le même principe qu'un système GPS : chaque nœud connaissant les positions de trois de ses voisins peut se localiser par l'intersection de trois cercles (utilisant la distance entre le nœud et leur voisin), comme le montre la figure 2.2.

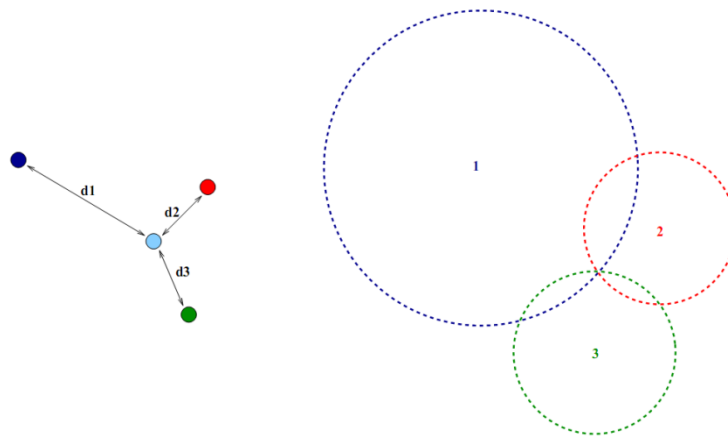
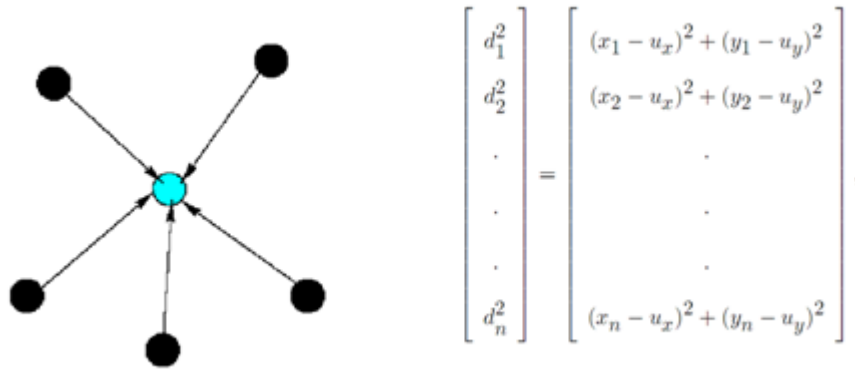


Figure 2.2 La trilatération[7]

### 2.2.2. La Multilatération :

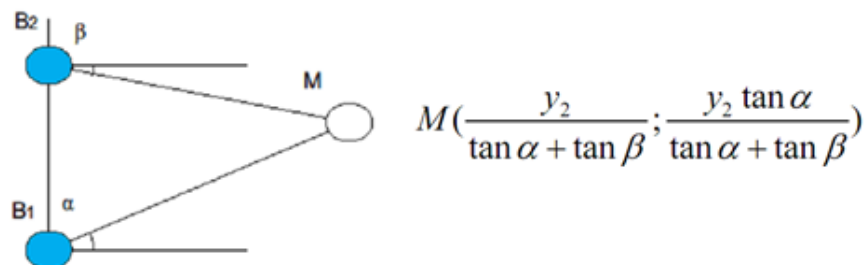
La position d'un nœud inconnu peut également être estimée avec multilatération avec plus de trois distances (plus de trois points de références (ancres)), par la résolution d'un système d'équations.



**Figure 2.3** multilatération[7]

### 2.2.3. La triangulation :

La triangulation est une technique permettant de déterminer la position d'un point en mesurant les angles entre ce point et d'autres points de référence dont la position est connue, et ceci plutôt que de mesurer directement la distance entre les points. Ce point peut être considéré comme étant le troisième sommet d'un triangle dont on connaît deux angles et la longueur d'un côté, comme le montre la figure 2.4.



**Figure 2.4** triangulation [8]

### **3. Les Ancres(Beacons) :**

Les ancres (souvent appelées aussi beacons) sont au préalable nécessaires pour localiser les nœuds d'un réseau dans un système de coordonnées global. Les ancres sont simplement des nœuds ordinaires qui connaissent leurs coordonnées à priori. Cette connaissance pourrait être difficilement codée, ou bien facilement acquise par un certain matériel supplémentaire comme un récepteur GPS. Au minimum, trois ancres non-colinéaires sont nécessaires pour définir un système de coordonnées en deux dimensions.

Les ancres peuvent être utilisées de plusieurs façons. Certains algorithmes de localisation [18] trouvent une carte arbitraire relative pour les coordonnées des nœuds, puis ils utilisent les ancres pour déterminer une transformation rigide des coordonnées relatives vers les coordonnées globales. D'autres algorithmes [19], partants des positions des ancres, calculent les positions des nœuds non-ancres dans un système global.

Les récepteurs GPS sont chers, ne sont pas utilisables pour des applications à l'intérieur et consomment aussi une quantité non négligeable de l'énergie de la batterie, qui peut être un problème pour le pouvoir énergétique limité des nœuds. L'emplacement manuel des ancres peut être non pratique (par exemple lors du déploiement de 20000 nœuds avec 1000 ancres), ou même impossible (par exemple lors du déploiement à partir d'un avion).

Pour pallier à certains de ses inconvénients, des travaux dans la littérature ont proposé l'utilisation d'une seule ancre mais cette fois ci il s'agit d'une ancre mobile à la place de plusieurs fixes.

#### **3.1 Ancre mobile :**

Le principe est l'utilisation d'une seule ancre mobile. Au lieu d'avoir plusieurs ancres statiques, une seule mobile est déployée avec les nœuds, puis elle traverse la zone de surveillance en communiquant avec les autres nœuds afin de les aider à s'auto-localiser. L'ancre mobile diffuse des informations tout au long de sa trajectoire. Elle peut être un opérateur humain, un robot déployé avec le réseau de capteurs, ou dans le cas d'un déploiement d'un avion, l'avion lui-même.

### **4. La Classification des méthodes de localisation:**

Les techniques de localisation peuvent être classées par rapport à différents critères. Ils se diffèrent par rapport à la précision de la localisation supposée, des capacités matérielles, les

méthodes de mesure et de calcul, l'organisation informatique, la configuration du réseau présumé, l'architecture, propriétés des nœuds et leur déploiement, etc. Les stratégies de localisation peuvent généralement être divisées en [10]:

- Tenu en compte de la répartition des processus de calcul, on peut distinguer : **Système centralisés et Système distribués.**
- Ce qui concerne les capacités matérielles des périphériques qui forment un réseau et les mécanismes utilisés pour l'estimation des distances inter-nœuds, nous divisons les protocoles de localisation en deux catégories: **Méthode range-based (sur la base distance) et méthode range-free (sur la base connectivité).**
- Ce qui concerne l'utilisation du GPS dispositif, on peut distinguer : **Système anchor-free (sans GPS (sans ancrés)) et système anchor-based(avec ancrés)**
- Ce qui concerne la mobilité des nœuds, on peut distinguer : **RCSFs statiques, ancrés statique et nœud mobile, ancrés mobiles et nœud statique et RCSFs mobiles.**

#### **4.1. Système centralisés et Système distribués :**

Dans les systèmes centralisés des données collectées dans l'ensemble du réseau sont transmis à l'unité centrale qui calcule la position estimée de chaque nœud et retransmet aux nœuds dans un réseau [11]. Parmi les types de traitement centralisés les plus célèbres l'étagement multidimensionnel (multidimensional scalingMDS) [2].

Dans les systèmes distribués chaque nœud estime sa propre position sur la base des données locales recueillies en communiquant avec leurs voisins pour estimer les distances et échanger les informations de voisinage [11]. Comme le calcul des positions se fait par les nœuds eux mêmes, les algorithmes distribués ne sont pas complexes, donc la méthode distribuée est nécessaire surtout pour les réseaux à grande échelle.

#### **4.2 Système anchor-free et anchor-based :**

Dans la méthode Anchor-free, on crée une carte relative des coordonnées sans recours aux ancrs, donc on n'a pas besoin de la position des nœuds pour fonctionner, une carte relative est suffisante. En revanche, la localisation Anchor-free n'utilise pas l'ancre ou les récepteurs GPS qui sont chers et ne peuvent pas être utilisés à l'intérieur.

La méthode anchor-based méthodes ne fonctionne pas sans connaître la position d'un certain nombre d'ancres à priori. Par l'utilisation des ancrs, nous pouvons obtenir les coordonnées globales.

#### **4.3 Méthodes range-free et range-based :**

Les techniques de localisation Range-Based sont fondées sur la mesure de la distance ou des angles entre les nœuds inconnus à des nœuds de référence (ancres) RSSI, TDOA ou AOA...etc... Ils appliquent ensuite des techniques de trilatération, multilatération, ou de triangulation, on utilisant les distances mesurées, afin d'estimer les positions des nœuds inconnus. Ces techniques range-based sont beaucoup plus précises pour la localisation, mais nécessitent un matériel supplémentaire pour TDOA et AoA.

