

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique
Université Akli Mohand Oulhadj - Bouira -
Tasdawit Akli Muḥend Ulḥağ - Tubirett -



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة أكلي محمد أولحاج
- البويرة -

Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées

كلية العلوم والعلوم التطبيقية

Référence :/MM/ 2023

المرجع :/م/ 2023

Mémoire de Master

Présenté au

Département : Génie Électrique

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Electronique

Spécialité : Electronique des systèmes embarqués

Réalisé par :

Ouarab Hossem

Et

Bouamrirene Imad

Thème

**L'optimisation de la localisation des réseaux de capteurs sans
fils**

Soutenu le : **21/09/2023**

Devant le Jury composé de :

| | | | | |
|-----|-------------------------|------|--------------|------------|
| Mr: | Boucenna Mohamed Lamine | MCA. | Univ. Bouira | Président |
| Mr: | Medjedoub Smail | MAA | Univ. Bouira | Rapporteur |
| Mr: | Saoud Bilal | MCA | Univ. Bouira | Examineur |

Année Universitaire : 2022-2023

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à Mes chers parents bien-aimés, qui ont fait tant de sacrifices, m'ont soutenu et prié tout au long de mes années d'études

À mes chères sœurs et à mes chers frères, qui ont partagé avec moi chaque moment émotionnel lors de la réalisation de ce travail. Leur soutien chaleureux et leurs encouragements tout au long de mon parcours.

À toutes ma famille.

À mes meilleurs amis.

À tous ceux qui ont participé et aidé à la réalisation de ce travail

À mon binôme, ainsi toute la promotion d'électronique des systèmes embarqués de l'année 2022/2023.

Imad

Dédicace

C'est avec une grande fierté et une vive émotion que je dédie cet humble travail à mes chers parents, qui ont toujours cru en moi et m'ont soutenu inconditionnellement au fil des années. Les mots ne suffiront jamais pour exprimer ma reconnaissance envers tout ce qu'ils m'ont donné. Je leur adresse ma gratitude la plus profonde et tout mon amour.

À mes chères sœurs et chers frères a que Dieu les garde et les protège.

À mes amis, avec qui j'ai vécu des moments inoubliables et créé des souvenirs qui resteront à jamais gravés dans ma mémoire et qui m'ont été d'un appui considérable.

À mon binôme, ainsi toute la promotion d'électronique des systèmes embarqués de l'année 2022/2023.

Hossem

Remerciements

Nous remercions en premier lieu ALLAH le tout puissant de nous avoir donné la foi et de nous avoir permis d'en arriver là.

Nous tenons à exprimer toute notre gratitude et notre reconnaissance à Monsieur **Medjedoub Smail** et Madame **Rouam Rania** pour son accompagnement et son soutien tout au long de cette période. Son expertise, ses conseils précieux, son écoute attentive et ses encouragements nous ont permis de progresser et de surmonter les difficultés que nous avons rencontrées.

Nous adressons nos plus vifs remerciements envers les membres du jury qui ont eu la gentillesse d'examiner attentivement notre travail.

Nous tenons à remercier l'ensemble des enseignants du département de génie électrique qui ont contribué à notre formation.

En conclusion, nous souhaitons exprimer nos remerciements les plus sincères à nos familles pour leur soutien inconditionnel et leurs encouragements constants tout au long de notre parcours d'étude.

Résumé

Dans ce mémoire de master, nous avons examiné en profondeur les défis liés à l'amélioration de la précision de la localisation dans les réseaux de capteurs sans fil. Notre principale contribution a porté sur l'introduction d'une proposition de localisation DV-Hop amélioré pour les nœuds capteurs, qui intègre la puissance de l'Optimisation par Essaim Particulaire (PSO). Par la suite, nous avons effectué une évaluation rigoureuse des performances en comparant ce nouveau cadre à l'approche traditionnelle.

Notre évaluation a été réalisée de manière systématique, en manipulant des paramètres clés tels que le nombre de nœuds, l'optimisation du rayon de connectivité, les ajustements des ratios de nœuds d'encre et l'affinement précis des coordonnées des nœuds. Les résultats obtenus à partir de nos simulations complètes démontrent de manière convaincante que la stratégie d'optimisation intégrant la PSO surpasse significativement l'algorithme DV-Hop conventionnel en termes de performances de localisation.

Mots clés : Réseaux de capteurs sans fil, nœuds de capteurs, cadre de localisation DV-Hop, optimisation par essaim de particules (PSO), localisation, ...

Table des matières

| | |
|------------------------------|------|
| Remerciements | I |
| Résumé | II |
| Liste des matières | III |
| Liste des Figures..... | VII |
| Liste des tableaux | VIII |
| Liste des Abréviations | IX |
| Introduction Générale..... | 1 |

Chapitre I : Etude générale sur les réseaux de capteurs sans fils

| | |
|--|----|
| 1. Introduction..... | 3 |
| 2. Le Capteur..... | 3 |
| 2.1 Définition d'un capteur..... | 3 |
| 2.2 Architecture d'un capteur | 3 |
| 2.2.A Architecture Matérielle | 3 |
| 2.2.B Architecture Logiciel | 4 |
| 3. Réseau Sans fils..... | 5 |
| 3.1 Définition | 5 |
| 3.2 type de capteur sans fils | 5 |
| 3.3 caractéristique de capteur..... | 7 |
| 4. Reseaux de capteur sans fils..... | 8 |
| 4.1 Définition | 8 |
| 4.2 Architecture d'un RCSF | 8 |
| 4.3 Impact dans les réseaux de capteur sans fil..... | 8 |
| 4.4 Domaine d'application | 9 |
| 5. Conclusion | 11 |

Chapitre II :La localisation des réseaux de capteurs sans fils

| | | |
|-------|--|----|
| 1. | Introduction..... | 12 |
| 2. | Localisation..... | 12 |
| 2.1 | Définition..... | 12 |
| 2.2 | Objectifs de la localisation | 12 |
| 2.3 | Propriétés de la localisation..... | 13 |
| 2.4 | Importance des systèmes de localisation | 13 |
| 2.5 | Composition d'un système de localisation..... | 14 |
| 2.5.A | Estimation de distance/angle..... | 15 |
| 2.5.B | Calcul de la position(auto-localisation)..... | 17 |
| 3. | Algorithme de localisation dans les réseaux de capteur | 20 |
| 3.2 | Catégorie des algorithmes de localisation dans les RCSF | 20 |
| 3.3 | Paramètres de performance d'un algorithme de localisation | 21 |
| 3.3 | Facteur impactant les performances d'un système de localisation..... | 21 |
| 4. | Algorithme DV-HOP | 22 |
| 5. | Conclusion | 25 |

Chapitre III : l'algorithme proposé

| | | |
|-----|---|----|
| 1. | Introduction..... | 26 |
| 2. | Généralité sur le PSO..... | 26 |
| 2.1 | Intelligence d'essaim..... | 26 |
| 2.2 | Algorithme d'optimisation des essaims de particules | 26 |
| 3. | Problématique | 27 |
| 4. | Algorithme utilisé | 27 |
| 4.1 | Etape principale de fonctionnement | 28 |
| 4.2 | Organigramme | 29 |
| 5. | Simulation..... | 30 |
| 5.1 | Langage de programme utilisé | 30 |

| | | |
|-----|--------------------------------|----|
| 5.2 | Scénario de simulation..... | 30 |
| 5.3 | Paramètre de performance | 31 |
| 5.4 | Résultat de la simulation..... | 32 |
| 6. | Conclusion..... | 39 |
| | Conclusion Générale | 40 |
| | Références | 41 |

Liste des figures

Chapitre I : Etude générale sur les Réseaux de capteurs sans fils

Figure I.1 : Fonctionnement d'un capteur.

Figure I.2 : Anatomie d'un capteur.

Figure I.3 : Transmetteurs.

Figure I.4 : Récepteurs.

Figure I.5 : Émetteurs-récepteurs.

Figure I.6 : Régulateurs.

Figure I.7 : Enregistreur de données.

Figure I.8 : Architecture d'un réseau de capteur sans fil.

Figure I.9 : Domaines d'applications des RCSFs.

Chapitre II : La Localisation Dans les RCSF

Figure II.10 : Différentes partie d'un système de localisation.

Figure II.11 : Principe de la trilatération.

Figure II.12 : Estimation de triangulation.

Figure II.13 : Exemple d'algorithme DV-Hop.

Chapitre 3 : Algorithme proposé

Figure III.1 : Organigramme de l'algorithme DV-Hop basé sur le PSO.

Figure III.2 : Réseau de capteurs a étudié.

Figure III.3 : Variation du MSE en fonction du nombre de nœuds : DV-Hop et
DV-Hop-opt (pour $R=R_{opt}$).

Figure III.4: Variation du MSE en fonction du nombre de nœuds : DV-Hop et
DV-Hop-opt (pour $TNA=TNA_{opt}$).

Figure III.5 : Réseau de capteurs étudiés avec les coordonnées des nœuds ancres optimisées.

Figure III.6: Variation du MSE en fonction du nombre de nœuds : DV-Hop et
DV-Hop-opt (Pour **Coordonnées optimisées**).

Figure III.7 : Comparaison des MSE du DV-Hop et DV-Hop optimisés.

Liste des tableaux

Tableau II.1: Les distances moyennes et l'estimation de distance en utilisant la méthode DV-Hop.

Tableau III.1 : Les paramètres d'évaluation.

Tableau III.2 : MSE en fonction du nombre de nœuds pour DV-Hop et DV-Hop optimal ($R=R_{opt}$).

Tableau III.3 : MSE en fonction du nombre de nœuds pour DV-Hop et DV-Hop optimal ($TNA=TNA_{opt}$).

Tableau III.3 : Coordonnées optimisées des nœuds ancrés.

Table III.4 : MSE en fonction du nombre de nœuds pour DV-Hop et DV-Hop optimal (Coordonnées optimisées)

Liste des Abréviations

RCSF : Réseaux de capteur sans fils.

CAN: Convertisseur analogique-numérique.

RSSI: Received Signal Strength Indicator.

RHC: Radio hop count.

TOA: Time of arrival.

TOF: Time of finishing.

TDoA: Time Difference of Arrival.

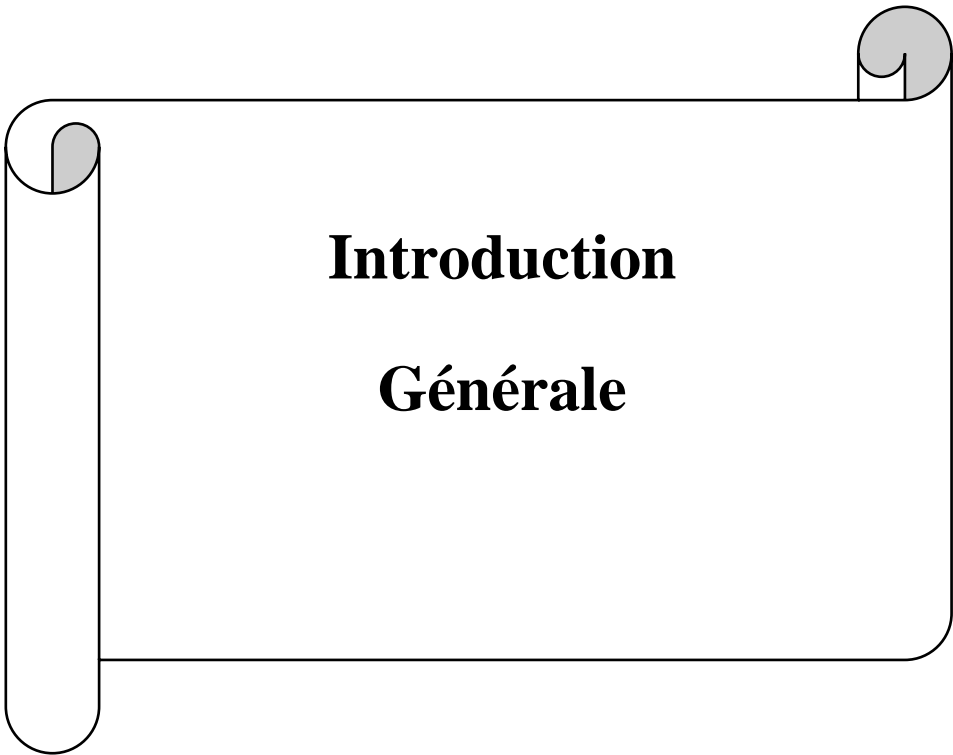
AoA: Angle of Arrival.

GPS: Global positioning system.

PSO : Algorithme de l'Optimisation par essaim de particule.

MSE: Mean squared error.

TNA: Taux de nœuds ancre.



Introduction

Générale

Introduction générale

Ces dernières années, grâce aux avancées récentes dans le domaine de la microélectronique et des technologies de communication sans fil, nous avons assisté à l'émergence d'un nouveau type de réseaux connus sous le nom de Réseaux de Capteurs Sans Fil (RCSF). Un RCSF, également appelé Wireless Sensor Network en anglais, se caractérise par la présence d'un ensemble de capteurs intelligents, souvent en grand nombre. Chacun de ces capteurs, également désignés sous le terme de nœuds, est capable d'accomplir une tâche spécifique au sein d'une application donnée. Chaque capteur est en mesure de collecter et de traiter des données relatives à des grandeurs physiques. De plus, ces capteurs sont équipés d'une fonction de communication sans fil, ainsi que d'un microcontrôleur permettant de traiter les informations collectées. En outre, ils peuvent éventuellement stocker ces informations dans une unité de mémoire dédiée.

Parmi les défis majeurs posés par les RCSF, la localisation des nœuds occupe une place centrale. Il s'agit de déterminer avec précision ou estimation la position physique de chaque nœud dans le réseau. Bien que le système GPS soit le système de localisation le plus répandu au monde, il s'avère souvent coûteux à intégrer dans les capteurs [2]. En conséquence, d'autres solutions telles que les algorithmes de localisation (auto-localisation) ont été proposées pour relever ce défi.