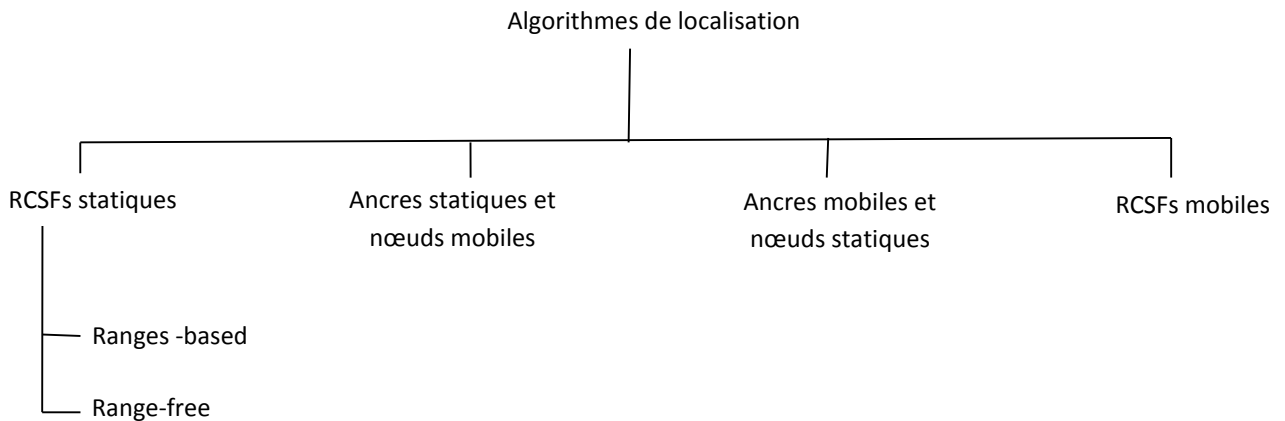
Les techniques de localisation Range-free peuvent indirectement obtenir les distances entre les nœuds inconnus et les points de repère (ancres) par les informations de connectivité ou multi-hop et sont utilisés pour calculer les coordonnées du nœud inconnu. Les algorithmes Range-free, à réduire les coûts, et sont beaucoup plus efficaces dans le processus de localisation mais elles sont moins précises. Plusieurs algorithmes utilise range-free par exemple : Dv-Hop[8], APIT[8] et Centroid[8] etc.

#### **4.4 La mobilité des nœuds :**

On ne peut poursuivre les recherches des algorithmes de localisation sans tenir l'état de la mobilité des nœuds, par ce critère les algorithmes de localisation sont classés en quatre catégories [12] comme montre la figure 2.5:

- (1) RCSFs statiques,
- (2) ancrs statiques, les nœuds capteurs mobiles,
- (3) ancrs mobiles, les nœuds capteurs statiques.
- (4) RCSFs mobiles.

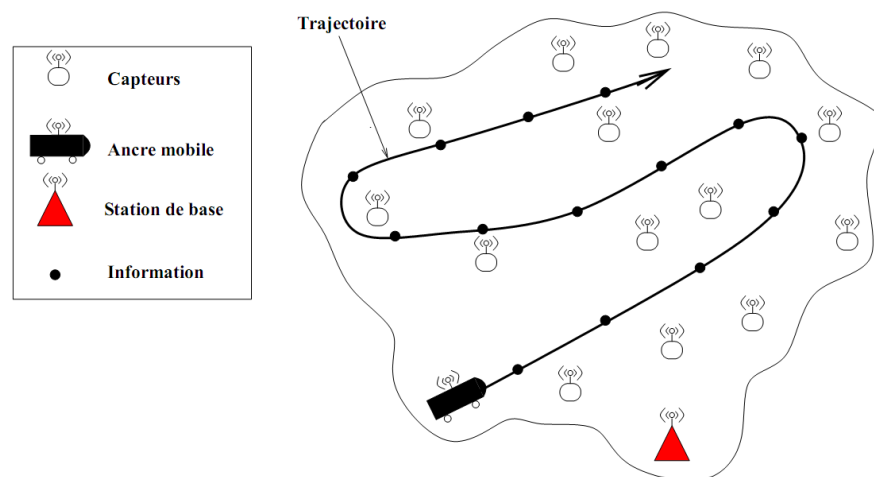
La plupart des algorithmes de localisation sont axés sur la localisation pour les réseaux de capteurs statiques, mais dans ce mémoire nous allons aborder la 3<sup>ème</sup> catégorie (ancres mobiles et nœuds statiques).



**Figure 2.5 :** classification des algorithmes de localisation selon la mobilité des nœuds [16].

## 5. Localisation avec ancre mobile et nœuds capteurs statiques :

Cette technique de localisation des réseaux capteurs utilise une ancre mobile, par exemple, un robot mobile. Cette ancre équipée d'un GPS circule dans l'ensemble du réseau de capteurs en diffusant les informations nécessaires aux nœuds pour les aider à se localiser, comme montre la figure 2.6. Plusieurs approches de localisation sont fondées sur l'utilisation d'un nœud mobile pour localiser les nœuds statiques selon une trajectoire spécifique. , parmi lesquels nous présenterons les approches :



**Figure 2.6** Une seule ancre mobile pour aider les nœuds à s'auto-localiser [2].

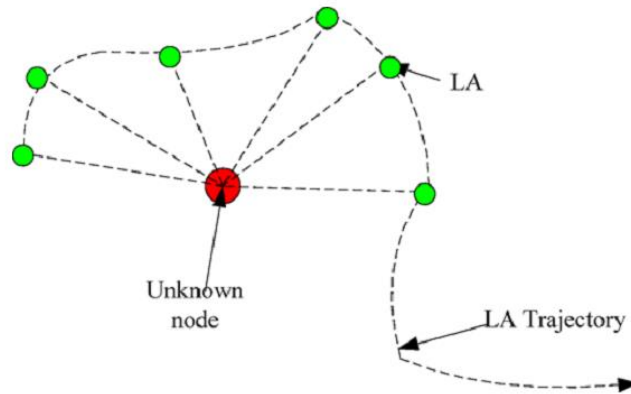
### 5.1 Mobile Assisted Localisation (MAL) [20] :

Dans « MAL » [20], un robot mobile est destiné à circuler entre les nœuds et collecter des informations sur les distances entre ces derniers et lui-même. Dans une première étape les auteurs montrent, comment contraindre le mouvement du robot de telle sorte qu'il puisse récolter les distances suffisantes pour la localisation. Dans une seconde étape, ayant les informations sur les distances entre le robot et les nœuds, un problème d'optimisation est formulé dont la solution présente les distances inter-nœuds. Le but est de concevoir des stratégies de circulation du robot afin de construire un graphe globalement rigide basé sur les distances déjà connues entre les nœuds. La circulation du robot est guidée par la construction d'un tel graphe. Par contre, « MAL » n'est pas robuste à la mise à l'échelle, parce que le robot doit découvrir chaque nœud, un par un, et de se déplacer autour de lui.

Après le calcul de différentes distances entre les différentes paires de nœuds, le « MAL » applique un algorithme de localisation pour dériver les positions des nœuds. Cet algorithme est appelé « Anchor-Free Localization (AFL) ». Il ne nécessite pas d'ancres qui connaissent déjà leurs positions.

## **5.2 Algorithmes de localisation géométriques :**

Les algorithmes de localisation géométriques changent le problème de la localisation des nœuds inconnus en un problème de géométrie [12], et de calculer les coordonnées des nœuds inconnus sur la base de la relation de la géométrie entre les ancres mobiles et les nœuds statiques. Dans l'algorithme Mobile Location Assisted (LA) [21] ; selon une trajectoire spécifique diffuse périodiquement ses informations de position à des nœuds inconnus. Le nœud inconnu calcule la distance entre le nœud mobile et lui-même à l'aide de la technique RSSI, puis détermine son propre emplacement basé sur la méthode de trilatération, comme montre la figure 2.7. L'inconvénient de l'algorithme est qu'il repose principalement sur l'équipement LA. La robustesse et la sécurité de LA sont les facteurs clés, qui donnent une exigence matérielle précise de la LA.

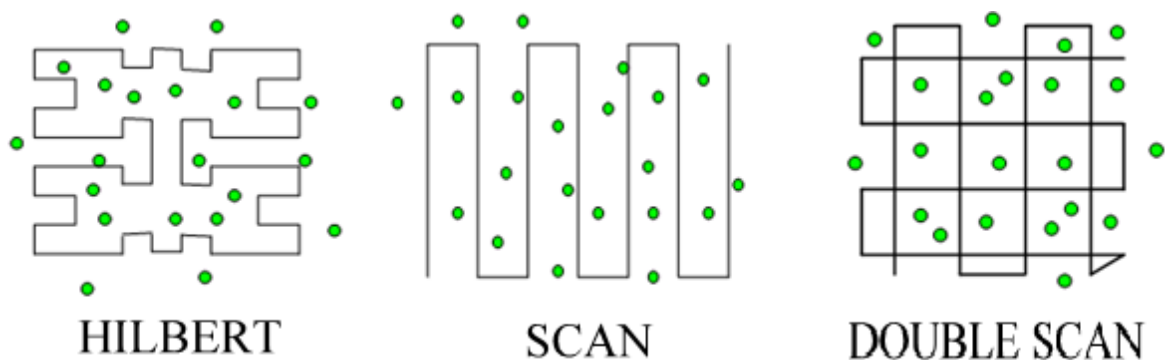


**Figure 2.7** algorithme de localisation LA [12]

### 5.3 Algorithmes de planification du chemin (Path planning localization algorithms):

Cette approche a comme objective de réduire le coût de RCSF, et d'obtenir une plus grande précision de localisation. Cependant, comment trouver le chemin optimal est le problème fondamental. Parmi les solutions nous situons par exemple :

**Dimitrios et al[12]** :a proposé trois trajectoires différentes pour une ancre mobiles, le chemin SCAN, SCAN DOUBLE et HILBERT, comme le montre la Figure2.8. Chacune des trois trajectoires à des avantages et des inconvénients [12].