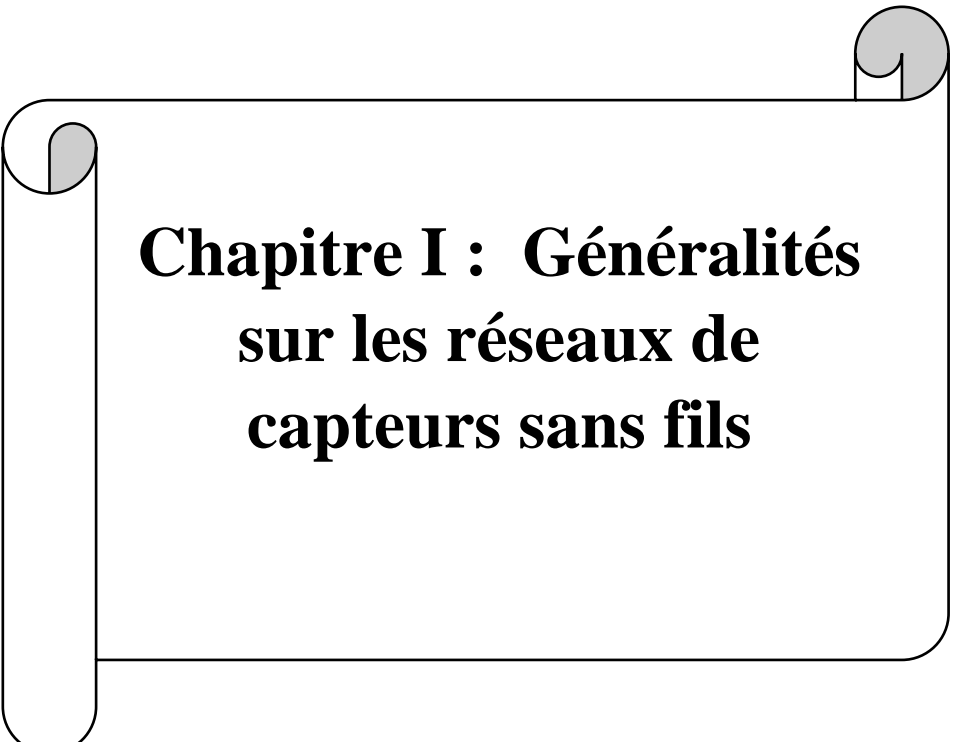
Dans le cadre de ce mémoire, notre objectif était de mettre en œuvre un algorithme pour la localisation au sein des RCSF. Nous avons particulièrement axé nos efforts sur l'amélioration de la précision de la localisation. Pour ce faire, nous avons appliqué une approche hybride qui combine deux algorithmes. Dans un premier temps, nous avons utilisé l'algorithme DV-hop pour obtenir les coordonnées initiales des nœuds inconnus. Ensuite, nous avons exploité l'algorithme d'optimisation basé sur le PSO (Particle Swarm Optimization) pour affiner les coordonnées finales de ces nœuds inconnus. Notre proposition a été mise en œuvre en utilisant le simulateur MATLAB pour la localisation dans les RCSF.

Ce mémoire de master est organisé en trois chapitres distincts :

Le premier chapitre a pour objectif de présenter le concept des Réseaux de Capteurs Sans Fil (RCSF) en mettant en avant leurs caractéristiques fondamentales.

Le deuxième chapitre se consacre à la localisation au sein des réseaux RCSFs. Nous abordons les enjeux liés à la détermination précise des positions physiques des nœuds au sein de ces réseaux, ainsi que l'importance de la localisation pour diverses applications.

Le troisième chapitre détaille l'approche que nous proposons pour la localisation au sein des RCSF. Cette approche repose sur une combinaison ingénieuse de l'algorithme DV-Hop et de la technique d'optimisation PSO.



**Chapitre I : Généralités
sur les réseaux de
capteurs sans fils**

I.1 Introduction :

Les avancées récentes dans les domaines des micro-capteurs et des communications sans fil ont conduit à l'émergence des réseaux de capteurs sans fil, également connus sous l'acronyme RCSF. Ces réseaux sont composés d'un grand nombre de dispositifs physiques appelés capteurs ou nœuds, qui sont capables de collecter, de traiter et de transmettre des informations sur leur environnement vers un ou plusieurs points de collecte [4]. L'un des défis majeurs de ces réseaux concerne la localisation, c'est-à-dire la détermination de la position géographique des nœuds capteurs au sein de la zone de déploiement.

Dans ce chapitre, nous avons mis l'accent sur les concepts fondamentaux des réseaux RCSF, leurs domaines d'application et les contraintes de conception qui leur sont associées.

2. Le capteur :

2.1 Définition d'un capteur :

Un capteur est un petit dispositif autonome capable de convertir une grandeur physique mesurée, telle que la température, la pression ou l'humidité, en une grandeur utilisable, comme l'intensité électrique ou la position d'un flotteur [5].

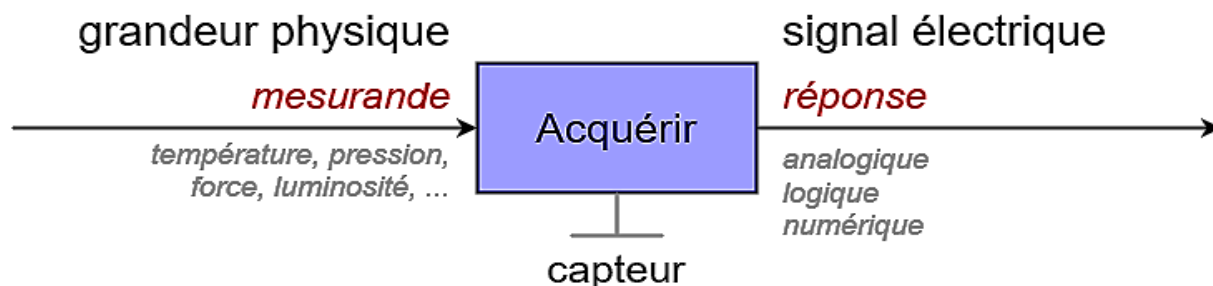


Figure I.1: Fonctionnement d'un capteur.

2.2 Architecture d'un capteur :

2.2.A Architecture Matérielle :

Un capteur est composé de quatre éléments fondamentaux : la capacité de collecte d'informations, le traitement des données, la communication, et la source d'énergie. Cependant, en fonction du domaine d'application, des composants supplémentaires peuvent lui être associés, tels qu'un générateur d'énergie, un système de localisation et un dispositif de mobilité.

- **Unité de capture (Sensing unit) :** Cette unité a pour fonction de recueillir des informations et se compose de deux sous-unités : un capteur et un convertisseur analogique-numérique

Chapitre 1 : généralités sur les réseaux de capteurs sans fils

(CAN). Le CAN convertit les données capturées en signaux numériques, qui sont ensuite transmis à l'unité de traitement [6].

- **Unité de traitement (Processing unit)** : L'unité de traitement intègre un processeur qui stocke les données reçues de l'unité de capture dans la mémoire [7]. De plus, elle exécute les procédures nécessaires pour permettre au nœud de collaborer avec d'autres nœuds du réseau, ce qui aboutit en fin de compte à la production du résultat de la tâche assignée au réseau.
- **Unité de communication (Transceiver unit)** : Cette unité est responsable de toutes les communications, qu'il s'agisse d'émissions ou de réceptions, entre les divers nœuds du réseau. Elle opère via une liaison optique ou des fréquences radio [7].
- **Unité d'énergie (Power unit)** : L'énergie revêt une importance cruciale pour la durée de vie du capteur et du réseau. Ainsi, cette unité a pour mission d'alimenter en énergie les différents composants du capteur, que ce soit par le biais de batteries ou d'autres sources externes telles que les cellules solaires [8].

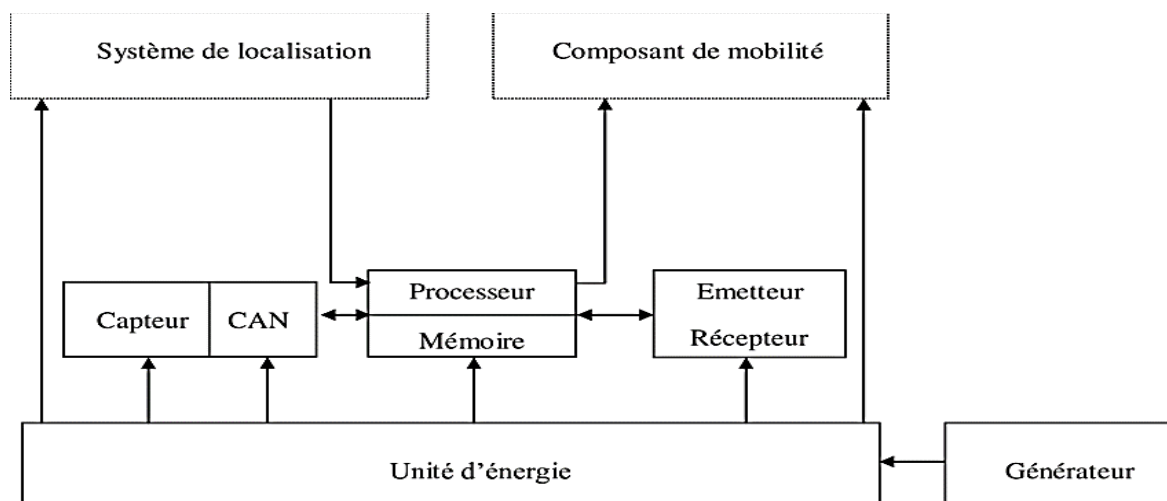


Figure I.2 : Anatomie d'un capteur.

2.2.B Architecture logiciels :

La contrainte énergétique imposée aux capteurs nécessite l'utilisation de systèmes d'exploitation légers tels que TinyOS [9], qui est une solution en source ouverte, accompagnée de son langage de programmation NesC. D'autres systèmes tels que Contiki et MantisOS [9] sont également disponibles, mais TinyOS demeure le choix prédominant et le plus populaire dans le domaine des réseaux de capteurs sans fil (RCSF). Ce système est librement accessible et bénéficie du soutien d'une vaste communauté de chercheurs. Il est largement utilisé pour

Chapitre 1 : généralités sur les réseaux de capteurs sans fils

simuler le développement et tester les algorithmes ainsi que les protocoles de communication dans ce domaine [9].

3. Réseau sans fil :

3.1 Définition :

Les capteurs sans fil sont des dispositifs de mesure standard qui intègrent des émetteurs capables de convertir les signaux provenant des instruments de contrôle des processus en signaux radio. Ces signaux radio sont ensuite décodés par un récepteur, qui les transforme en un résultat spécifique souhaité, comme un courant analogique ou une analyse de données à l'aide d'un logiciel informatique [10].

3.2 Type de capteur sans fils :

Il existe divers types de capteurs sans fil, et voici quelques exemples tirés de [10] :

- **Transmetteurs** : Les transmetteurs sont équipés de capteurs spécialisés pour mesurer une propriété dans un processus, puis ils transmettent les données à un récepteur par le biais de signaux radio. La Figure 3 illustre un exemple de transmetteur.



Figure I.3: Transmetteurs

- **Récepteurs** : Les récepteurs sont chargés de recevoir et d'interpréter les données sans fil. Ils peuvent également exporter ces données vers un logiciel avancé. La Figure 4 illustre un exemple de récepteur.

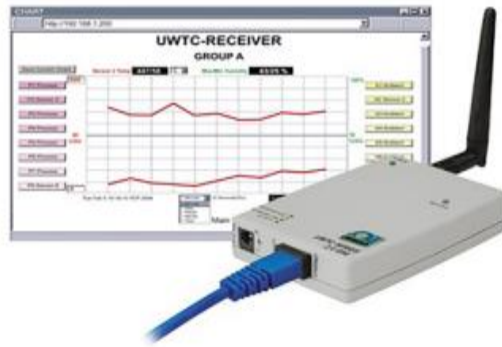


Figure I.4 : Récepteurs.

- **Émetteurs-récepteurs** : Les émetteurs-récepteurs contiennent un émetteur et un récepteur dans une seule et même unité. Grâce à leur capacité à retransmettre des signaux, les émetteurs-récepteurs sans fil sont capables d'étendre la portée de votre réseau de mesure sans fil.



Figure I.5 : Émetteurs-récepteurs.

- **Régulateurs** : Les régulateurs fonctionnent de la même manière qu'un récepteur, recevant et analysant les données des émetteurs sans fil. Cependant, Les régulateurs sans fil peuvent également manipuler des processus basés sur des données mesurées.



Figure I.6 : Régulateurs.

- **Enregistreurs de données** : Ces dispositifs représentent une catégorie spécifique au sein des réseaux de mesure sans fil, car ils apportent une nouvelle dimension de flexibilité aux utilisateurs finaux. Ils sont capables de surveiller la température à distance depuis n'importe quel endroit, puis de transmettre les données à un ingénieur une fois que l'appareil de lecture est ramené au récepteur.



Figure I.7 : Enregistreur de données.

3.3 Caractéristique de capteur :

Les caractéristiques d'un capteur selon [11] nous citons :

- **Etendue de mesure** : Valeurs extrêmes pouvant être mesurée par le capteur.
- **Résolution** : Plus petite variation de grandeur mesurable par le capteur.
- **Précision** : Aptitude du capteur à donner une mesure proche de la valeur vraie.
- **Rapidité** : Temps de réaction du capteur. La rapidité est liée à la bande passante.
- **Sensibilité** : Variation du signal de sortie par rapport à la variation du signal d'entrée.

Exemple : Le capteur de température LM35 a une sensibilité de 10mV / °C.

4. Réseaux de capteur sans fil :

4.1 Définition :

Un réseau de capteurs sans fil est composé d'un ensemble de capteurs (également appelés senseurs) qui sont connectés les uns aux autres par des liaisons sans fil, telles que des communications radio, infrarouges ou optiques. Chaque capteur a pour mission de capturer, de stocker, de traiter et de transmettre les données qu'il recueille vers une station de base [12].

4.2 Architecture d'un RCSF :

L'architecture d'un réseau de capteurs sans fil (RCSF) est généralement représentée sous la forme d'un nuage, qui en réalité représente un ensemble de capteurs dispersés dans une zone géographique appelée zone de captage. Chaque nœud de capteur a la capacité de collecter des données et de les relayer vers une station de base en utilisant une structure sans fil à plusieurs sauts. La station de base, à son tour, transfère ces données par satellite ou par Internet vers l'utilisateur final, qui les analyse pour prendre des décisions. De plus, l'utilisateur peut utiliser la station de base comme une passerelle pour transmettre des requêtes au réseau de capteurs [13].

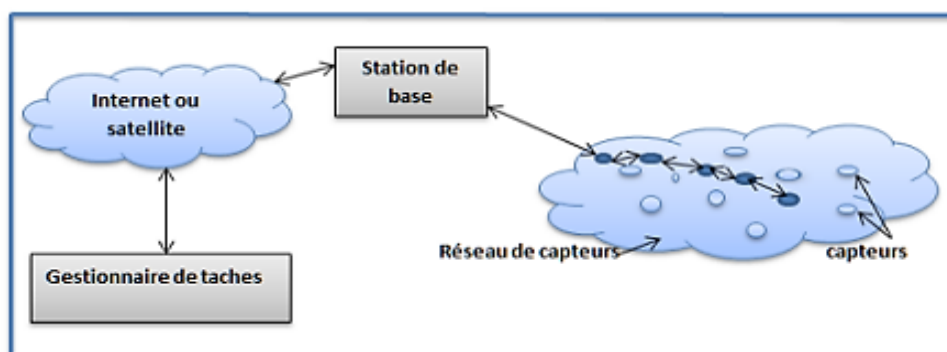


Figure I.8 : Architecture d'un réseau de capteur sans fil.

4.3 Impact dans les réseaux de capteurs sans fil : La conception d'un réseau de capteurs sans fil est soumise à de nombreuses contraintes, notamment :

- **La tolérance aux pannes :** Les blocages ou les défaillances d'un nœud au sein d'un réseau de capteurs sans fil peuvent survenir pour diverses raisons, telles que des problèmes d'alimentation électrique, des dommages physiques, des interférences environnementales ou des problèmes logiciels. Cependant, il est essentiel que ces problèmes n'affectent pas le

Chapitre 1 : généralités sur les réseaux de capteurs sans fils

fonctionnement global du réseau, ce qui est le principe fondamental de la tolérance aux pannes [14].

- **Le passage à l'échelle (scalabilité)** : Les réseaux de capteurs sans fil peuvent être composés de milliers de nœuds capteurs, en fonction de l'application. Par conséquent, les protocoles développés pour ces réseaux doivent être capables de gérer efficacement ce grand nombre de dispositifs [14].
- **Coût de production** : Le coût d'un unique nœud influence fortement le coût global du réseau. Si la mise en place d'un réseau de capteurs sans fil s'avère plus onéreuse qu'un réseau traditionnel, alors cette technologie pourrait ne pas être économiquement viable. Ainsi, le coût de chaque nœud doit être réduit au maximum, à titre d'exemple, le prix d'un capteur ne devrait pas dépasser 1\$ [15].
- **Environnement** : Les RCSF sont fréquemment installés dans des conditions environnementales difficiles. Ils doivent donc être conçus pour résister aux rigueurs de leur milieu.
- **Moyen de transmission** : Les nœuds échangent des informations via des connexions sans fil, qu'elles soient de type radio, infrarouge ou optique [14].
- **Consommation énergétique** : La capacité énergétique des nœuds capteurs est limitée (généralement < 0.5 Ah, 1.2V). La longévité d'un capteur est directement liée à celle de sa batterie, rendant l'approvisionnement énergétique délicat dans certaines applications. De plus, l'évolution de la topologie du réseau et sa reconfiguration renforcent le besoin d'une gestion énergétique efficace, avec une répartition de la consommation entre les différentes unités du capteur [15].
- **Agrégation des données** : Les données recueillies par les nœuds capteurs voisins sont souvent corrélées en temps et en espace, ce qui peut conduire à une redondance de l'information transmise à la station de base. La minimisation des données redondantes peut augmenter la durée de vie du réseau. Pour ce faire, une stratégie d'agrégation des données est généralement adoptée [9].
- **Dimension** : Bien que la petite taille des capteurs facilite un déploiement flexible, elle impose des contraintes, notamment en termes de capacité de la batterie [14].
- **Puissance de calcul** : Les processeurs des RCSF diffèrent des machines traditionnelles car ils fonctionnent généralement sur des microcontrôleurs à basse fréquence [14].

4.4 Domaine d'application :

Chapitre 1 : généralités sur les réseaux de capteurs sans fils

La diversité des types de capteurs, leur petite taille, leur coût de plus en plus abordable, ainsi que l'utilisation de la technologie sans fil, ont contribué à la diffusion des réseaux RCSF dans de nombreuses sphères d'application différentes.

- A. **Applications militaires** : Les réseaux de capteurs sans fil (RCSF) ont joué un rôle critique et déterminant dans diverses applications militaires. Par exemple, ils sont utilisés pour la gestion des effectifs, des équipements et des armes, en utilisant de petits capteurs attachés pour permettre une surveillance continue par les commandants de troupes. Les RCSF sont également déployés sur les champs de bataille pour fournir des renseignements cruciaux sur les forces ennemies, notamment leur position, leur nombre, leurs mouvements et l'identification des soldats et des véhicules [16].

- B. **Applications environnementales** : Les RCSF ont un impact significatif dans le domaine de l'agriculture en surveillant en temps réel les niveaux de pesticides dans l'eau potable, l'érosion du sol et la pollution de l'air. De plus, ces capteurs sont utilisés pour la surveillance géophysique et l'exploration planétaire, notamment la surveillance des activités sismiques, ainsi que pour l'exploration et la surveillance dans des environnements hostiles tels que les volcans et les zones toxiques [17].

- C. **Applications médicales** : Le domaine médical bénéficie également des RCSF, en particulier pour la surveillance de données physiologiques telles que la température corporelle, la pression artérielle, la glycémie et les battements cardiaques. Toutes ces données sont transmises à un ordinateur pour une évaluation médicale ou pour un suivi. De plus, des micro-caméras ingérables permettent de capturer des images de l'intérieur du corps humain sans chirurgie, offrant une autonomie de 24 heures. Récemment, des chercheurs ont présenté un projet visant à créer une rétine artificielle composée de 100 micro-capteurs pour améliorer la vision [18].

- D. **Applications industrielles** : Les réseaux de capteurs sont largement utilisés dans divers secteurs industriels. Par exemple, ils sont essentiels pour garantir la sécurité dans les grandes usines où des équipements complexes manipulent souvent des produits chimiques toxiques. Les RCSF jouent un rôle vital en détectant de tels incidents potentiels et en permettant une intervention immédiate pour éviter des catastrophes [19].

Chapitre 1 : généralités sur les réseaux de capteurs sans fils

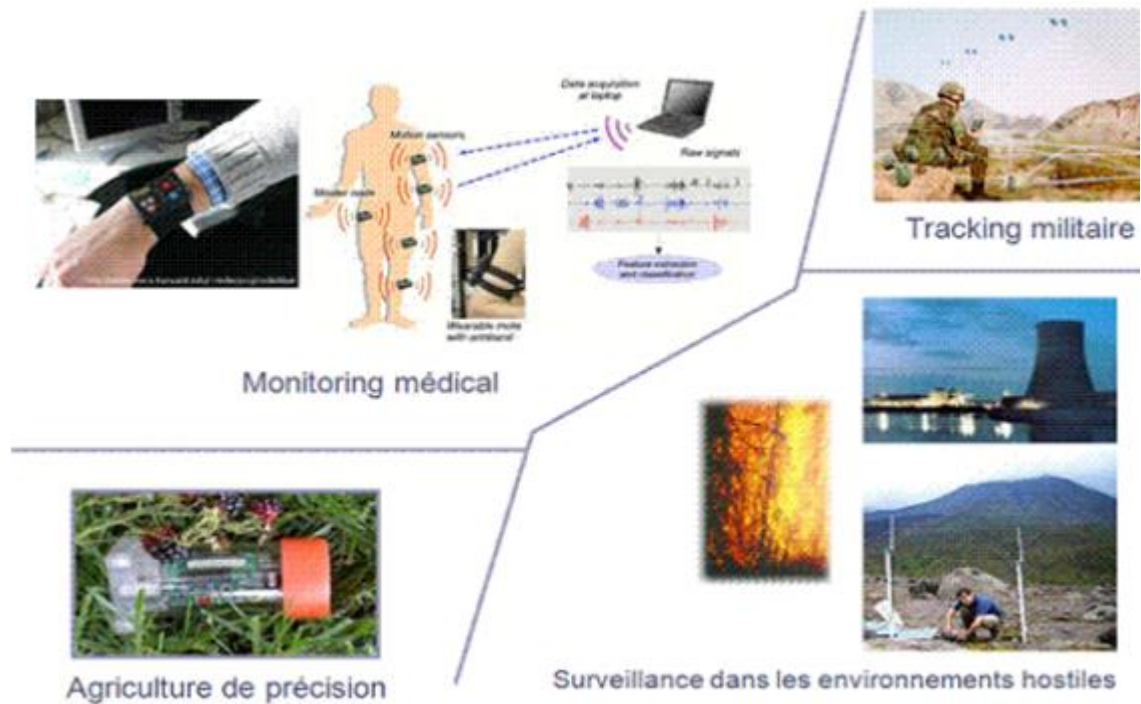


Figure I.9 : Domaines d'applications des RCSFs.

5. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons abordé les Réseaux de Capteurs sans Fil (RCSFs) de manière générale, en mettant l'accent sur les concepts fondamentaux liés à ce type de réseau, leurs principaux domaines d'application, ainsi que leur architecture. Dans le prochain chapitre, nous examinerons en détail les techniques de localisation utilisées dans les réseaux de capteurs sans fil.



**Chapitre II : La
Localisation dans les
RCSFs**

1. Introduction

Les applications utilisant les réseaux de capteurs sans fil reposent souvent sur le déploiement aléatoire d'un grand nombre de nœuds de capteurs. Dans cette perspective, connaître la position de ces nœuds revêt une importance primordiale. En effet, la détermination des emplacements constitue la première étape entreprise après le déploiement des nœuds, permettant ainsi d'identifier la source des informations collectées et de localiser les événements au sein de la zone d'intérêt.

Pour estimer la position d'éléments non localisés préalablement dans le réseau, on recourt aux techniques de localisation au sein des RCSFs. Ces techniques exploitent les informations de position de quelques capteurs pour parvenir à cette estimation [20].

Ce chapitre se consacrera à la définition de la localisation et à sa pertinence dans les réseaux de capteurs sans fil, tout en explorant ses objectifs et ses caractéristiques inhérentes. Nous procéderons ensuite à une présentation éclairante de différentes catégories d'algorithmes de localisation, mettant particulièrement l'accent sur le DV-Hop.

2. Localisation

2.1 Définition

La localisation englobe le processus de détermination de la position d'un objet sur une surface cartographique ou géographique. Ce procédé s'effectue au moyen d'un terminal capable d'être repéré en temps réel. Les positions enregistrées peuvent être conservées dans le terminal pour une utilisation ultérieure ou être transmises en direct vers une plateforme logicielle de localisation. Pour cette transmission en temps réel, un terminal doit être doté d'une fonction de télécommunication, permettant l'envoi périodique des positions [21]. La localisation au sein des réseaux de capteurs sans fil (RCSFs) constitue un domaine d'intérêt majeur en raison de l'impératif d'acquérir des informations de position fiables [22].

2.2 Objectifs de la localisation

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 et pour cela est nécessaire pour les raisons suivantes :

- Déterminer les coordonnées géographiques des différents capteurs.

- Repérer les divers événements au sein de la zone d'intérêt, et également faciliter l'élaboration de protocoles de routage pour acheminer les informations collectées, et bien d'autres applications.
- L'utilisation des capteurs équipés du GPS est trop coûteuse financièrement et énergétiquement.
- Identifier l'origine de l'information (d'où vient-elle ?) et détecter la place d'un événement est « où se passe-t-il ? »
- Aider au bon fonctionnement des services des réseaux tels que le routage et les services géo localisation [21].

2.3 Propriétés de la localisation

Selon [21], un système de localisation possède diverses propriétés, dont les plus notables sont les suivantes :

- **Précision** : Il s'agit de l'écart entre les positions réelles des nœuds de capteurs et les positions calculées par le système de localisation.
- **Économie d'énergie** : Une gestion énergétique extrêmement efficace est primordiale, impliquant la recherche d'algorithmes minimisant les transmissions radio.
- **Résilience au bruit** : L'évaluation de la réaction d'un algorithme en présence de perturbations lors des mesures de distances avec les nœuds voisins.
- **Évolutivité** : La capacité d'un algorithme de localisation à fonctionner dans un réseau comportant des milliers de capteurs. Cette aptitude est liée à une implémentation distribuée ou centralisée de l'algorithme.
- **Adaptation à une connectivité limitée** : L'efficacité d'un algorithme dans un réseau à faible connectivité, où chaque nœud ne peut communiquer qu'avec un nombre restreint de ses voisins. Comment les performances de l'algorithme sont-elles affectées dans de telles situations ?
- **Réactivité du système** : La rapidité avec laquelle le système de localisation répond en fournissant les positions des nœuds. Ceci revêt une importance particulière lorsqu'il s'agit de gérer des nœuds mobiles et de suivre des cibles.

2.4 Importance des systèmes de localisation

Les positions des capteurs peuvent être prédéfinies et configurées à l'avance. Cependant, dans de nombreux cas, les nœuds de capteurs sont déployés de manière aléatoire. Ceci peut être dû à leur utilisation dans des zones inaccessibles, à leur intégration sur des véhicules en mouvement, à des situations de désastre, ou encore lorsque leur grand nombre rend préconfigurer leurs positions

impraticables. C'est dans de telles circonstances qu'un système de localisation se révèle essentiel pour attribuer des positions aux nœuds.

Les systèmes de localisation jouent un rôle crucial dans le développement et l'exploitation des RCSF en tant que technologie clé. Cependant, leur utilité ne se limite pas exclusivement aux RCSF. La localisation revêt une importance capitale pour diverses raisons, dont voici quelques-unes :

- **Identification des Données Collectées** : Cela implique l'assignation des données ou événements à leurs positions de collecte ou d'occurrence. Dans les RCSF, l'un des principaux objectifs est la surveillance d'une zone d'intérêt. Une fois que les données ont été collectées, il est essentiel d'associer ces données à leurs régions d'origine.
- **Agrégation des Données Collectées** : Cette étape permet aux nœuds intermédiaires de regrouper et de fusionner les données issues de la même région lorsque celles-ci sont transmises à travers le réseau.
- **Adressage des Nœuds** : L'utilisation de la position des nœuds en tant qu'identifiant unique au sein du réseau facilite leur adressage et leur distinction.
- **Administration du Réseau** : Cette fonctionnalité permet la gestion et l'interrogation des nœuds localisés dans une région spécifique. Elle permet d'évaluer la couverture des nœuds, de créer une cartographie de l'énergie disponible dans chaque nœud, et de prendre des décisions administratives en conséquence.
- **Algorithmes Géographiques** : Ces algorithmes exploitent les informations de localisation des nœuds pour optimiser l'utilisation des ressources des RCSF. Parmi eux figurent le routage des données, le contrôle de la topologie du réseau, la régulation de la densité des nœuds, et le suivi d'objets mobiles (object tracking) [24].

2.5 Composition d'un système de localisation

Selon [24], un système de localisation peut être divisé en trois composantes distinctes. Chacune de ces composantes a ses propres objectifs et méthodes de résolution, et elles seront examinées individuellement. Les trois composantes, ou sous-systèmes, sont les suivantes : l'estimation de distance/angle, le calcul de la position et l'algorithme de localisation.