**Figure 2.8** trois différentes trajectoires.

## 6. les critères de localisation :

Un algorithme de localisation est évalué selon une liste de critères [2] dont nous citons:



**Précision de la localisation :** L'erreur de la localisation est souvent définie 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.

**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.

**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.

**Passage à l'échelle :** Les réseaux de capteurs sont généralement envisagés à large échelle, avec des centaines voir des milliers de nœuds. La question qui se pose, est-ce qu'un algorithme de localisation fonctionne sur un réseau de plusieurs milliers de nœuds ? Et si oui, est-il toujours aussi efficace.

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 une méthode meilleure selon tel ou tel critère.

Dans le chapitre suivant nous avons proposé d'implémenter un algorithme de localisation à l'aide d'une ancre mobile, donné des résultats, et le degré de satisfaction des critères précédentes.

## **CHAPITRE 3**

### **ETUDE DE L'ALGORITHME DE LOCALISATION DISTRIBUEE BASE SUR UNE ANCRE MOBILE**

Localisation est l'une des technologies clés dans les réseaux de capteurs sans fil, car elle fournit un soutien fondamental pour de nombreux protocoles et applications de géo-localisation. Les contraintes de coût et de consommation d'énergie rendent impossible

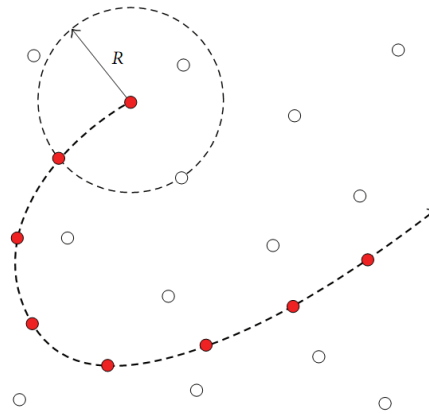
d'équiper chaque nœud de capteur dans le réseau avec un système de positionnement global (GPS), en particulier pour les réseaux de capteurs à grande échelle. Une nouvelle méthode pour localiser les nœuds inconnus est d'utiliser une ancre mobile équipée d'unités GPS. Ce type d'architecture offre des avantages pratiques importants :

- l'ancre mobile n'est pas limitée en énergie comme c'est le cas d'un simple nœud capteur.
- La taille d'une ancre est beaucoup plus grande que la taille d'un capteur et, par conséquent, il est beaucoup plus facile d'installer une unité GPS.
- Facilite la phase de déploiement.
- Réduire le coût (pas d'utilisation d'un grand nombre d'unités GPS qui sont cher).
- La précision de localisation peut également être améliorée (spécification de la bonne trajectoire).

Pour ces raisons nous avons choisi d'implémenter un algorithme de localisation avec une ancre mobile.

## **1. Architecture et fonctionnement :**

Architecture de réseau est illustré sur la figure 3.2. Il existe deux types de nœuds de capteurs dans le réseau, le nœud inconnu et l'ancre mobile (beacon). Tous les nœuds de capteurs ont le même rayon de communication radio. Les nœuds inconnus sont déployés aléatoire dans la zone de captage. L'ancre mobile se déplace suivant la trajectoire prédéfinie en diffusant périodiquement son emplacement actuel pour aider les nœuds inconnus à s'auto-localiser.

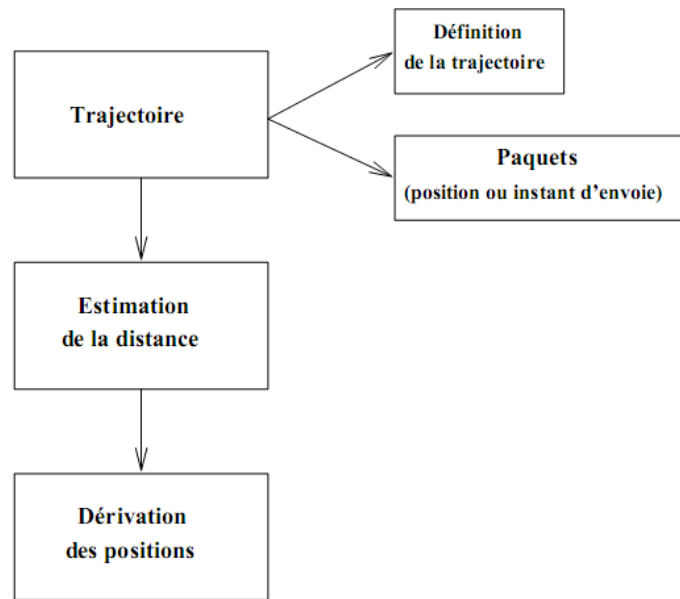


**Figure 3.1** architecture du réseau [1]

Le processus de la localisation avec un nœud mobile est illustré dans la figure 3.1. Il est constitué de trois parties essentielles. La première est consacrée à la trajectoire, la deuxième à l'estimation des distances entre l'ancre et les nœuds et la troisième est dédiée à l'algorithme de localisation (dérivation de positions).

La deuxième et la troisième parties du processus de localisation avec une ancre mobile sont très proches de celles d'autres processus à ancres fixes. L'estimation de la distance entre l'ancre et les nœuds est faite en utilisant les mêmes méthodes discutées précédemment comme la « RSSI », la « TDoA », etc. La dérivation des positions se fait soit par le mobile soit par les nœuds eux même. Dans la plupart des cas ce sont les nœuds qui calculent leurs positions pour réduire les communications.

La partie « trajectoire » est le cœur du processus de localisation avec une ancre mobile, et la plus difficile. Cette partie est divisée en deux sous-parties : (a) la définition de la trajectoire (quel chemin l'ancre mobile va suivre afin d'assurer la localisation de tous les nœuds), et (b) les paquets (qu'est ce qu'ils contiennent ? A quels instants ou positions l'ancre doit-il le envoyer ?).



**Figure 3.2** Processus de la localisation en utilisant une ancre mobile.

### 1.1 La Trajectoire :

Plusieurs recherches scientifiques ont été effectuées afin de trouver la meilleure trajectoire. La définition d'une trajectoire se base sur les critères :

- (1) Il faut que cette trajectoire offre une couverture de la totalité de la zone d'intérêt.
- (2) fournit des paquets de bonne qualité en évitant la colinéarité des paquets avec un fort signal de sorte qu'ils seront capables d'estimer la distance avec une bonne précision.
- (3) doit être courte que possible pour réduire la consommation d'énergie, les points de diffusion du paquet, et le temps pour la localisation.

Pour trouver la meilleure trajectoire (trajectoire optimale) du mobile pour la localisation des réseaux de capteurs est un problème très difficile.

Par suite, nous décrivons les différentes trajectoires testées par notre algorithme nommées, Hilbert, Scan, DoubleScan et triangulaire.

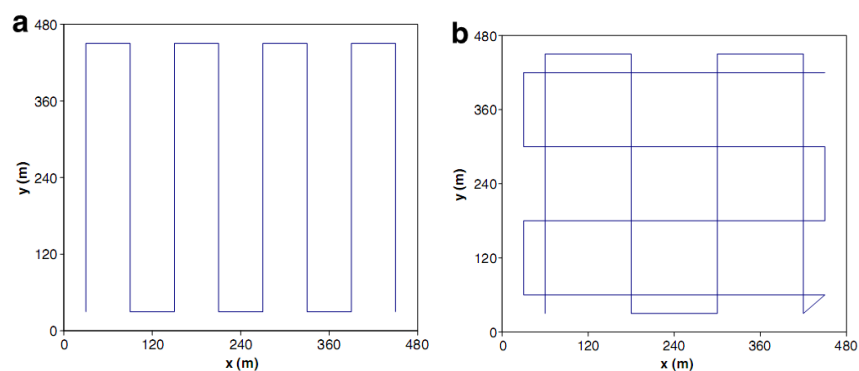
**Scan (balayage)[16]** : est une trajectoire simple et facilement a mis en œuvre. L'ancre mobile traverse la zone de réseau suivant une dimension, comme le montre la Figure3.3 (a). Dans cette figure, l'ancre mobile se déplace le long de l'axe y, et la distance entre deux segments successifs de la trajectoire parallèle à l'axe y, définit la résolution de la trajectoire(L). Si le rayon de communication des capteurs est R, la résolution L devrait être au plus 2R, pour

vous assurer que tous les capteurs seront en mesure de recevoir des paquets. La trajectoire Scan a comme avantage d'offrir une couverture uniforme de la zone d'intérêt, et l'inconvénient majeur est la colinéarité de paquets.

**Double-Scan[16]:** Une autre façon simple de résoudre le problème de colinéarité du SCAN consiste à balayer le réseau le long des deux directions, comme le montre la Figure 3.3(b). Le problème avec cette méthode est qu'elle nécessite à l'ancre mobile de parcourir une distance doublée par rapport à SCAN. Pour garder la distance parcourue similaire pour toutes les trajectoires, il faut réaliser Double-Scan avec une résolution  $L$  double par rapport à SCAN.

**Hilbert :** La Courbe de Hilbert figure 3.3(c) est une courbe fractale unidimensionnelle continue remplissant l'espace, qui visite tous les points dans un espace de 2 ou 3 dimensions, exactement une et une seule fois sans jamais se recouper [2]. La courbe de base dite courbe d'ordre 1. Pour obtenir une courbe d'ordre  $i$ , chaque sommet de la courbe de base est remplacé par la courbe d'ordre  $i - 1$ , avec une rotation et/ou réflexion appropriée pour s'adapter à la nouvelle courbe. Une courbe de Hilbert est généralement décrite comme limite d'une suite de courbes.

**Triangulaire [13] :** Un exemple illustré dans la figure 3.3(d) où la trajectoire d'un nœud mobile à partir  $(x_0, y_0)$  et la suite de chemin est indiquée par des flèches concaténées. Les positions de diffusion du paquet forment un triangle équilatéral, pour améliorer la précision de la localisation des nœuds inconnus.



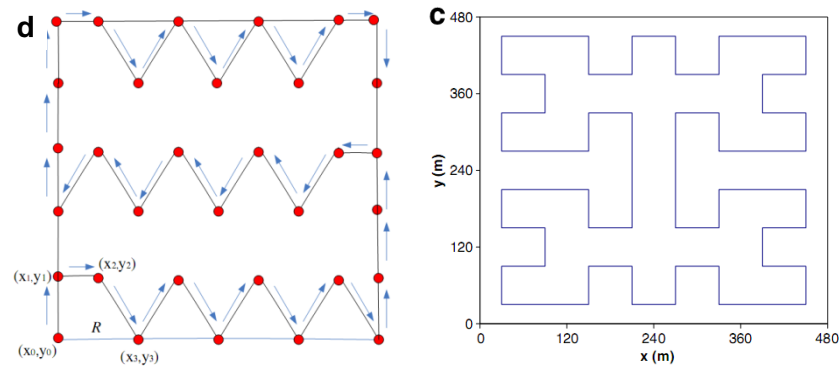


Figure 3.3 : trajectoire tester dans notre algorithme (a) Scan, (b) DoubleScan, (c) Hilbert, (d) Triangulaire.

## 1.2 Les paquets et les points de diffusion :

Après le choix de la trajectoire, il faut définir les positions (ou du temps) à partir desquelles les paquets seront envoyés ainsi que leur contenu. Le nœud mobile traverse la zone de déploiement suivant une courbe statique au choix et à chaque fois il arrive à la position bien défini selon la trajectoire choisi, il diffuse une information contenant la valeur de leur position actuel. Après à leur tour, les nœuds recevant ces informations exécutent l'algorithme de localisation qui sera détaillé dans la section suivante.

## 2. Algorithme de localisation :

Nous avons opté à utiliser un algorithme de localisation distribue dont chaque nœud de réseau calcule sa propre position. De plus, nous avons choisi la technologie RSSI vue en chapitre 1 pour estimer la distance entre les nœuds à cause de sa large utilisation dans le domaine de localisation dans le RCSF ainsi que sa simplicité et son coût faible puisqu'elle ne nécessite pas l'utilisation d'un matériel supplémentaire. D'ailleurs, la puissance du signal émis subit une dégradation en fonction de la distance. C'est-à-dire, plus la distance entre l'ancre et les capteurs est grande, plus la perte du signal est augmentée, plus la puissance de signal est faible. En bref, cet algorithme est simple et compose de trois phases:

- **Phase 1:** Le nœud ancre se déplace dans le réseau selon une trajectoire statique définie à l'avance (soit Hilbert, Scan, DoubleScan ou Triangulaire). Dans des points bien définis dits points de diffusion, ce nœud diffuse des paquets qui contiennent sa position.
- **Phase 2:** Le nœud inconnu qui reçoit un paquet enregistre la position du nœud ancre et la puissance du signal. En utilisant la valeur de la puissance du signal,

le nœud calcule la distance estimée entre sa position et la position du nœud ancre mobile. Chaque nœud maintient une liste appelée ListePositionAncre dans laquelle on trouve les positions du nœud ancre et la distance estimée par RSSI du message reçu ; il faut avoir au moins trois paquet non-colinéaire (de bonne qualité) pour calculer la position du nœud.

- **Phase3:** une fois le nœud inconnu a reçu les trois paquets, il calcule sa position en utilisant la méthode de trilatération.

**Trilatération :** Un exemple de la trilatération est représenté sur la figure 3.4. On suppose que le nœud inconnu  $D(x, y)$  reçoit trois paquets de l'ancre mobile, à savoir,  $A(x_a, y_a)$ ,  $B(x_b, y_b)$  et  $C(x_c, y_c)$ . Distances entre A, B, C, et D sont  $d_a, d_b$ , et  $d_c$  respectivement. Etant donné que le nœud inconnu se situe dans le triangle qui se compose de A, B et C, le nœud inconnu D va calculer sa position à l'aide de [1] :

$$\begin{aligned} (x - x_a)^2 + (y - y_a)^2 &= d_a^2 \\ (x - x_b)^2 + (y - y_b)^2 &= d_b^2 \\ (x - x_c)^2 + (y - y_c)^2 &= d_c^2 \end{aligned} \quad (1)$$

Par conséquent,

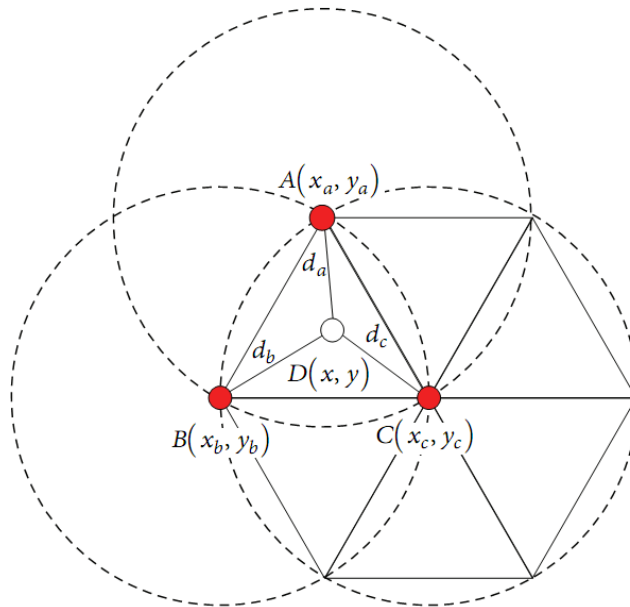
$$D(x, y)^T = \frac{1}{2} A^{-1} B \quad (2)$$

Où

$$A = \begin{pmatrix} x_a - x_c & y_a - y_c \\ x_b - x_c & y_b - y_c \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$B = \begin{pmatrix} x_a^2 - x_c^2 + y_a^2 - y_c^2 + d_c^2 - d_a^2 \\ x_b^2 - x_c^2 + y_b^2 - y_c^2 + d_c^2 - d_b^2 \end{pmatrix} \quad (4)$$





**Figure 3.4 :** Un exemple de trilatération.[1]

### 3. Les performances de l'algorithme de localisation :

Les performances de l'algorithme de localisation sont influencées par les facteurs suivants :

(a) Portée de communication: Un plus grand rayon de communication de l'ancre mobile couvre plusieurs nœuds inconnus. Ainsi, les nœuds inconnus ont plus de choix des paquets pour calculer leurs coordonnées.

(b) Mouvement trajectoire: Une trajectoire bien planifier peut éliminer le problème de colinéarité.

(c) intervalle de diffusion : Un intervalle de diffusion plus courte signifie que l'ancre mobile diffusera son emplacement plus fréquemment, ce qui peut amener une meilleure performance de localisation.

(d) la longueur du chemin : une longueur de trajet plus long signifie que l'ancre mobile a plus de possibilités de diffuser son emplacement et passer par plus des nœuds inconnus; Toutefois, il consomme plus d'énergie.

Nous avons testé dans le chapitre suivant ces facteurs de performances avec plusieurs trajectoires par une simulation Multithread.

**CHAPITRE 4**

**CONCEPTION ET REALISATION D'UN**

**SIMULATEUR MULTITHREAD**

Le but de simulation informatique est de limiter le risque et d'éviter le coût d'une série d'épreuves réelles. Elles peuvent offrir un aperçu sur le développement d'un système trop complexe pour simuler avec de simples formules mathématiques.

Le choix de outils de simulation se diffère tout dépend de au phénomène à simuler. Dans notre cas le problème est de simuler un algorithme de localisation distribué dans les réseaux de capteurs sans fil à l'aide d'une ancre mobile où chaque nœud calcul sa propre position d'une façon autonome c.-à-d il existe dans un moment donné plusieurs nœuds exécutent le processus de calcul de la position en parallèle, ce calcul est basé sur la trilatération (une solution géométrique). C'est pour cela on a choisi de réaliser un simulateur multithread avec le langage de programmation JAVA .dans ce chapitre nous avons fait une conception de simulateur, la réalisation et analyser les résultats.

## **1. Conception de simulateur multithread :**

Pour simuler l'algorithme étudié dans le chapitre précédent nous avons passé aux étapes suivantes : La compréhension du système, l'identification des objets, la définition du traitement à faire, le développement du simulateur, le choix des paramètres, et enfin simulation et résultats.

### **1.1 Identification des objets et les traitements :**

Notre réseau de capteurs sans fil est constitué de deux type de nœud, les nœuds statiques inconnus et nœud ancre mobile, dont chaque type de nœud à son rôle afin d'accomplir la phase de localisation.

Pour réaliser le traitement parallèle de l'information diffusé par l'ancre (paquet contient sa position) on propose de présenter chaque nœud inconnu par un thread et l'ancre mobile aussi par un thread, afin de lancer le processus à exécuter pour chaque nœud en parallèle suivant a un événement au moment donné. Cette conception proche de la réalité et donne des résultats rapides.

Comme nous avons vue dans le chapitre précédent l'algorithme de localisation est décomposé en trois phases : phase 1 exécuté par l'ancre mobile, phase 2 et phase 3 exécuté par le nœud statique inconnu.