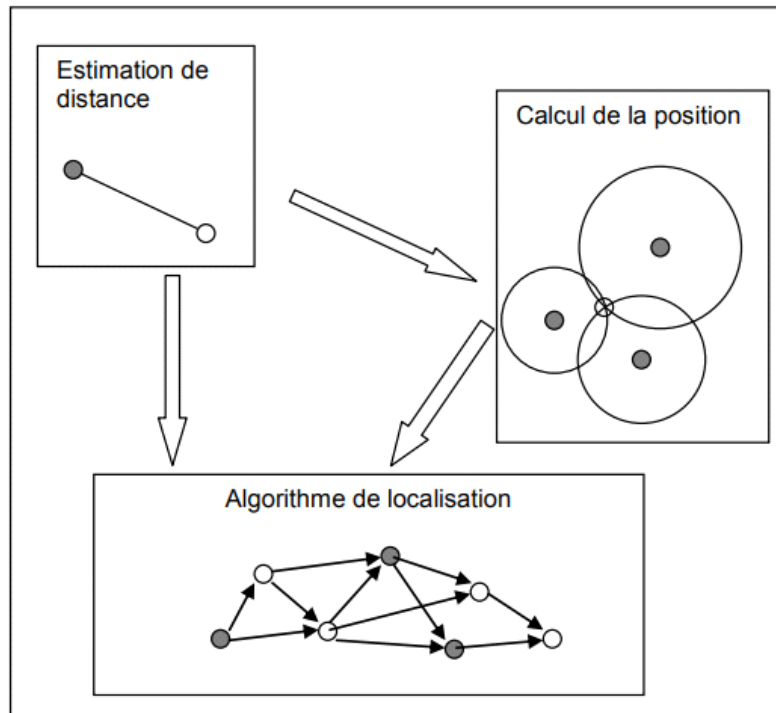


Figure II.10 : Différentes partie d'un système de localisation.

A. Estimation de distance/angle :

L'estimation de la distance et de l'angle implique la mesure de la séparation entre deux points ainsi que de l'orientation entre eux. Cette évaluation détient une grande importance car elle est destinée à être employée dans le calcul de positionnement et par l'algorithme de localisation.

Plusieurs approches sont mises en œuvre pour parvenir à estimer la distance et l'angle. Certaines de ces méthodes sont précises mais entraînent des coûts élevés (liés à l'acquisition de matériel supplémentaire, à la consommation énergétique et aux ressources de traitement). D'autres, en revanche, sont moins précises, mais elles sont déjà disponibles sur la majorité des capteurs (points de mesure) et ne requièrent aucun ajout matériel.

1. Indicateur de puissance du signal reçu – RSSI :

La méthode de localisation décrite dans la référence [24] repose sur le RSSI (Received Signal Strength Indicator), qui exploite la puissance du signal capté afin d'estimer la distance entre un nœud émetteur et un nœud récepteur. Cette distance est déduite en se servant d'un modèle de propagation des ondes radio. Divers modèles sont disponibles, parmi lesquels le plus élémentaire utilise la formule suivante :

$$P_{rcvd} = c \frac{P_{tx}}{d^{\alpha}} \leftrightarrow d = \sqrt[\alpha]{\frac{cP_{tx}}{P_{rcvd}}}$$

d : la distance entre les deux nœuds.

P_{tx} , P_{rcvd} : la puissance du signal transmis et reçu respectivement.

c , α : constantes connues du modèle de propagation.

α : le facteur d'atténuation du signal radio.

c : Le rapport entre la puissance du signal reçu à une distance d'un mètre de l'émetteur et la puissance du signal émis.

Les mesures RSSI sont sujettes à du bruit (de l'ordre de plusieurs mètres). Ce bruit découle de la propagation non uniforme des ondes radio dans des environnements réels. Par conséquent, les estimations de distance basées sur le RSSI présentent une précision relativement faible par rapport à d'autres méthodes de localisation.

L'avantage majeur de cette méthode réside dans son coût réduit, car tous les nœuds sont déjà pourvus de dispositifs de communication sans fil ; de plus, elle n'entraîne aucun surcoût de communication supplémentaire. Cependant, son inconvénient majeur est sa vulnérabilité aux perturbations, aux interférences, à l'asymétrie des liaisons de communication (RSSI non uniforme), aux obstacles et aux types d'antennes utilisés.

Les erreurs de mesure avec cette méthode peuvent dépasser 50% de la portée du dispositif de communication. De multiples travaux ont été entrepris pour améliorer la précision du RSSI, notamment en ayant recours à des techniques de filtrage visant à atténuer les fluctuations des valeurs de RSSI.

2. Le nombre de sauts – RHC (Radio Hop Count) :

La méthode RHC repose sur l'observation suivante : lorsque deux nœuds peuvent établir une communication entre eux, il est hautement probable que la distance qui les sépare soit inférieure à la portée maximale du dispositif de communication (R , Range). Dans le contexte de la localisation, cette méthode exploite exclusivement l'information de connectivité entre les nœuds, sans prendre en considération le RSSI[24].

L'information de connectivité réplique un graphe non orienté où les nœuds du réseau constituent les sommets, et les arêtes symbolisent les liens directs de communication. La distance entre deux nœuds, S_i et S_j , est déterminée par la longueur du chemin le plus court reliant ces deux nœuds dans le graphe

Si d_{ij} est la distance entre S_i et S_j alors : $0 > d_{ij} > R \cdot h_{ij}$

Si le nombre de voisins est connu, la longueur d'un saut peut être estimée (d_{hop}). La distance entre les nœuds i et j devient : $d_{ij} \approx d_{hop} \cdot h_{ij}$

La méthode offre une précision équivalente à la moitié de la portée du dispositif de communication ($1/2 R$). Des simulations réalisées par [25] ont démontré qu'il est possible d'atteindre

une précision de $0.2xR$ lorsque le nombre de voisins est égal ou supérieur à 15. Toutefois, lorsque des obstacles sont présents, la méthode génère des résultats moins précis. En effet, la distance en termes de sauts entre deux nœuds peut être importante, même si ces nœuds sont rapprochés physiquement, en raison d'un obstacle qui entrave leur communication directe.

3. Le temps d'arrivée– ToA/ToF :

La technique ToA (Time of Arrival) exploite la corrélation entre la distance parcourue par un signal et le temps qu'il met pour parcourir cette distance. En effet, la distance entre l'émetteur et le récepteur correspond à la multiplication du temps de déplacement du signal par la vitesse des ondes radio.

$$Distance = Temps * C$$

Avec C la vitesse de propagation de la lumière ($C= 3x10^8$ m/s).

La méthode ToA requiert une synchronisation parfaite entre l'émetteur et le récepteur. Lorsque le récepteur possède l'information sur l'instant d'émission du signal, il peut alors calculer la distance qui le sépare de l'émetteur en évaluant le temps écoulé pour que le signal atteigne le récepteur [24].

4. La différence du temps d'arrivée – TDoA (Time Difference of Arrival) :

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 [26].

5. L'angle d'arrivée – AoA (Angle of Arrival) :

L'angle d'arrivée (AoA) n'est pas basé 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 [26].

B. Calcul de la position (auto-localisation) :

Pour déterminer la position d'un nœud, différentes méthodes sont employées. Parmi celles-ci, on retrouve la trilatération, la multilatération et la triangulation,

L'efficacité globale du système de localisation repose sur la sélection judicieuse de la méthode de calcul de la position. Ce choix dépend à la fois des informations accessibles et des ressources du processeur (telles que le CPU, la mémoire, etc.).

1. Trilatération et multilatération :

La trilatération constitue l'approche la plus fondamentale et intuitive. Elle consiste à estimer la position d'un nœud en mesurant les distances par rapport à trois autres nœuds. Dans cette méthode, on calcule l'intersection de trois cercles, ce qui aboutit à un unique point représentant la position estimée du nœud [27], comme illustré dans la Figure II.11.

Pour estimer sa position en deux dimensions, un nœud doit avoir connaissance de la position de trois références, ainsi que de sa propre distance par rapport à ces références. La distance peut être évaluée en utilisant l'une des techniques décrites dans la première partie intitulée "Estimation de distance/angle". Une référence, également appelée amer, est un nœud dont les coordonnées globales sont connues à l'avance. Ces coordonnées peuvent être préalablement enregistrées ou obtenues à l'aide d'un dispositif externe comme le GPS. Les équations des cercles, centrés sur les positions des références et ayant respectivement des diamètres d_1 , d_2 et d_3 , sont définies comme suit [24] :

$$(\hat{x} - x_1)^2 + (\hat{y} - y_1)^2 = d_1^2 \Leftrightarrow \hat{x}^2 + \hat{y}^2 - 2(\hat{x}x_1 + \hat{y}y_1) + x_1^2 + y_1^2 - d_1^2 = 0 \quad (1)$$

$$(\hat{x} - x_2)^2 + (\hat{y} - y_2)^2 = d_2^2 \Leftrightarrow \hat{x}^2 + \hat{y}^2 - 2(\hat{x}x_2 + \hat{y}y_2) + x_2^2 + y_2^2 - d_2^2 = 0 \quad (2)$$

$$(\hat{x} - x_3)^2 + (\hat{y} - y_3)^2 = d_3^2 \Leftrightarrow \hat{x}^2 + \hat{y}^2 - 2(\hat{x}x_3 + \hat{y}y_3) + x_3^2 + y_3^2 - d_3^2 = 0 \quad (3)$$

(\hat{x}, \hat{y}) : La position du nœud à localiser.

(x_i, y_i) : La position du $i^{\text{ème}}$ amer.

d_i : La distance entre le nœud à localiser et le $i^{\text{ème}}$ amer.

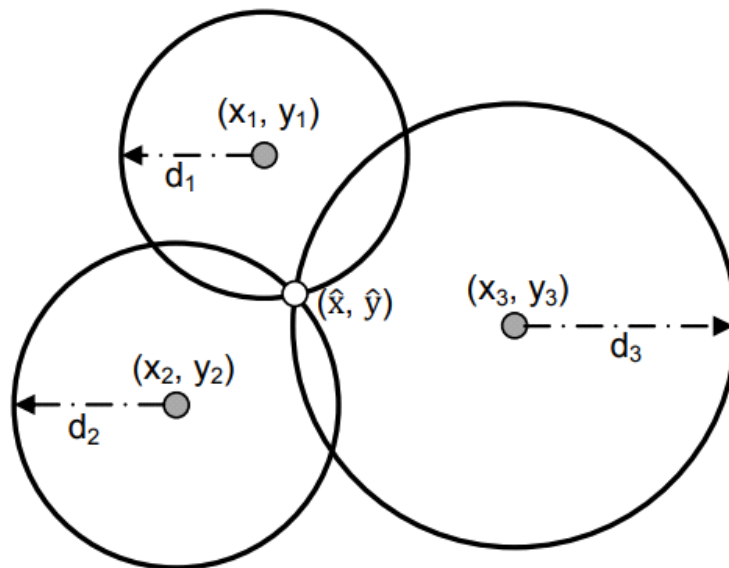


Figure II.11 : Principe de la trilatération.

En soustrayant l'équation (3) des deux premières équations, on obtient un système linéaire contenant deux équations et deux inconnues (x, y), susceptible de fournir une solution unique :

$$\hat{x}(x_3 - x_1) + \hat{y}(y_3 - y_1) = \frac{1}{2}(x_3^2 - x_1^2 + y_3^2 - y_1^2 + d_1^2 - d_3^2) \quad (4)$$

$$\hat{x}(x_3 - x_2) + \hat{y}(y_3 - y_2) = \frac{1}{2}(x_3^2 - x_2^2 + y_3^2 - y_2^2 + d_2^2 - d_3^2) \quad (5)$$

Dans les scénarios réels, les imprécisions liées aux mesures de distance ainsi qu'aux positions des références rendent la résolution des équations précédentes ardue, voire impossible. Une approche pour résoudre ce problème consiste à établir un système surdéterminé (c'est-à-dire un système avec plus d'équations que d'inconnues) en impliquant un nombre additionnel de références, ce processus est connu sous le nom de multilatération.

Le système peut être défini par le système d'équations (6) :

$$\left. \begin{aligned} (\hat{x} - x_1)^2 + (\hat{y} - y_1)^2 &= d_1^2 - \varepsilon \\ \vdots \\ (\hat{x} - x_n)^2 + (\hat{y} - y_n)^2 &= d_n^2 - \varepsilon \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Avec ε est une variable aléatoire Gaussienne avec moyenne égal zéro.

Pour rendre ce système linéaire, on peut soustraire la dernière équation des autres équations, allant de (1) à (n-1). Le système linéaire résultant est exprimé par l'équation (7).

:

$$\begin{bmatrix} (x_n - x_1) & (y_n - y_1) \\ \vdots & \vdots \\ (x_n - x_{n-1}) & (y_n - y_{n-1}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{x} \\ \hat{y} \end{bmatrix} \approx \frac{1}{2} \begin{bmatrix} x_n^2 - x_1^2 + y_n^2 - y_1^2 + d_1^2 - d_n^2 \\ \vdots \\ x_n^2 - x_{n-1}^2 + y_n^2 - y_{n-1}^2 + d_{n-1}^2 - d_n^2 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Ce système peut être résolu à l'aide d'une méthode conventionnelle telle que la minimisation de la somme des erreurs quadratiques (méthode de moindre carré), dont la solution optimale est obtenue en utilisant la formule (8) :

$$x = (A^T A)^{-1} (A^T b) \quad (8)$$

Où :

A^T Est la transposée de la matrice A.

M^{-1} Est la matrice inverse de la matrice M.

2. Triangulation :

La triangulation représente une approche trigonométrique visant à déterminer la position d'un point inconnu en se basant sur deux angles et une distance entre eux. Dans le contexte d'un réseau de capteurs, il est nécessaire de placer deux nœuds de référence sur une ligne de base

horizontale correspondant à l'axe des x , ainsi que deux autres nœuds sur une ligne de base verticale alignée avec l'axe des y . La mesure de la distance d_r entre les nœuds de référence présents sur une ligne de base est réalisée durant l'étape préparatoire et enregistrée en mémoire. Les deux angles α_1 et α_2 sont obtenus en mesurant l'écart entre la ligne de base et la ligne formée par le nœud de référence et le nœud cible, comme illustré dans la Figure [28].