## 1.2 La classe Thread ancre :

Le rôle de l'ancre mobile dans la phase 1 est de parcourir une trajectoire, lorsqu'il arrive à un point bien défini dans cette trajectoire il diffuse un paquet contient sa position. Pour réaliser cette objective le thread ancre a comme attributs :

*Rayon* : qui défini le rayon de communication (la porté de signal).

*Vitesse* : détermine la vitesse de mobilité d'ancre.

*Position* : contient les valeurs x et y qui défini la position de l'ancre.

*Parcours* : qui détermine le nouvel saut.

Les fonctions de Thread ancre sont :

*Les fonctions de trajectoire* : dans chaque fonction on présente une trajectoire (Scan, DoubleScan, Hilbert, et Triangulaire).

*La fonction de Pointdiffusion* : cette fonction est exécuté a chaque point de diffusion, on diffusant un paquet (contient la position de l'ancre) aux tout les nœuds qui appartient a la porté de l'ancre.

*Les fonctions graphiques* : toutes les fonctions concernant le graphique (dessin d'ancre...etc.)

## 1.3 La classe Thread nœud :

Dans la phase 2 : chaque Thread nœud appartient à la porté de rayon de communication de l'ancre reçoit un paquet contient des informations concernant la position de l'ancre avec une puissance de signal. Nous avons estimé la distance entre le nœud et l'ancre avec un taux d'erreur. Pour réaliser cette objective le thread nœud a comme attributs :

*NumThread* : contient le numéro de Thread.

*ListePostionAncre* : déterminer par un ensemble d'enregistrements à deux champs que chacun contient la position de nœud et l'estimation de la distance.

Les fonctions de Thread nœud sont :

*La fonction AcceptPaquet* : dans cette fonction le Thread accepte le paquet et l'inséré au liste ListePositionAncre ; si la liste ne contient pas déjà trois paquets acceptés et le paquet contient une position non colinéaire ou la liste contient déjà trois paquets acceptés mais la distance est moins que l'une des distances déjà enregistrées, sinon il l'ignoré.

```

Si position-non-coliniéaire alors
    Estimer la distance ;
    Si ListePositionAncre.size < 3 alors
        Ajouter le paquet a la liste ;
    Sinon Si distance estimée < distances déjà enregistrées
        Remplacer le paquet qui a la distance la plus grande par le nouveau paquet ;
    Sinon ignorer le paquet ;
Sinon ignorer le paquet ;
    
```

*La fonction CalculPosition* : calculer la position de nœud on utilisant les trois valeurs enregistré dans ListePositionAncre par l'application de la méthode trilatération.

*Les fonctions graphiques* : toutes les fonctions concernant le graphique (dessin des nœuds...etc.)

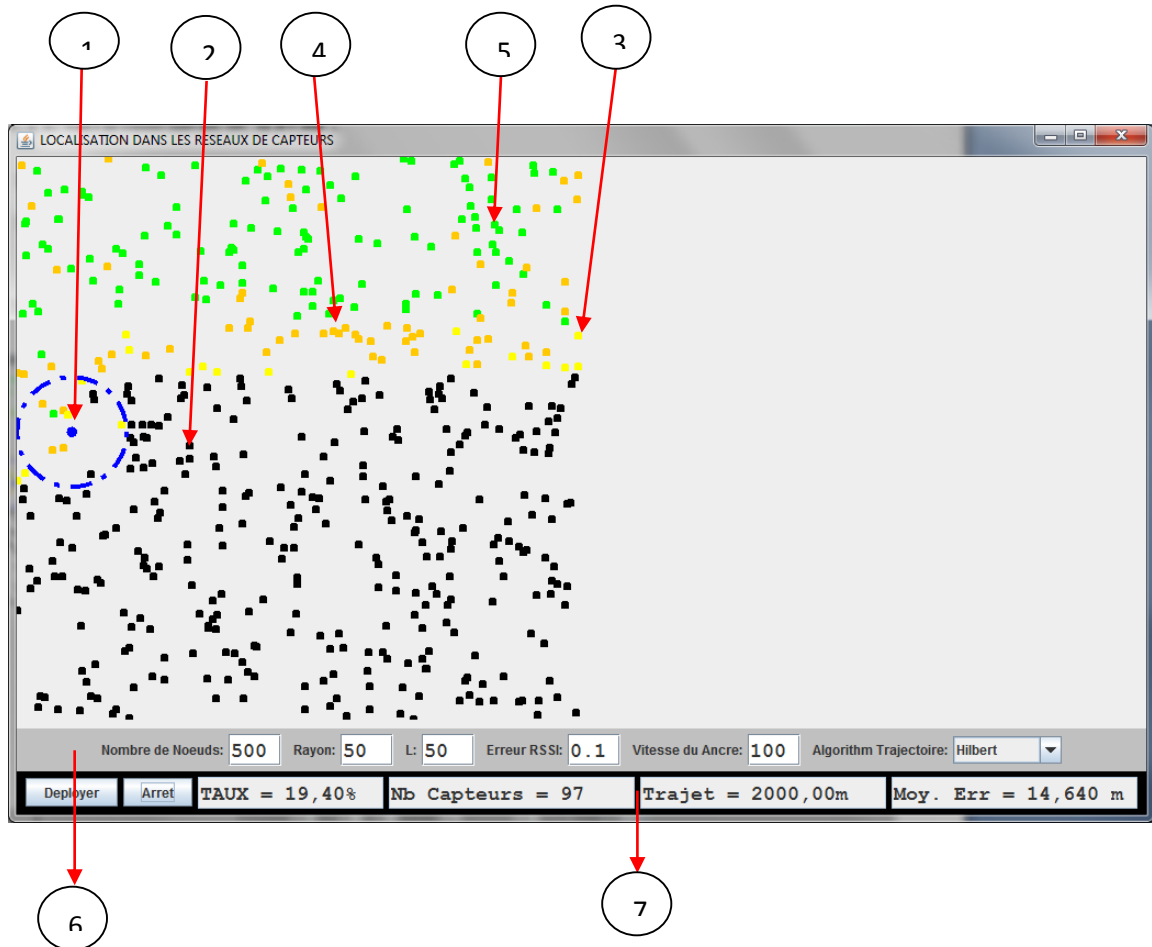
Pour la collection des informations et faire des statiques nous utilisons une troisième Thread dite *Thread d'informations*, le rôle de ce Thread et de surveiller les processus qu'ils s'exécutent et enregistré les données intéressantes.

Dans notre simulateur les phase 1, phase2 et phase3 de l'algorithme s'exécutent en parallèle et en même temps, c'est pour cela notre réseau est représenté par un ensemble de Threads.

## 2. Simulation et Résultats :

Le but de cette simulation est de présenter une méthode robuste pour estimer l'emplacement des capteurs inconnus. Nous allons évaluer cette méthode en utilisant les quatre trajectoires (Hilbert, Scan, DoubleScan et Triangulaire) par rapport aux plusieurs métriques : la précision de localisation, la couverture réseau, la consommation énergétique (nombre de messages reçus) et le passage a l'échelle etc.

## 2.1 Interface de simulateur : illustré dans la Figure 4.1



(1) : Ancre mobile.

(2) : nœud inconnu (pas de paquet accepté).

(3) : nœud avec un paquet accepté (couleur jaune).

(4) : nœud avec deux paquets acceptés (couleur orange).

(5) : nœud localisé avec trois paquets acceptés (couleur vert).

(6) Panneau pour le réglage des paramètres de simulation (nombre de nœuds ; rayon de communication ; erreur d'estimation de la distance (RSSI) ; vitesse de L'ancre ; choix de trajectoire ; la longueur de L).

(7) Panneau d'affichage de résultats et des statistiques (taux de localisation ; nombre des capteurs localisés ; la longueur du trajet parcouru par l'ancre ; erreur moyenne de localisation).

**Figure 4.1 : Interface simulateur**

## 2.2 Paramètres de simulation :

| Paramètres                   | Valeurs   |
|------------------------------|---|
| Taille de réseau             | 512m*512m   |
| Nombres de nœuds             | Paramétrable par le simulateur (10 jusqu'à 500)           |
| Rayon de communication R     | Paramétrable par le simulateur (20m – 30m- 50m- 60m-100m) |
| Erreur d'estimation distance | Paramétrable par le simulateur (0.08, 0.05, 0.1)          |

|  |  |
|--|--|
| Vitesse d'ancre  | Paramétrable par le simulateur                                       |
| Trajectoires   | Paramétrable par le simulateur (Hilbert, Scan, DoubleScan, Triangle) |
| L : la résolution de la trajectoire (la distance entre deux points de diffusion) | Paramétrable par le simulateur                                       |
| Type des nœuds   | nœud ancre, nœuds inconnu  |

**Tableau 4.1:** Paramètres de simulation.

## 2.3 Les Résultats :

### 2.3.1 La couverture réseau :

La couverture réseau par le nœud ancre mobile diffère d'une trajectoire à une autre. Ainsi, la couverture réseau est déterminée en fonction du nombre de nœuds localisés par rapport au nombre global des nœuds. Cet indicateur indique également le degré de la couverture pour la trajectoire, est défini par [1] :

$$C_R = \frac{N_L}{N_0} \quad (5)$$

Où  $N_L$  : nombre des nœuds localisés,  $N_0$  : nombre de nœuds inconnus.

Alors, la courbe présentée dans la figure 4.2(a) (avec  $L=20m$ ) prouve que les trajectoires Hilbert et Scan couvrent tous du réseau à la portée 30m ; Cependant, la trajectoire Triangulaire ne peut détecter tous du réseau qu'à la portée 40m. Enfin la trajectoire DoubleScan couvre tous du réseau à la portée 20m.

Si on fait une analyse sur les résultats obtenus par les trois courbes illustrées dans la figure 4.2 (a),(b) et (c) on trouve que les trois trajectoires (Hilbert, Scan, et Triangulaire) couvrent tous le réseau avec un rayon de communication supérieur de celui pour la trajectoire DoubleScan.

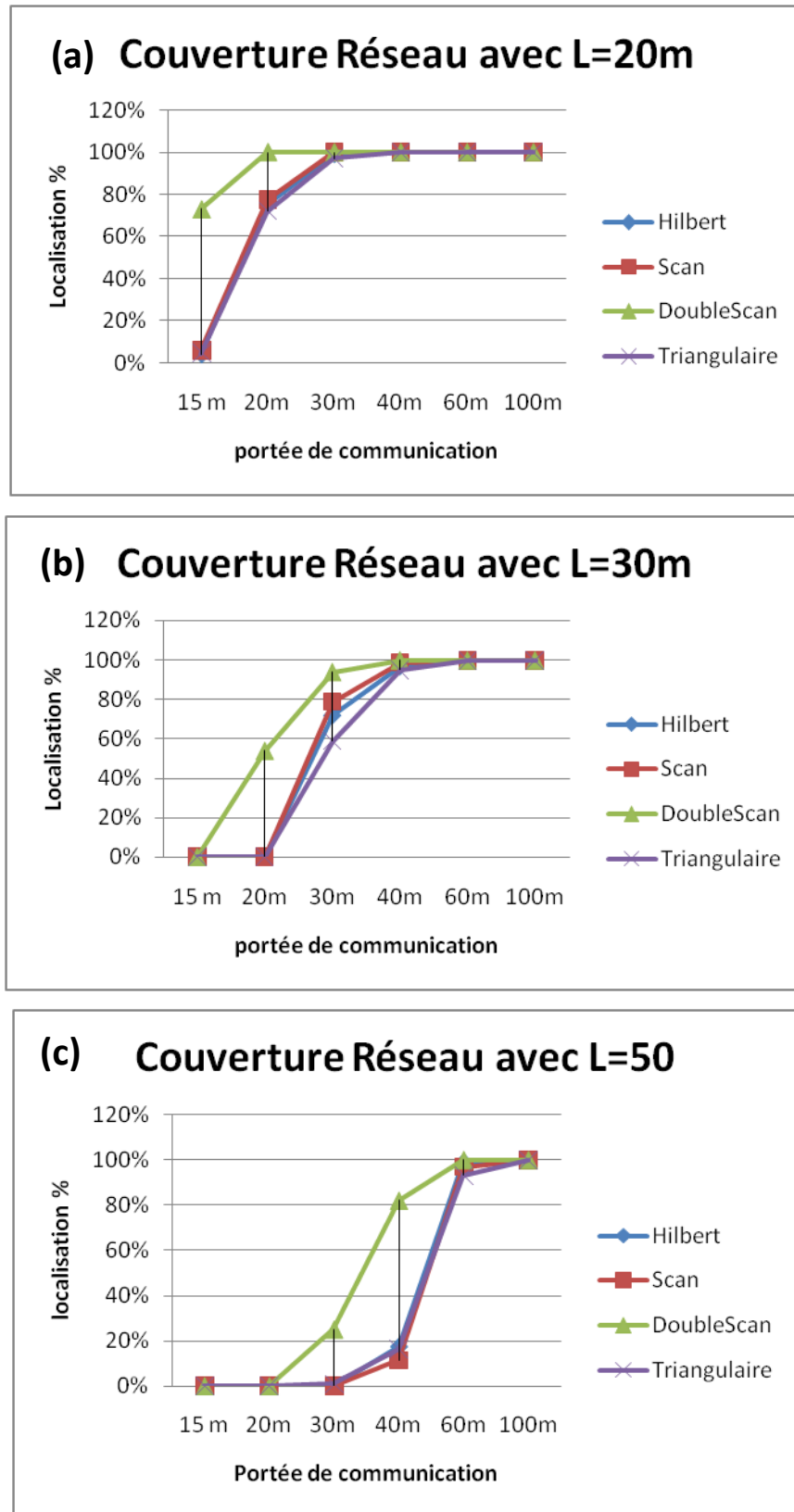
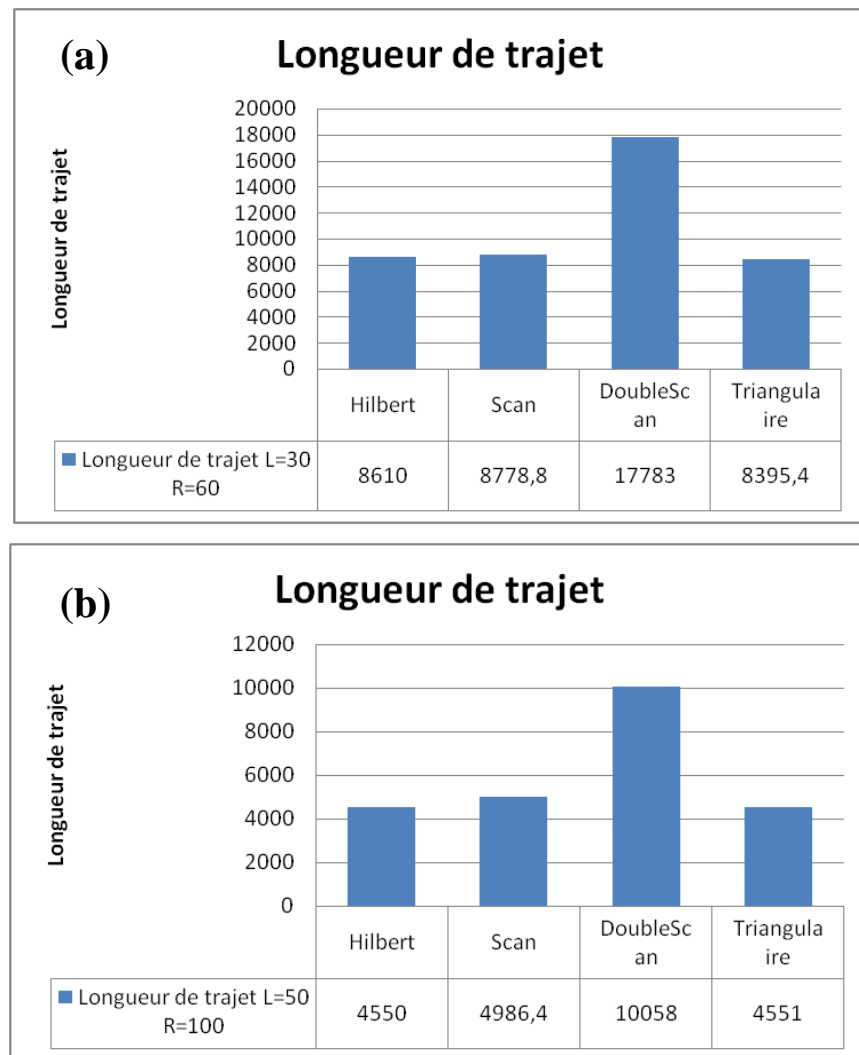


Figure 4.2 : La couverture réseau des quatre trajectoires.

### 2.3.2 Longueur du trajet:



Pour économiser la consommation d'énergie et de temps pour la localisation, la longueur du trajet du nœud d'ancrage mobile doit être aussi courte que possible. la longueur de trajet dépend du porté de communication d'ancrage qui a une relation direct avec la distance entre les points de diffusion (pour une couverture maximale), les résultats présenté par Figure4.3 montre que si L augmente , le trajet diminue soit si  $L=30m$  ( figure 4.3(a)) et si  $L= 50m$  (figure4.3(b)) pour les quatre trajectoires ; Cependant , le trajectoire DoubleScan a le plus grand trajet.



**Figure 4.3 : la longueur de trajet**

### 2.3.3 La précision de localisation :

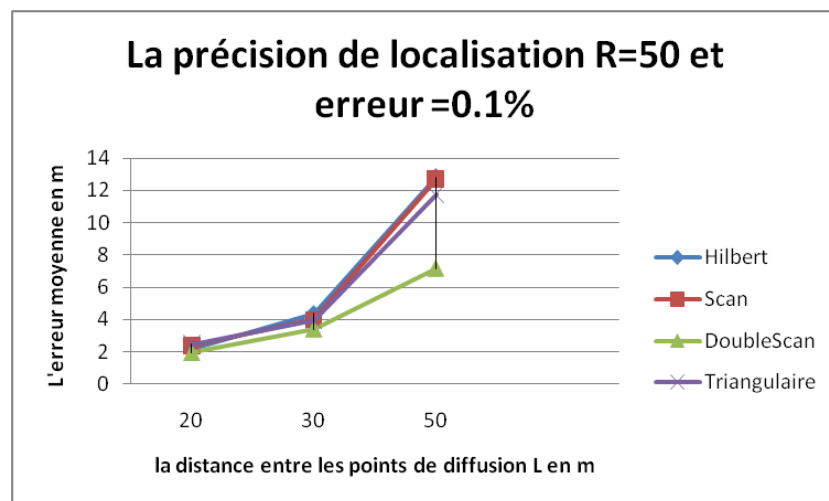
Pour évaluer un algorithme de localisation, le critère de précision de localisation est considéré comme un critère très important. Pour ce faire, nous avons utilisé une métrique pour déterminer la précision de localisation. Cette métrique est l'erreur moyenne. Elle est définie comme étant la distance euclidienne entre les coordonnées réelles du nœud et celles estimées par les algorithmes de localisation. On peut calculer l'erreur de la localisation moyenne par [15]:

$$E = \frac{\sum \sqrt{(x_e^{(i)} - x^{(i)})^2 + (y_e^{(i)} - y^{(i)})^2}}{\sum \text{noeuds} - \text{inconnus}} \quad (6)$$

Où  $(x_e^{(i)}, y_e^{(i)})$  la position estimée de nœud  $i$  ; et  $(x^{(i)}, y^{(i)})$  la position réelle de nœud  $i$ .