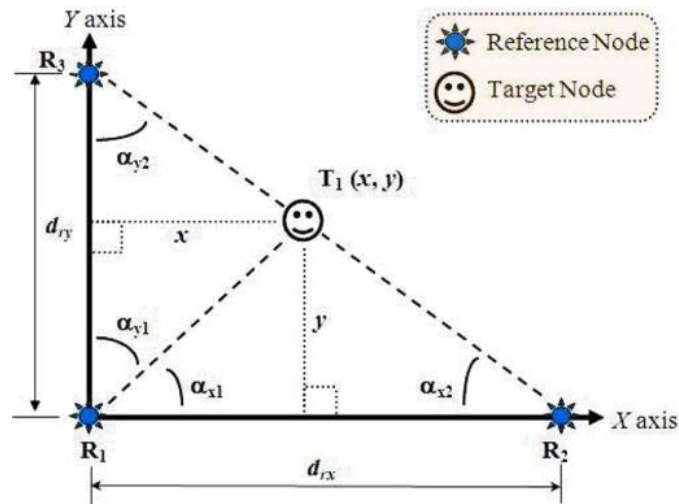


Figure II.12 : Estimation de triangulation.

3. Algorithme de localisation dans les réseaux de capteur

Au sein du système de localisation, l'algorithme de positionnement revêt une importance capitale. Il joue un rôle décisif dans la manière dont les données à disposition sont traitées, permettant ainsi à une proportion considérable des nœuds du réseau RSCF d'évaluer leurs positions.

3.1 Catégories des algorithmes de localisation dans les réseaux RCSF :

- **Méthodes centralisées** : Dans les approches centralisées, tous les nœuds établissent des communications avec leurs voisins et transmettent soit des données liées au signal, soit directement les mesures de distances à l'ordinateur central. Au besoin, l'ordinateur central est chargé d'estimer les distances en utilisant les informations relatives au signal, puis il procède à la localisation des nœuds [23].

- **Méthodes distribuées** : Dans les méthodes distribuées, chaque nœud communique avec ses voisins pour estimer les distances et partage les informations de voisinage. Par la suite, de manière distribuée, les positions de tous les nœuds dans le réseau sont déduites. En d'autres termes, à la conclusion du processus de localisation, chaque nœud doit être en mesure de déterminer sa propre position ainsi que celles de ses voisins, sans avoir recours à un ordinateur central pour effectuer les calculs. Dans le cas des réseaux étendus, l'adoption d'une méthode distribuée s'avère nécessaire, car

les méthodes centralisées entraîneraient une charge excessive de communication pour acheminer les informations vers une unité centrale, ce qui entraînerait une consommation d'énergie excessive [23].

3.2 Paramètres de performance d'un algorithme de localisation :

Plusieurs critères peuvent être employés pour évaluer les performances d'un algorithme de localisation :

- a. **Erreur moyenne et cohérence** : Cela permet de calculer la moyenne des erreurs et de déterminer si cette moyenne reste constante en changeant de scénario (ce qui est lié à la précision et à l'exactitude).
- b. **Coût de communication** : Il permet de mesurer la complexité de l'algorithme de localisation en termes du nombre de paquets échangés. Il détermine également l'impact financier de l'algorithme sur les nœuds du réseau.
- c. **Nombre de nœuds localisés (fixés)** : Cela définit le pourcentage de nœuds du réseau qui parviennent à déterminer leur position à la fin de l'algorithme de localisation. L'objectif idéal serait que tous les nœuds soient capables de calculer leur position, mais dans de nombreuses situations, cela peut s'avérer impossible.
- d. **Nombre de nœuds de balise (ancres)** : Il indique combien de nœuds de balise sont nécessaires pour le bon fonctionnement de l'algorithme de localisation. En général, les nœuds de balise sont plus coûteux que les nœuds classiques, ce qui incite à les utiliser de manière parcimonieuse.

3.3 Facteurs Impactant les Performances d'un Système de Localisation

Les performances d'un système de localisation sont influencées par plusieurs caractéristiques. Pour évaluer le comportement d'un système de localisation, il est crucial de mener diverses expérimentations et collecter des données statistiques, en particulier lorsque les paramètres suivants varient [22] :

- a) **Densité du réseau** : La densité du réseau se réfère au nombre de nœuds par unité de surface. Dans les réseaux à forte densité, les distances entre les nœuds sont courtes, ce qui peut entraîner des erreurs dans l'estimation des distances et, par conséquent, des erreurs dans le système de localisation. De plus, le grand nombre de nœuds non localisés peut améliorer leur capacité à estimer leurs positions.

- b) **Taille du réseau** : L'augmentation du nombre de nœuds (en maintenant la densité constante, ce qui équivaut à agrandir la surface du réseau) se traduit par un nombre accru de sauts. En général, une augmentation du nombre de sauts est associée à une augmentation de l'imprécision due à l'accumulation des erreurs.
- c) **Nombre de nœuds de balise (ancres)** : Lorsque plus de nœuds de balise sont déployés dans le réseau, l'erreur moyenne du système de localisation a tendance à diminuer, tandis que le nombre de nœuds installés tend à augmenter.
- d) **Précision GPS** : De nombreux travaux utilisent le GPS pour localiser les nœuds de balise (ancres). Cependant, il est important de noter que le système GPS n'est pas parfait, et sa précision aura un impact sur les performances du système de localisation.

4. Algorithmes DV-Hop :

L'algorithme DV-HOP appartient à la famille des méthodes "range-free" en matière de localisation. Contrairement aux méthodes qui calculent les distances entre les nœuds voisins, les méthodes range-free utilisent d'autres informations, comme la connectivité, pour déterminer les positions des nœuds. Elles sont particulièrement efficaces dans les réseaux denses et réguliers [13].

DV-Hop est un algorithme de localisation distribué développé par Dragos Niculescu et Badri Nath. Il se décompose en trois étapes pour estimer les positions des nœuds inconnus, comme décrit ci-dessous [30] :

- **Étape 1** : Initialement, toutes les ancres diffusent leurs emplacements aux autres nœuds du réseau. Les messages sont transmis de saut en saut, chaque message contenant un compteur de sauts. Chaque nœud conserve une table d'informations sur les ancres et compte le nombre minimum de sauts pour atteindre chaque ancre.
- **Étape 2** : Lorsqu'un nœud ancre reçoit un message d'un autre nœud ancre, il estime la distance moyenne en termes de sauts en utilisant les emplacements de deux ancres et le compteur de sauts, puis renvoie cette estimation au réseau sous forme de facteur de correction. Une ancre ayant des coordonnées (x_i, y_i) estime la distance moyenne (taille de saut I) à l'aide de l'équation suivante :

$$Hop_{Size} = \frac{\sum_{i \neq j} \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}}{\sum_{i \neq j} h_{ij}} \quad (1)$$

(x_i, y_i) , (x_j, y_j) les coordonnées de nœud i et le nœud j respectivement.

h_{ij} : le nombre minimum des sauts entre le nœud j et i .

Où les coordonnées de l'ancre j sont représentées par (x_j, y_j) , tandis que h_{ij} indique le nombre de sauts entre l'ancre i et l'ancre j . Une fois que tous les nœuds inconnus ont reçu les informations sur la taille de saut des nœuds ancre, ils sont en mesure de calculer leur distance (d_i) par rapport aux nœuds ancre. Cette opération se base sur la taille de saut i et h_{id} (le nombre minimum de sauts), en utilisant l'équation suivante :

$$d_i = h_{ij} \times \text{HopSize}_i \quad (2)$$

d_{ij} : La distance de nœud j vers le nœud i :

- **Étape 3** : La méthode de multilatération est employée pour déterminer la position du nœud inconnu en se basant sur les distances à chaque nœud ancre obtenues à l'étape 2. En prenant (x_i, y_i) comme les coordonnées de l'ancre i et l'emplacement du nœud inconnu comme $X(x, y)^T$ peut être calculé en utilisant la formule suivante :

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

$$(x_2 - x)^2 + (y_2 - y)^2 = d_2^2 \quad (3)$$

...

$$(x_n - x)^2 + (y_n - y)^2 = d_n^2$$

Éq. (3) peut s'écrire dans l'équation linéaire suivante :

$$AX = b \quad (4)$$

Où :

$$A = -2 \times \begin{bmatrix} x_1 - x_n & y_1 - y_n \\ x_2 - x_n & y_2 - y_n \\ \dots & \dots \\ x_{n-1} - x_n & y_{n-1} - y_n \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$b = \begin{bmatrix} x_1^2 - x_n^2 + y_1^2 - y_n^2 + d_n^2 - d_1^2 \\ x_2^2 - x_n^2 + y_2^2 - y_n^2 + d_n^2 - d_2^2 \\ \dots \\ x_{n-1}^2 - x_n^2 + y_{n-1}^2 - y_n^2 + d_n^2 - d_{n-1}^2 \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$X = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (7)$$

L'estimation des moindres carrés de X est :

$$X = (A^T A)^{-1} A^T B \quad (8)$$

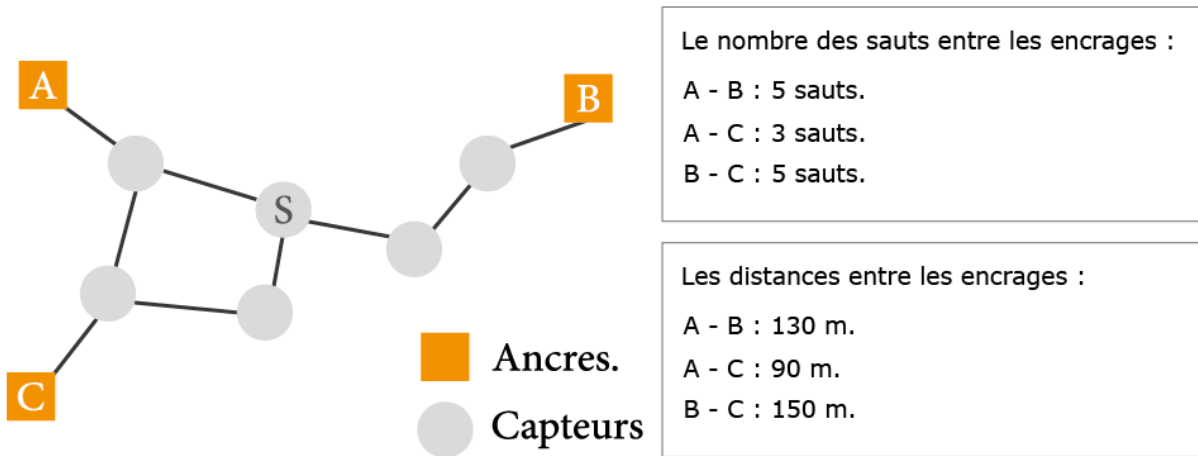


Figure II.13 : Exemple d’algorithme DV-Hop.

Tableau II.1: Les distances moyennes et l’estimation de distance en utilisant la méthode DV-Hop.

| | A | B | C |
|--|--------------------------|---------------------------|--------------------------|
| La distance moyenne d’un saut | $\frac{130 + 90}{5 + 3}$ | $\frac{130 + 150}{5 + 5}$ | $\frac{150 + 90}{5 + 3}$ |
| La distance à partir d’un nœud d’ancrage | $\frac{130 + 90}{5 + 3}$ | $\frac{130 + 150}{5 + 5}$ | $\frac{150 + 90}{5 + 3}$ |

Soit 130 la distance entre A et B ,90 la distance entre A et C ,150 la distance entre B et C. Soit 5 le nombre des sauts entre le A et B, 3 le nombre des sauts entre A et C, 5 le nombre des sauts entre B et C [22].

Chaque nœud capteur évalue la distance entre lui-même et les nœuds ancrés en utilisant la distance moyenne d’un saut et le nombre de sauts. Dans l’exemple illustré dans la figure 16, il y a trois nœuds ancre (A, B, C) et un nœud capteur S qui cherche à estimer sa propre distance par rapport aux ancrés. Parmi les ancrés, A est le plus proche du nœud capteur S. Pour cette estimation, la distance moyenne d’un saut à partir de A est utilisée comme référence.

5. Conclusions

Dans ce chapitre, nous avons effectué une revue de l'état de l'art des algorithmes de localisation dans les réseaux de capteurs sans fil. Nous avons également introduit différentes méthodes et techniques de positionnement pour estimer les distances, telles que TOA, TDOA, AOA, RSSI et Dv-hop.

Par la suite, nous allons examiner en détail les méthodes de calcul de la position, à savoir la trilatération, la triangulation et la méthode de multilatération. L'analyse approfondie de ces principaux algorithmes et approches de localisation nous a permis de concevoir une idée sur l'algorithme de localisation, que nous présenterons dans le chapitre suivant.



**Chapitre III : Algorithme
DV-Hop Optimisé**

1. Introduction :

Dans ce dernier chapitre, nous mettons en avant notre proposition axée sur l'application d'une méthode d'optimisation pour améliorer la localisation des nœuds au sein des réseaux de capteurs sans fil qui est l'Algorithme d'Optimisation par Essaim de Particules (PSO). Cette démarche vise à accroître la précision de la détection des emplacements des nœuds au sein des RCSFs.

2. Généralités sur PSO :

2.1 Intelligence d'essaim [31] :

- Le terme "essaim" est employé pour décrire le regroupement coordonné d'animaux ou d'insectes qui collaborent de manière intelligente et efficace pour accomplir leurs tâches quotidiennes.
- Ces collectifs peuvent prendre la forme d'un banc de poissons, de formations de vol d'oiseaux ou de sociétés d'insectes comme les fourmis et les abeilles.
- Les essaims se caractérisent par leur capacité à réaliser des activités suffisamment complexes pour être entreprises par un individu animal ou insecte, mais qui sont exécutées avec une grande harmonie au sein du groupe.
- L'algorithme PSO représente une méthode d'optimisation fondée sur la notion de population. Au sein du système PSO, plusieurs solutions potentielles coexistent et travaillent en collaboration en parallèle.
- Chaque solution, désignée sous le nom de "particule", évolue dans l'espace de recherche du problème avec pour objectif de trouver la position optimale où se stabiliser.
- À mesure que les générations progressent, chaque particule ajuste sa position en prenant en compte non seulement son propre historique, mais également l'expérience accumulée par les particules voisines.

2.2 Algorithme d'optimisation des essaims de particules :

La méthode d'optimisation par essaim de particules, comptant parmi les plus récentes avancées en matière d'optimisation évolutive, fut introduite en 1995 par Kennedy et Eberhart. L'algorithme PSO se distingue en tant qu'approche adaptative offrant la capacité de résoudre des problèmes d'optimisation. Cette approche repose sur l'utilisation d'une population de particules, où chaque particule est assimilée à un individu au sein de l'algorithme évolutionnaire. Un groupe initial, qu'on pourrait assimiler à un troupeau ou un essaim de particules, voit le jour de manière aléatoire. La position de chaque particule traduit alors un

Chapitre III : Algorithme DV-Hop Optimisé.

point potentiellement optimal au sein de l'espace problématique. Chacune de ces particules est dotée d'un vecteur de position X_i régulièrement actualisé, ainsi que d'un vecteur de vitesse V_i , dont les mises à jour les guident dans l'espace du problème. Kennedy et Eberhart ont énoncé la formule de mise à jour du vecteur de position X_i [32] :

$$X_{k+1}^i = X_k^i + V_{k+1}^i$$

Et la formule de mise à jour du vecteur de vitesse V_i :

$$V_{k+1}^i = W_k V_k^i + C_1 R_1 (P_k^i - X_k^i) + C_2 R_2 (P^g - X_k^i)$$

Où C_1 et C_2 des constantes positives, R_1 et R_2 représentent respectivement les nombres aléatoires uniformément distribués dans l'intervalle $[0,1]$, selon la fonction aléatoire de MATLAB. Les bornes des vitesses sont entre $[-V_{max}, V_{max}]$.

À chaque itération, la valeur de la fonction F^i est calculée à partir du vecteur de position X^i , ce qui permet d'évaluer la qualité de chaque particule. Le vecteur P^i correspond en permanence à la meilleure position de chaque particule, tandis que P^g représente la position optimale atteinte dans la population jusqu'à présent. Cette adaptation de la vitesse confère à la particule la capacité d'explorer son environnement proche, centré autour de sa propre position optimale P^i tout en mettant à jour la meilleure position globale P^g . Ce processus itératif vise à rechercher la meilleure position globale limitée par le nombre d'itérations [32].

3. Problématiques :

La problématique liée à la localisation par DV-Hop dans les réseaux de capteurs sans fil réside dans l'optimisation de cette méthode pour obtenir des estimations de localisation précises malgré les contraintes inhérentes aux réseaux de capteurs. DV-Hop, une approche de localisation basée sur les sauts, dépend de la mesure de distances entre les capteurs par le biais de sauts radio. Cependant, cette méthode peut être sujette à des erreurs d'estimation dues à des facteurs tels que l'hétérogénéité de l'environnement, la variabilité de la portée radio, les interférences et l'imprécision des mesures.

4. Algorithme utilisée :

L'algorithme que nous proposons est une fusion entre le DV-Hop et le PSO. Cette démarche vise à capitaliser sur la robustesse et la simplicité du DV-Hop, tout en incorporant l'agilité et la capacité d'optimisation du PSO pour améliorer la précision de la localisation. L'essence de cette hybridation réside dans l'utilisation du PSO pour affiner les paramètres

Chapitre III : Algorithme DV-Hop Optimisé.

initiaux du DV-Hop. Lors de chaque itération, les particules du PSO explorent l'espace des solutions possibles, guidées par les meilleurs paramètres locaux et globaux. L'algorithme hybride proposé offre une méthode de localisation améliorée, adaptée aux environnements dynamiques et aux contraintes de ressources des RCSF.

4.1 Etapes principales de fonctionnement :

Le PSO est un algorithme d'optimisation utilisée pour optimiser les paramètres initiaux du DV-Hop en se basant sur une fonction objective donnée. Dans notre cas, la fonction objective est l'erreur quadratique moyenne (MSE) des emplacements des nœuds. Voici les principales étapes de la combinaison de DV-Hop avec PSO pour l'optimisation des coordonnées des nœuds d'ancres :

1. Initialisation :

- Initialiser les nœuds capteurs et les nœuds d'ancres avec des coordonnées initiales.
- Initialiser PSO : créer des particules avec des positions et des vitesses aléatoires.

2. Estimation de la distance (DV-Hop) :

- Les nœuds mesurent les distances par rapport aux voisins et aux nœuds d'ancre.
- Calculer la distance moyenne par saut en utilisant les distances aux nœuds d'ancre et le nombre de sauts.

3. Calcul de la fonction de fitness :

Pour chaque particule dans le PSO :

- Estimer les positions des nœuds en utilisant DV-Hop avec les coordonnées des nœuds ancre.
- Calculer l'erreur quadratique moyenne (MSE) entre les positions estimées et réelles.
- Définir le fitness de la particule en fonction du MSE.

4. Mise à jour PSO :

- Mettre à jour les positions des particules en fonction des vitesses et du meilleur résultat local.
- Mettre à jour la meilleure position globale en fonction de la performance des particules.
- Ajuster les vitesses pour se déplacer vers de meilleures positions.

5. Mise à jour des coordonnées des nœuds ancres :

- Utiliser la meilleure position PSO comme coordonnées optimisées des nœuds d'ancrage.

6. Itération :

Chapitre III : Algorithme DV-Hop Optimisé.

- Répéter les étapes 2 à 5 pendant un certain nombre d'itérations.

7. Amélioration de la localisation :

- Recalculer les positions des nœuds en utilisant les estimations améliorées des nœuds ancrés.
- Affiner les positions des nœuds en utilisant le moindre carré.

8. Arrêt :

- S'arrêter après avoir atteint la précision désirée ou le nombre maximal d'itérations.

4.2 Organigramme :

Les étapes clés de l'intégration de DV-Hop avec le PSO sont synthétisées dans l'organigramme de la figure III.1.

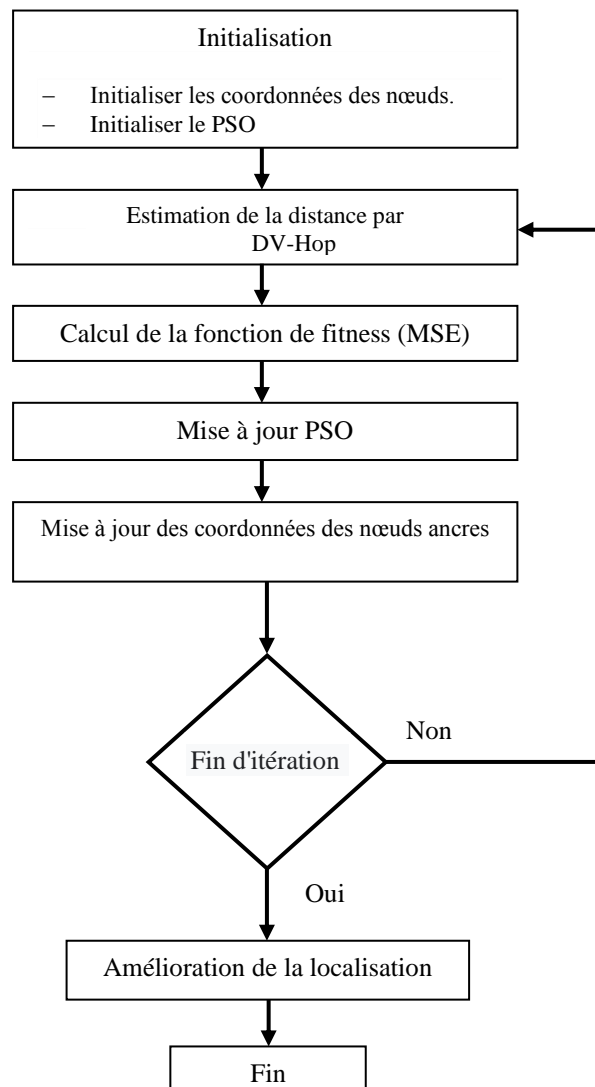


Figure III.1 : Organigramme de l'algorithme DV-Hop basé sur le PSO

N.B : Ces mêmes étapes sont appliquées aux deux autres paramètres à savoir le rayon de connectivité et le taux des nœuds ancrés.

5. Simulation :

5.1 Langage de programmation utilisé :

Notre choix pour l'environnement d'implémentation de notre application s'est porté sur MATLAB (MATrix LABoratory). MATLAB fonctionne comme un langage de calcul scientifique sophistiqué et un cadre interactif adapté au développement d'applications, à la visualisation et à l'analyse de données et à la réalisation de calculs numériques.

5.2 Scénario de simulation :

Afin de vérifier l'effet de localisation de l'algorithme d'optimisation PSO, l'algorithme de localisation DV-Hop traditionnel et l'algorithme DV-Hop amélioré basé sur PSO ont été simulés sur la plateforme expérimentale Matlab. Dans le même réseau environnement, les performances des deux algorithmes sont comparées en changeant le nombre de nœuds et ont optimisant le rayon de connectivité, le taux des nœuds ancrés et les coordonnées de ces dernières.

Pour la réalisation de notre simulation, nous avons déployé 100 capteurs de manière aléatoire en les répartissant sur une surface carrée de dimensions 100m x 100m. Chaque capteur possède une portée de communication de 50m, permettant ainsi les échanges d'informations avec d'autres nœuds capteurs à une distance maximale de 50m.

Dans notre configuration, nous avons défini 8 capteurs spécifiques en tant qu'"ancres". Les positions de ces capteurs ancrés sont préalablement connues et sont notées comme (x_i, y_i) pour chaque ancre, où i varie de 1 à 8. Ces capteurs ancrés servent de points de référence dans le réseau parmi les 100 capteurs déployés.

Pour mieux visualiser cette disposition, on se référer à la Figure III.2 qui illustre le réseau étudié, mettant en évidence les positions des capteurs, notamment celles des capteurs ancrés et leur relation avec le reste du réseau.

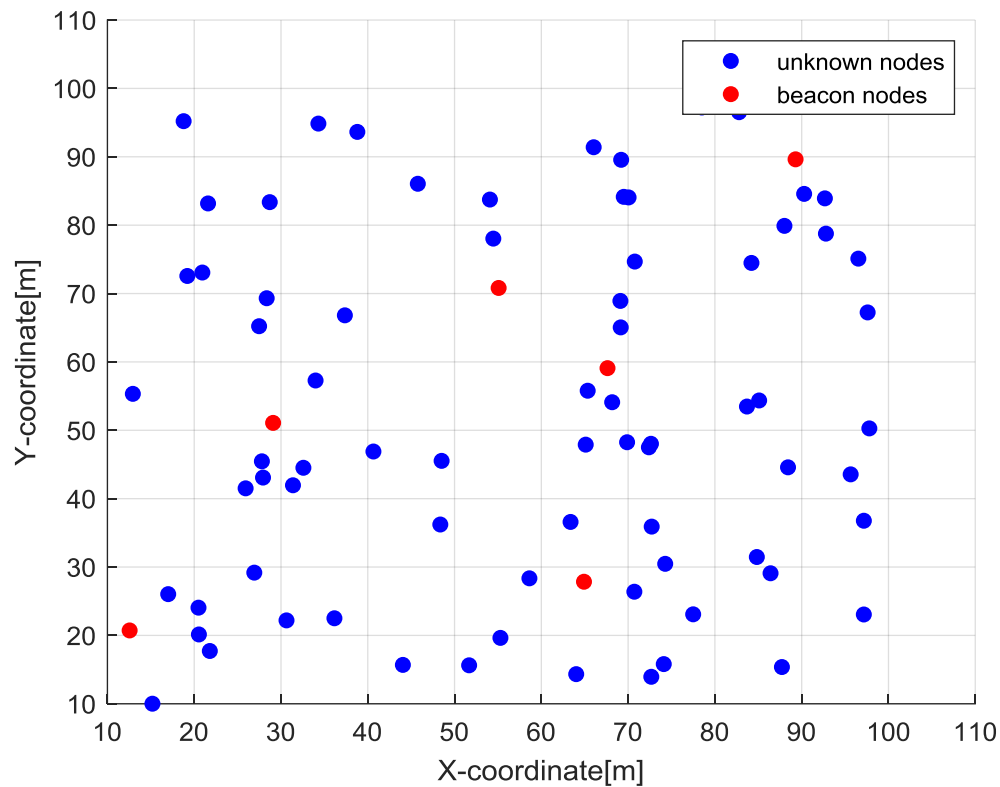


Figure III.2 : Réseau de capteurs a étudié

Le tableau ci-dessus présente les paramètres qui ont été utilisés pour l'évaluation :

Tableau III.1 : Les paramètres d'évaluation

| Paramètres | Valeurs |
|-----------------------|-----------|
| Zone de surveillance | 100mx100m |
| Nombre des nœuds | 100 |
| Nombre des ancrs | 8 |
| Rayon de connectivité | 50m |

5.3 Paramètre de performance :

L'erreur quadratique moyenne, également appelée MSE (Mean Squared Error), est une mesure courante de la précision d'un modèle ou d'une estimation par rapport à des valeurs réelles. Elle quantifie la moyenne des carrés des différences entre les valeurs réelles (position effective d'un nœud) et les valeurs prédites ou estimées (position estimée d'un nœud). Une

valeur d'erreur quadratique moyenne plus basse indique une meilleure adéquation entre les prédictions et les observations réelles.

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sqrt{(x' - x)^2 + (y' - y)^2} \quad (3.1)$$

Où :

(x', y') : Les positions réelles des nœuds inconnus.

(x, y) : Les positions estimées des nœuds inconnus.

N : Le nombre de nœuds inconnus.

5.4 Résultats de la simulation :

Pour évaluer l'effet des différents paramètres sur la précision de l'algorithme DV-hop-optimisé nous avons réalisé les simulations suivantes :

A. Optimisation du rayon de connectivité R :

Au cours de cette simulation, nous avons maintenu tous les paramètres du réseau constants conformément aux valeurs indiquées dans le tableau 3.1. Par la suite, nous avons mis en œuvre l'algorithme DV-hop optimisé par le PSO afin de chercher la valeur optimale du rayon de connectivité (R), visant ainsi à minimiser la fonction objective qui, dans notre cas, correspond à l'erreur quadratique moyenne. La valeur optimale du rayon de connectivité est **$R_{opt} = 26.8917$** .

Le tableau III.2 présente les résultats de la simulation de l'algorithme DV-hop avec $R=50$ et de la version optimisée de DV-hop ($R=R_{opt}$). Ceci est illustré pour un nombre de nœuds variant de 80 à 220.