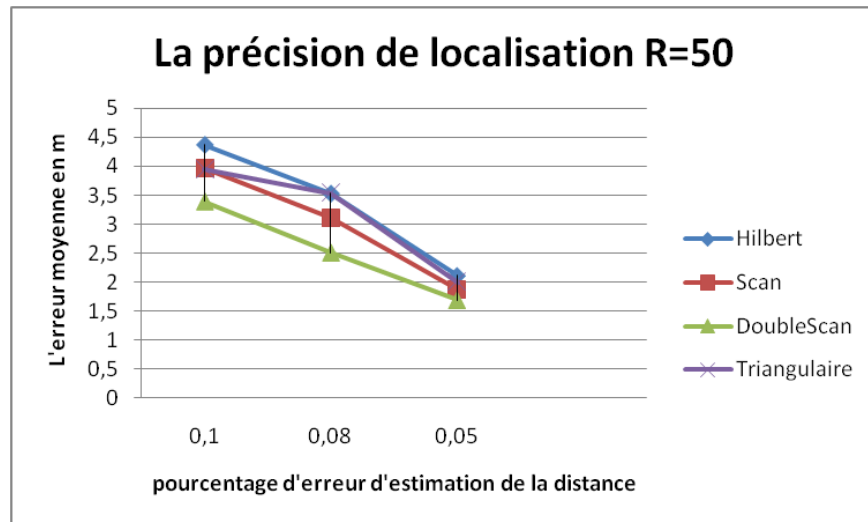
Nous avons examiné la précision de localisation par deux critères :

- L'erreur moyenne  $E$  en fonction de la distance entre les points de diffusion  $L$  : Dans la courbe de la Figure 4.4 nous remarquons que chaque fois quand nous augmentons  $L$ , l'erreur moyenne de l'algorithme augmente pour les quatre trajectoires. L'erreur moyenne est due à l'erreur de l'estimation de distance (RSSI avec Erreur=0.1%), et au nombre de paquets reçus ; il n'y a pas de relation avec la portée de communication puisque dans notre algorithme on utilise les distances minimales obtenues pour chaque nœud pour calculer la position. La trajectoire DoubleScan a des calculs plus précis par rapport aux autres trajectoires.



**Figure 4.4 :** la précision de localisation en fonction de  $L$

- L'erreur moyenne en fonction d'erreur d'estimation de la distance : Dans la courbe de la Figure 4.5 nous remarquons que chaque fois quand nous diminuons l'erreur d'estimation de la distance issue de l'utilisation de RSSI, l'erreur moyenne de l'algorithme diminue pour les quatre trajectoires.



**Figure 4.5 :** la précision de localisation en fonction d'erreur d'estimation de la distance

### 2.3.4 Le coût de communication :

Vu les ressources limitées de réseau de capteurs, la consommation énergétique reste un paramètre très important lors de la conception d'un algorithme de localisation. Elle dépend de coût de communication. Cette dernière est calculée en fonction du nombre de message reçus par les nœuds. La courbe présentée dans la Figure 4.6, montre que le nombre de messages reçus par les nœuds inconnus varie d'une trajectoire à une autre et augmente en augmentant la portée de communication.

D'après les simulations et le calcul effectuée, nous avons trouvé que la trajectoire DoubleScan a le plus grand nombre de messages et par la suite elle consomme plus d'énergie.

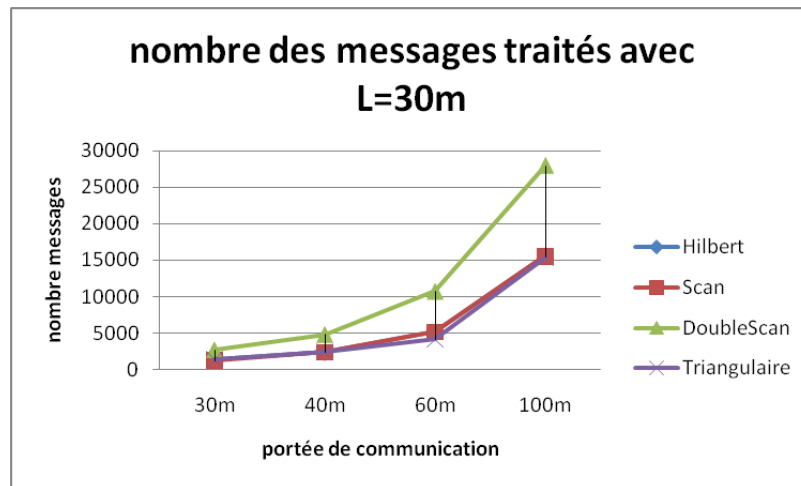


Figure 4.6 : Le coût de communication par rapport au nombre de message reçus

### 2.3.5 Passage à l'échelle :

La scalabilité d'un tel algorithme est un critère très important parce que les RCSF sont généralement composés d'un grand nombre de capteurs. Pour ce faire, nous avons testé la scalabilité de notre algorithme en utilisant les trajectoires (Hilbert, Scan, DoubleScan, et Triangulaire) à la portée  $R=60m$  et  $L=30m$  et avec 20, 100, 200, 500 nœuds de capteurs illustré dans la figure 4.7. Dans notre algorithme, chaque nœud calcule lui-même sa position en utilisant seulement des informations locales. C'est-à-dire il n'utilise pas les informations provenant des capteurs voisins. C'est pourquoi, les résultats prouvent que l'augmentation des nœuds du réseau n'affecte pas l'erreur moyenne de localisation.

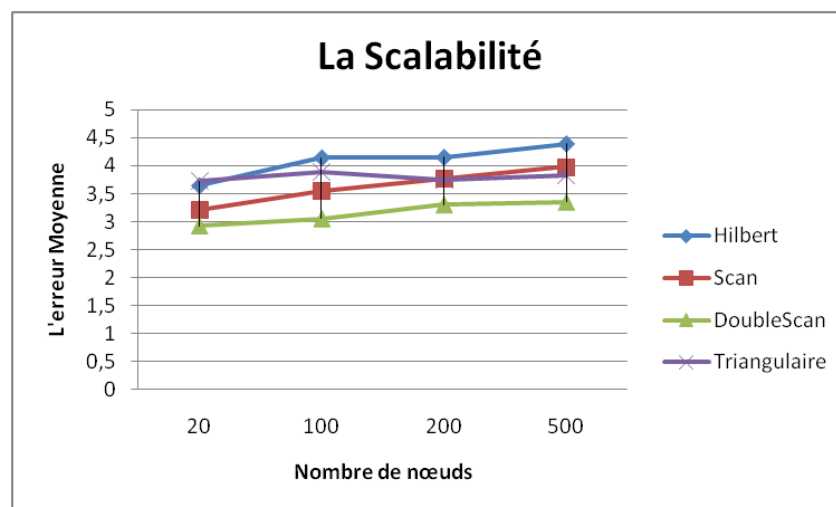


Figure 4.7 : La variation de l'erreur moyenne par rapport au nombre de nœuds.

Nous avons effectuée plusieurs simulations en variant la trajectoire et la portée de communication. Les résultats de ces simulations ont montré que l'erreur de localisation diffère d'une trajectoire à une autre. De plus avec la même trajectoire, l'erreur moyenne diffère d'une portée de communication à une autre et d'une distance entre point de diffusion à une autre. Les résultats de simulation ont prouvé l'importance du choix de la trajectoire. Cette dernière est un facteur essentiel pour la couverture réseau et pour la précision de localisation, mais elle est très affectée par l'environnement de déploiement réseau.

## CONCLUSION GENERALE

Le domaine de réseaux de capteurs soulève d'importantes problématiques de recherche en termes d'organisation, de communication, de gestion, d'exploitation des données récoltées, etc.

La réduction de la consommation énergétique, ou du moins sa rationalisation est le facteur commun, préoccupation principale dans pratiquement la majorité des travaux sur les réseaux de capteurs. L'algorithme que nous avons implémenté dans ce mémoire optimise la consommation d'énergie des nœuds, du fait que durant toute la phase de localisation les nœuds ne communiquent jamais, sachant que les communications sont de loin les plus coûteuses en énergie. Cette approche de localisation est basée sur une ancre mobile qui traverse la région d'intérêt suivant un chemin défini en diffusant des informations pour aider les nœuds à se localiser par l'application des deux techniques RSSI et Trilatération. Nous avons évalué par une série de simulations les performances de quatre types de trajectoires selon plusieurs métriques en utilisant un simulateur multithread que nous avons implantés. Les résultats expérimentaux peuvent nous aider à choisir la bonne trajectoire selon nos besoins.