Table III.2 : MSE en fonction du nombre de nœuds pour DV-Hop et DV-Hop optimal($R=R_{opt}$)

| Nombre de Nœud | 80 | 100 | 120 | 140 | 160 | 180 | 200 | 220 |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| MSE (DV-hop) [m] | 31.67 | 33.32 | 32.63 | 32.35 | 32.16 | 31.49 | 30.82 | 30.43 |
| MSE (DV-hop-opt) [m] | 27.75 | 25.93 | 25.17 | 25.13 | 25.52 | 28.65 | 29.13 | 29.24 |

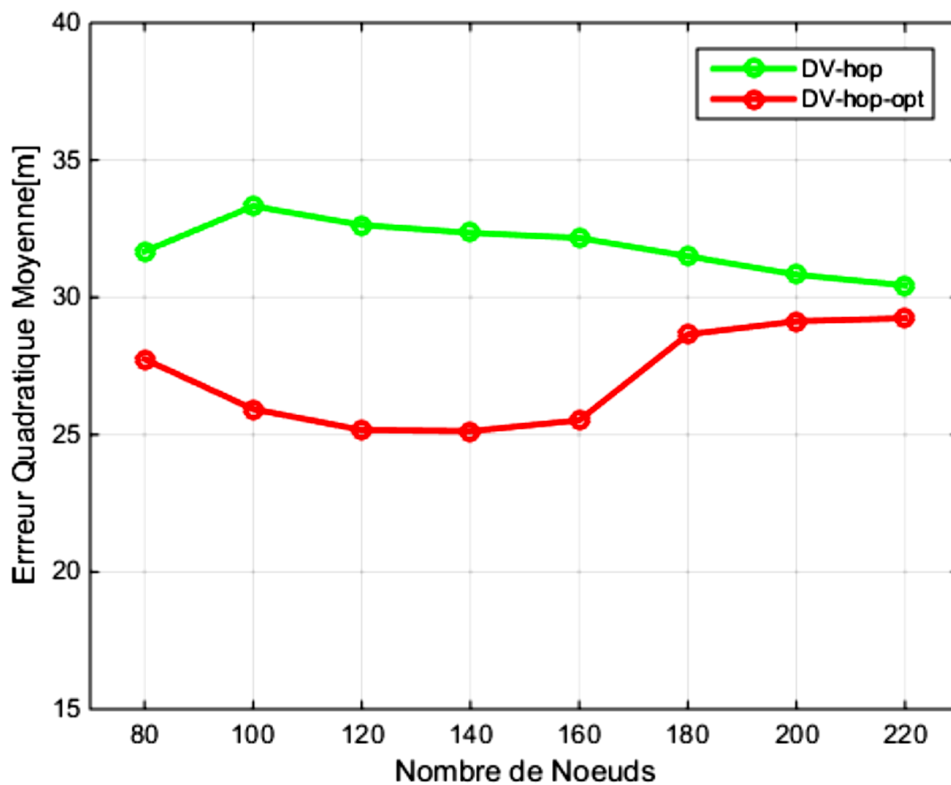


Figure III.3 : Variation du MSE en fonction du nombre de nœuds : DV-Hop et DV-Hop-opt (pour $R=R_{opt}$).

La Figure III.3 présente l'évolution du MSE en fonction du nombre de nœuds utilisés. On observe une réduction du MSE de localisation après l'optimisation de la distance du saut R grâce à l'application de l'algorithme DV-Hop PSO. Il est à noter que le MSE de localisation obtenue avec l'algorithme DV-Hop optimisé est plus favorable comparativement à celui obtenu avec la méthode DV-Hop classique. En effet, le MSE de localisation varie de 30.43 m à 33.32 m pour l'algorithme DV-Hop, tandis que pour le DV-Hop optimisé, cette variation s'étend de 25.13 m à 29.24 m.

En conclusion, l'algorithme DV-Hop optimisé offre une meilleure précision dans le calcul des positions par rapport à l'algorithme DV-Hop initial. Cette amélioration est obtenue grâce à l'intégration de l'approche d'optimisation PSO pour ajuster le rayon de connectivité. Le PSO a orienté l'algorithme DV-Hop vers la recherche d'un rayon de connectivité optimal, améliorant ainsi l'estimation des distances entre les nœuds.

B. Optimisation du Nombre de Nœuds Ancres Utilisés :

Chapitre III : Algorithme DV-Hop Optimisé.

Au cours de cette simulation, nous avons maintenu tous les paramètres du réseau constants, en accord avec les valeurs spécifiées dans le tableau III.1. Par la suite, nous avons mis en œuvre l'algorithme DV-hop optimisé par l'utilisation du PSO, dans le but de déterminer la valeur optimale du taux de nœuds ancre (TNA). Nous avons réussi à obtenir la valeur optimale suivante : **TNA_{opt} = 10,61 %**. Ainsi, pour un ensemble de 100 nœuds, le nombre approximatif de nœud ancres nécessaire serait de **11 Nœuds**.

Le tableau III.3 expose les résultats de la simulation comparative entre l'algorithme DV-hop avec **TNA=0,8** (8 nœuds ancres) et la version optimisée de DV-hop (avec **TNA=TNA_{opt}**). Cette comparaison est effectuée pour un nombre de nœuds variant de 80 à 220.

Table III.3 : MSE en fonction du nombre de nœuds pour DV-Hop et DV-Hop optimal (TNA=TNA_{opt})

| Nombre de Nœud | 80 | 100 | 120 | 140 | 160 | 180 | 200 | 220 |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| MSE (DV-hop) [m] | 31.67 | 33.32 | 32.63 | 32.35 | 32.16 | 31.49 | 30.82 | 30.43 |
| MSE (DV-hop-opt) [m] | 28.78 | 29.34 | 29.30 | 29.09 | 29.21 | 29.46 | 29.14 | 29.19 |

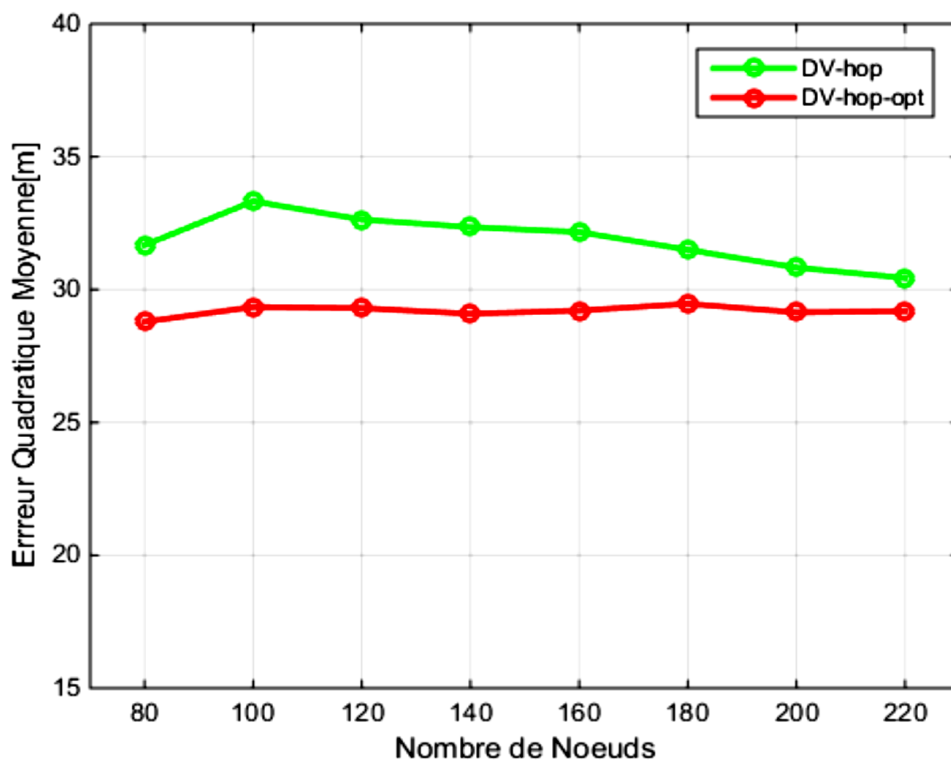


Figure III.4: Variation du MSE en fonction du nombre de nœuds : DV-Hop et DV-Hop-opt

Chapitre III : Algorithme DV-Hop Optimisé.

DV-Hop-opt (pour $TNA=TNA_{opt}$).

La Figure III.4 illustre la dynamique du MSE en relation avec le nombre de nœuds employés pour les deux algorithmes, à savoir DV-Hop et DV-Hop optimisé. On observe clairement que le MSE obtenu avec l'algorithme DV-Hop optimisé est inférieur à celui de la méthode DV-Hop. Plus précisément, le MSE de localisation pour l'algorithme DV-Hop optimisé fluctue entre 28.78 m et 29.46 m.

Les résultats issus de l'optimisation du taux de nœuds ancrés par le biais de l'algorithme PSO intégré à l'algorithme DV-Hop se révèlent prometteurs. Nous concluons, que l'optimisation du taux de nœuds ancrés a permis d'adapter de manière plus précise l'algorithme DV-Hop aux caractéristiques spécifiques du réseau, débouchant ainsi sur une estimation plus fine des distances entre les nœuds.

C. Optimisation de la position de Nœuds Ancres Utilisés :

Au cours de cette simulation, nous avons maintenu tous les paramètres du réseau constants, en accord avec les valeurs spécifiées dans le tableau III.1. Par la suite, nous avons mis en œuvre l'algorithme DV-hop optimisé par l'utilisation du PSO, dans le but de déterminer la valeur optimale des coordonnées de nœuds ancrés (08 coordonnées à optimiser). Nous avons réussi à obtenir les valeurs optimales de ces coordonnées qui sont données par le tableau III.4 :

Table III.3 : Coordonnées optimisées des nœuds ancrés

| | | | | | | | | |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| x | 52.43 | 39.75 | 75.42 | 38.33 | 38.40 | 51.56 | 60.88 | 51.62 |
| y | 42.31 | 42.35 | 02.72 | 35.71 | 43.61 | 35.96 | 31.68 | 41.31 |

Pour une visualisation plus claire de cette nouvelle disposition des nœuds ancrés, on se réfère à la Figure III.5. Cette illustration présente le réseau étudié, avec les positions des nœuds inconnus, les anciennes positions des nœuds ancrés, ainsi que les nouvelles positions de ces nœuds ancrés après l'optimisation effectuée par le PSO.

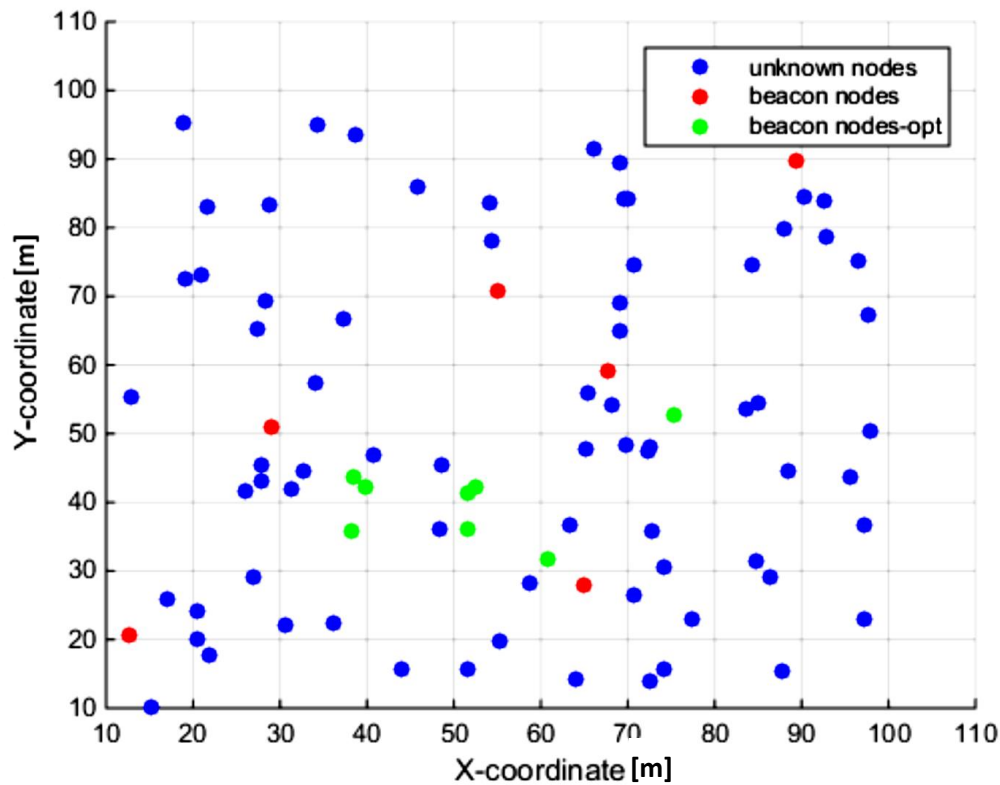


Figure III.5 : Réseau de capteurs étudiés avec les coordonnées des nœuds ancres optimisées

Avec ces coordonnées optimisées, nous anticipons une amélioration significative des performances du réseau. Le tableau III.4 expose les résultats de la simulation comparative entre l'algorithme DV-hop avec les coordonnées initiales et la version optimisée de DV-hop avec les coordonnées obtenues. Cette comparaison est effectuée pour un nombre de nœuds variant de 80 à 220.

Table III.4 : MSE en fonction du nombre de nœuds pour DV-Hop et DV-Hop optimal (Coordonnées optimisées)

| Nombre de Nœud | 80 | 100 | 120 | 140 | 160 | 180 | 200 | 220 |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| MSE (DV-hop) [m] | 31.67 | 33.32 | 32.63 | 32.35 | 32.16 | 31.49 | 30.82 | 30.43 |
| MSE (DV-hop-opt) [m] | 22.88 | 21.50 | 22.39 | 21.58 | 21.67 | 22.41 | 22.55 | 22.61 |

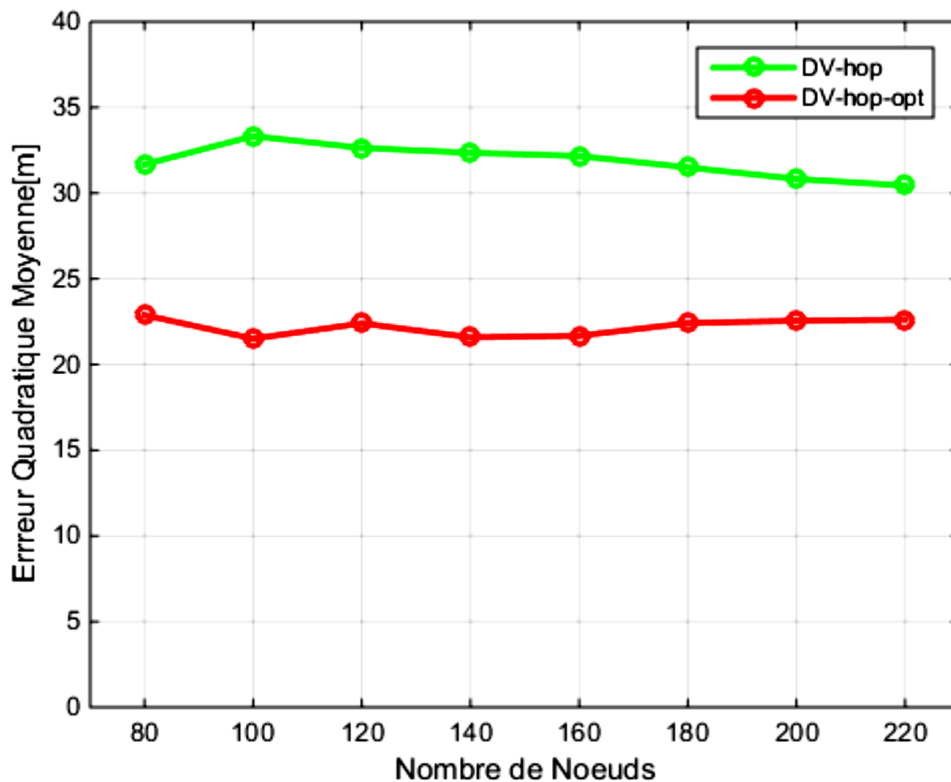


Figure III.6: Variation du MSE en fonction du nombre de nœuds : DV-Hop et DV-Hop-opt (Pour **Coordonnées optimisées**).