Les futures recherches dans le domaine de la localisation basé sur une ancre mobile éventuellement sont les suivantes :

- (1) Dans les applications réelles, des algorithmes de localisation basé sur une ancre mobile résistant aux obstacles sont nécessaires, donc les trajectoires d'ancre mobile doivent être conçues de manière dynamique ou partiellement selon les situations d'environnement ou de déploiement des observateurs afin de tirer des l'information en temps réel au cours de la localisation.
- (2) L'algorithme de localisation assisté par une ancre mobile unique prend beaucoup de temps pour localiser tout les nœuds inconnus, en particulier pour un RCSF à grande échelle. Ainsi, l'algorithme de localisation collaborative qui utilise plusieurs ancres mobiles devrait être spécifiquement conçu pour réduire le temps de localisation et d'améliorer la précision de la localisation.

## Bibliographies:

- [1] Han, Guangjie, Chenyu Zhang, Jaime Lloret, Lei Shu, and Joel JPC Rodrigues. "A mobile anchor assisted localization algorithm based on regular hexagon in wireless sensor networks." *The Scientific World Journal* 2014 (2014).
- [2] Abdallah, M. A. K. H. O. U. L., J. Bahi, and A. Mostefaoui. "Réseaux de capteurs: localisation, couverture et fusion de données." PhD diss., Thèse de Doctorat, Université de Franche-Comté, 2008.
- [3] TRIPATHI, RAJIV KUMAR. "Base station positioning, nodes' localization and clustering algorithms for wireless sensor networks." PhD diss., INDIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY KANPUR, 2012.
- [4] IMANE, Niar Leila. "Analyse graphique pour la surveillance dans un RCSF." PhD diss., Université Mohamed Boudiaf des sciences et de la technologie d'Oran.
- [5] MAAROUF, Samia, and Souhila OUADAH. "Implémentation et évaluation des schémas de routage sur une plateforme réelle de réseaux de capteurs sans fil." PhD diss., 2014.
- [6] Rachid, B. E. C. H. A. R. "Surveillance distribuée d'un réseau de capteurs sans fil à base d'agents." PhD diss., Université Ahmed Ben Bella d'Oran1 Es Senia.
- [7] Ji, Xiang. "Localization algorithms for wireless sensor network systems." PhD diss., The Pennsylvania State University, 2004.
- [8] Dalce, Rejane. "Méthodes de localisation par le signal de communication dans les réseaux de capteurs sans fil en intérieur." PhD diss., Toulouse, INSA, 2013.
- [9] Chafik, Abdellatif. "Architecture de réseau de capteurs pour la surveillance de grands systèmes physiques à mobilité cyclique." PhD diss., Université de Lorraine, 2014.
- [10] Niewiadomska-Szynkiewicz, Ewa. "Localization in wireless sensor networks: Classification and evaluation of techniques." *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science* 22, no. 2 (2012): 281-297.
- [11] Nazir, U., M. A. Arshad, N. Shahid, and S. Hussain Raza. "Classification of localization algorithms for wireless sensor network: A survey." In *Open source systems and technologies (ICOSST), 2012 international conference on*, pp. 1-5. IEEE, 2012.
- [12] Han, Guangjie, Huihui Xu, Trung Q. Duong, Jinfang Jiang, and Takahiro Hara. "Localization algorithms of wireless sensor networks: a survey." *Telecommunication Systems* 52, no. 4 (2013): 2419-2436.
- [13] Han, Guangjie, Huihui Xu, Jinfang Jiang, Lei Shu, Takahiro Hara, and Shojiro Nishio. "Path planning using a mobile anchor node based on trilateration in wireless sensor networks." *Wireless Communications and Mobile Computing* 13, no. 14 (2013): 1324-1336.
- [14] Manel, Majdoub, and Eltaief Hamdi. "A localization algorithm using a mobile beacon in wireless sensor networks." In *Computer & Information Technology (GSCIT), 2014 Global Summit on*, pp. 1-5. IEEE, 2014.
- [15] Mazinani, Sayyed Majid, and Fatemeh Farnia. "Localization in Wireless Sensor Network Using a Mobile Anchor in Obstacle Environment." *International Journal of Computer and Communication Engineering* 2, no. 4 (2013): 438.
- [16] Koutsonikolas, Dimitrios, Saumitra M. Das, and Y. Charlie Hu. "Path planning of mobile landmarks for localization in wireless sensor networks." *Computer Communications* 30, no. 13 (2007): 2577-2592.

- [17] Hill, Jason Lester. "System architecture for wireless sensor networks." PhD diss., University of California, Berkeley, 2003.
- [18] Costa, Jose A., Neal Patwari, and Alfred O. Hero III. "Distributed weighted-multidimensional scaling for node localization in sensor networks." *ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN)* 2, no. 1 (2006): 39-64.
- [19] He, Tian, Chengdu Huang, Brian M. Blum, John A. Stankovic, and Tarek Abdelzaher. "Range-free localization schemes for large scale sensor networks." In *Proceedings of the 9th annual international conference on Mobile computing and networking*, pp. 81-95. ACM, 2003.
- [20] Priyantha, Nissanka B., Hari Balakrishnan, Erik D. Demaine, and Seth Teller. "Mobile-assisted localization in wireless sensor networks." In *INFOCOM 2005. 24th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings IEEE*, vol. 1, pp. 172-183. IEEE, 2005.
- [21] Zhang, Liqiang, Xiaobo Zhou, and Qiang Cheng. "Landscape-3D; a robust localization scheme for sensor networks over complex 3D terrains." In *Local Computer Networks, Proceedings 2006 31st IEEE Conference on*, pp. 239-246. IEEE, 2006.
- [20] Doudoux, Jean Michel. "Developpons en JAVA." *Tiré de* (1999).
- [21] DOUDOUX, Jean Michel. "Développons en Java avec Eclipse." *Version 0.80* 1.15 (2008): 12.
- [22] Fain, Yakov. *Java programming 24-hour trainer*. John Wiley & Sons, 2011.

**Résumé :**



La localisation est l'un des problèmes importants dans les réseaux de capteurs sans fil, qui sert à trouver les positions des nœuds suite à un déploiement aléatoire. Elle est nécessaire non seulement pour pouvoir localiser les événements mais aussi elle fournit un soutien fondamental pour de nombreux protocoles et applications de géo-localisation. L'utilisation du GPS est une solution matérielle qui offre une bonne précision, mais les contraintes de coût et de consommation d'énergie rendent impossible d'équiper chaque nœud capteur dans le réseau avec un système de positionnement global (GPS), en particulier pour les réseaux de capteurs à grande échelle. Une méthode prometteuse pour localiser les nœuds inconnus est d'utiliser une ancre mobile équipé d'unités GPS se déplaçant dans la zone d'intérêt et diffusant périodiquement son emplacement actuel afin d'aider les nœuds inconnus à s'auto localiser. Dans ce mémoire, nous étudions une méthode de localisation basée sur une ancre mobile avec la Trilatération. Nous examinons différentes trajectoires de l'ancre proposés dans la littérature tels que: Hilbert, Scan, DoubleScan et Triangulaire. Afin d'analyser cet algorithme selon plusieurs critères de performances, comme le taux de couverture, l'erreur, le cout, longueur de trajet, passage à l'échelle, nous avons réalisés un simulateur multithread en Java.

**Mots-clés :** réseaux de capteurs sans fil, localisation, ancre mobile, trajectoire.

## Abstract:

The location is one of the important issues in wireless sensor networks, which is used to find the positions of nodes following a random deployment. It is necessary not only to be able to locate events but also it provides a fundamental support for many protocols and geo-location applications. The use of GPS is a hardware solution that offers good accuracy; however, the constraints of cost and power consumption make it impossible to provide each sensor node in the network with a global positioning system (GPS), particularly for large-scale sensor networks. A promising method to locate the unknown nodes is to use a mobile anchor equipped with GPS units moving in the area of interest and periodically broadcasting its current location to help unknown nodes to self-locate. In this work, we study a localization method based on a mobile anchor with Trilateration. We examine different trajectories anchor proposed in the literature such as Hilbert, Scan, DoubleScan and Triangular. To analyze this algorithm with many performance criteria, such as coverage, error, cost, path length, scaling, we have realized a multithreaded simulator in Java.

**Keywords:** wireless sensor networks, localization, mobile anchor, trajectory.

## المخلص

إن تحديد الموقع هو أحد أهم الإشكاليات في شبكات الاستشعار اللاسلكية، يهدف لتعيين مواقع أجهزة الاستشعار بعد نشرها عشوائيا في أماكن المراقبة. معرفة المواقع ضروري ليس لتحديد موقع الأحداث فقط ولكن أيضا لأنه يوفر الدعم الأساسي للعديد من البروتوكولات وتطبيقات المتعلقة بالموقع الجغرافي. إن القيود المتعلقة بالتكلفة واستهلاك الطاقة تجعل من الصعب جدا توفير كل جهاز استشعار في الشبكة على نظام تحديد المواقع العالمي GPS وخاصة شبكات الاستشعار واسعة النطاق. هناك طريقة واحدة لتحديد موقع أجهزة الاستشعار وهي استخدام مرسة متنقلة مجهزة بوحدة GPS تتحرك في مجال الاهتمام وتبث دوريا موقعها الحالي وذلك لمساعدة الأجهزة مجهولة الموقع على تحديده. في هذه المذكرة، نقوم بدراسة وتحليل تأثير استخدام خوارزمية المرساة المتنقلة عبر مسارات مختلفة (هيلبرت، المسح الضوئي، المثلث) مع العديد من معايير الأداء، مثل التغطية، والخطأ، والتكلفة، وطول المسار، وتوسعة النطاق، عن طريق تطوير برنامج محاكاة متعدد المسالك باستعمال لغة البرمجة جافا. **كلمات البحث:** شبكات الاستشعار اللاسلكية، تحديد المواقع، المرساة المتنقلة، المسار.