La Figure III.6 présente le MSE en corrélation avec le nombre de nœuds mobilisés pour les deux procédés, à savoir le DV-Hop classique et le DV-Hop optimisé grâce à l'algorithme PSO, lequel s'appuie sur les coordonnées des nœuds ancrés. Le MSE obtenu avec l'algorithme DV-Hop optimisé se révèle plus modeste que celui engendré par la méthode DV-Hop traditionnelle. Plus précisément, le MSE de localisation pour le DV-Hop optimisé varie dans l'intervalle de 21.50m à 22.61m.

En conclusion, l'optimisation du DV-Hop par PSO en prenant en compte les coordonnées des nœuds ancrés a favorisé une adaptation plus précise aux spécificités du RCSF, et ceci s'est reflété dans une estimation plus aiguë des distances entre les nœuds. Ces résultats démontrent l'importance de l'optimisation des coordonnées des nœuds ancrés dans le processus de mise en œuvre de l'algorithme DV-hop.

D. Comparaison des résultats de simulation :

La figure III.7 présente le MSE du DV-Hop et le MSE du DV-Hop optimisé par les trois approches, à savoir l'optimisation du taux de nœuds ancres, l'optimisation du rayon de connectivité et l'optimisation des coordonnées des nœuds ancres.

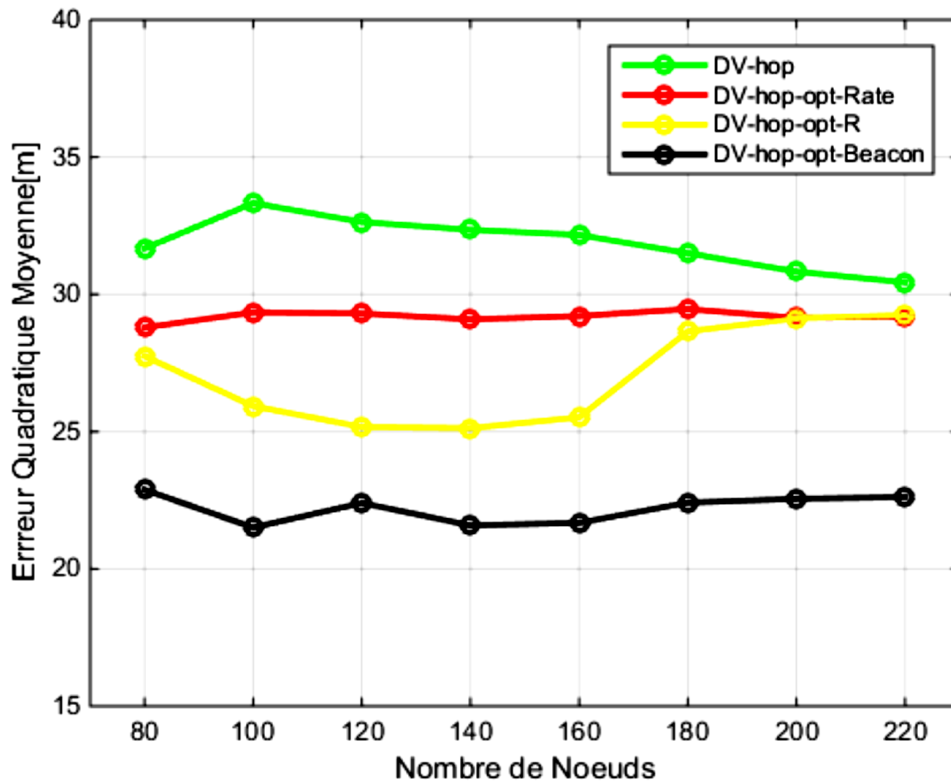


Figure III.7 : Comparaison des MSE du DV-Hop et DV-Hop optimisés

En analysant les performances, nous constatons que l'optimisation des coordonnées des nœuds ancres se démarque en tant que méthode la plus efficace pour réduire le MSE. Les ajustements subtils apportés aux coordonnées ont permis d'obtenir une précision améliorée dans la localisation des nœuds, se traduisant par des valeurs de MSE particulièrement faibles.

La deuxième approche, basée sur l'optimisation du rayon de connectivité, se positionne en deuxième position en termes de résultats. Bien que légèrement moins performante que l'optimisation des coordonnées des nœuds ancres, elle démontre tout de même une réduction significative du MSE, mettant en évidence son impact positif sur la précision de la localisation.

Enfin, l'optimisation du taux de nœuds ancres s'avère être la méthode la moins performante en comparaison avec les deux précédentes. Bien que les améliorations soient claires, les résultats obtenus en termes de réduction du MSE sont relativement moins prononcés.

6. Conclusion :

Ce chapitre a été dédié à une simulation visant à évaluer la précision comparée entre l'algorithme DV-Hop optimisé par l'algorithme PSO et l'algorithme DV-Hop classique. Les paramètres clés étudiés incluaient le taux de nœuds ancrés, la valeur du rayon de connectivité et les coordonnées des nœuds ancrés. Les résultats de la simulation ont démontré de manière convaincante que l'approche d'optimisation intégrant le PSO a surpassé l'algorithme DV-Hop conventionnel en termes de performance. Cette amélioration des performances est le fruit de la mise en œuvre de valeurs optimales dans le calcul de la position des nœuds.



Conclusion Générale

Conclusion Générale

Dans ce mémoire, nous avons exploré en profondeur le domaine des Réseaux de Capteurs Sans Fil (RCSFs) et de la localisation au sein de ces réseaux. Dans le premier chapitre, nous avons jeté les bases en présentant une vue d'ensemble des RCSFs, en mettant en évidence leurs concepts fondamentaux, leurs applications diverses et leur architecture. Nous avons ainsi posé les fondations nécessaires pour comprendre l'importance de la localisation dans ce contexte.

Le deuxième chapitre nous a permis d'approfondir notre compréhension en réalisant une revue exhaustive de l'état de l'art des algorithmes de localisation dans les RCSFs. Nous avons introduit diverses techniques de positionnement, telles que TOA, TDOA, AOA, RSSI et Dv-hop, ainsi que des méthodes de calcul de la position telles que la trilatération, la triangulation et la multilatération. Cette exploration nous a permis de préparer le terrain pour la simulation d'un algorithme de localisation dans les réseaux RCSF.

Dans le troisième chapitre, nous avons présenté en détail notre approche d'optimisation de l'algorithme DV-Hop à l'aide de la technique PSO. Une simulation minutieuse a été réalisée pour évaluer la précision comparée entre l'algorithme DV-Hop classique et notre approche optimisée. Les résultats ont clairement démontré que notre méthode intégrant PSO surpassait de manière convaincante l'algorithme DV-Hop conventionnel en termes de performance de localisation. Cette amélioration significative résulte de la mise en œuvre de valeurs optimales dans le calcul de la position des nœuds.

En conclusion, ce mémoire de master a permis de franchir des étapes essentielles dans la compréhension des RCSFs et de la localisation au sein de ces réseaux. L'hybridation du DV-Hop avec les techniques d'optimisation représente une avancée prometteuse dans le domaine de la localisation sans fil. Cependant, de nouveaux défis et opportunités demeurent, ouvrant ainsi la voie à des recherches futures visant à perfectionner encore davantage la précision et l'efficacité de la localisation dans les RCSFs.

Bibliographe :

- [1] : Mesmoudi, A., Feham, M., & Labraoui, N. (2013). Wireless sensor networks localization algorithms: a comprehensive survey. *arXiv preprint arXiv:1312.4082*.
- [2]: N. Labraoui, M. Gueroui & M. Aliouat, (2012) “Secure DV-hop Localization scheme against wormhole attacks in wireless sensor networks”, *Transactions on Emerging Telecommunication Technologies*, vol.23, No.4, pp 303–316.
- [3]: Meng, X., Liu, Y., Gao, X., & Zhang, H. (2014). A new bio-inspired algorithm: chicken swarm optimization. In *Advances in Swarm Intelligence: 5th International Conference, ICSI 2014, Hefei, China, October 17-20, 2014, Proceedings, Part I 5* (pp. 86-94). Springer International Publishing.
- [4]: Akyildiz, I. F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y., & Cayirci, E. (2002). A survey on sensor networks. *IEEE Communications magazine*, 40(8), 102-114.
- [5] : Brissaud, F., Charpentier, D., Barros, A., & Bérenguer, C. (2008, October). Capteurs intelligents : Nouvelles technologies et nouvelles problématiques pour la sûreté de fonctionnement. In *Maîtrise des Risques et de Sûreté de Fonctionnement, Lambda-Mu 16* (pp. 3A-2). Institut pour la Maîtrise des Risques.
- [6] : Tan, Y. K., & Merrett, G. (Eds.). (2010). *Wireless sensor networks: Application-centric design*.
- [7] : Kechar, B. (2010). *Problématique de la consommation d'énergie dans les réseaux de capteurs sans fil* (Doctoral dissertation, Université d'Oran1-Ahmed Ben Bella).
- [8]: Karl, H., & Willig, A. (2007). *Protocols and architectures for wireless sensor networks*. John Wiley & Sons.
- [9] : Maarouf, S., & Ouadah, S. (2014). Implémentation et évaluation des schémas de routage sur une plateforme réelle de réseaux de capteurs sans fil. *Mémoire de Master, Université de Tlemcen*.
- [10] : <https://www.omega.ca/fr/resources/senseurs-sans-fil> (Consulté février 2023).
- [11] : <https://www.les-electroniciens.com/sites/default/files/cours/capteurs.pdf>(Consulté février2023).

- [12] : MIR, F. *Le routage à basse consommation d'énergie dans les réseaux de capteurs sans fil* (Doctoral dissertation, Université de Béjaia-Abderrahmane Mira).
- [13] : Bouchakour, K. (2012). Routage hiérarchique sur les réseaux de capteurs sans fil: Protocole KhLCH (K-hop Layered Clustering Hierarchy). *MEMOIRE Présent pour l'obtention d'un diplôme de MAGISTER EN INFORMATIQUE*, 2-5.
- [14] : Younes, Y. (2012). Minimisation d'énergie dans un réseau de capteurs. *Mémoire de Master, Département d'informatique, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou*.
- [15] : Akyidiz, F., & Su, Y. S. W. (2002). andE. Cayirci," A survey on sensor networks. *IEEE Commun, August*.
- [16] : Sentilles, S. (2006). Architecture logicielle pour capteurs sans-fil en réseau Rapport de recherche. *Université de Pau et des Pays de l'Adour*.
- [17] : Bechkit, W. (2009). Un nouveau protocole de routage avec conservation d'énergie dans les réseaux de capteurs sans fil. *Mémoire d'ingénieur, Ecole nationale Supérieure d'Informatique ESI*.
- [18] : Khelladi, L., & Badache, N. (2004). Les réseaux de capteurs : état de l'art. *Rapport de recherche, Algérie*.
- [19] : Sadia, I., & Sarah, O. (2013). *Élaboration d'un protocole de routage efficace en énergie pour les réseaux de capteurs sans fil* (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
- [20]: Dong, Q., & Xu, X. (2014). A Novel Weighted Centroid Localization Algorithm Based on RSSI for an Outdoor Environment. *J. Commun.*, 9(3), 279-285.
- [21] : CHETOUAH, K., BADDYOU, S., & RABHI, S. (2019). *Application de l'essaim de poulet pour la localisation dans les RCSFs* (Doctoral dissertation, Université Ahmed Draïa-Adrar).
- [22] : BENABDERRAHMANE, A., & HANTAOU, A. (2020). *Réseaux de capteurs sans fil : Problèmes de localisation* (Doctoral dissertation, université Ahmed Draïa-ADRAR).
- [23] : Sahraoui, B. (2011). *La Géo-localisation dans les Réseaux de Capteurs sans Fil* (Doctoral dissertation).

- [24] : Kara, M. (2009). *Réseau de capteurs sans fil : étude en vue de la réalisation d'un récepteur GPS différentiel à faible coût* (Doctoral dissertation, Université Blaise Pascal-Clermont-Ferrand II).
- [25]: Nagpal, R., Shrobe, H., & Bachrach, J. (2003, April). Organizing a global coordinate system from local information on an ad hoc sensor network. In *Information processing in sensor networks* (pp. 333-348). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- [26] : BOUKHARI, N. (2016). *Auto-localisation dans les réseaux de capteurs sans fil* (Diplôme de master, FACULTE DES MATHEMATIQUES ET DE L'INFORMATIQUE-UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA).
- [27]: Alrajeh, N. A., Bashir, M., & Shams, B. (2013). Localization techniques in wireless sensor networks. *International journal of distributed sensor networks*, 9(6), 304628.
- [28]: SAIDI Madani, A., & BENGHERBIA, B. (2013). La Localisation dans les Réseaux de Capteurs Sans Fil : Cas d'un Milieu Fermé.
- [29] : Ramadurai, V., & Sichertiu, M. L. (2003, June). Localization in Wireless Sensor Networks: A Probabilistic Approach. In *International conference on wireless networks* (pp. 275-281).
- [30]: Rabhi, S., Semcheddine, F. (2019). Localization in wireless sensor networks using DV-hop algorithm and fruit fly meta-heuristic. *Advances in Modelling and Analysis B*, Vol. 62, No. 1, pp. 18-23.
- [31] : https://www.slideshare.net/hanya_fci/particle-swarm-optimization-33953095(consulté le 20/08/23).
- [32]: Zhang, L., Chen, Y., Sun, R., Jing, S., & Yang, B. (2008). A task scheduling algorithm based on PSO for grid computing. *International Journal of Computational Intelligence Research*, 4(1), 37-43.

ملخص

في أطروحة الماجستير هذه ، درسنا بعمق التحديات المتعلقة بتحسين دقة الموقع في شبكات الاستشعار اللاسلكية. ركزت مساهمتنا الرئيسية على إدخال اقتراح تحديد الموقع محسن للقفز الرقمي لعقد المستشعر ، والذي يدمج قوة تحسين سرب الجسيمات (PSO). بعد ذلك ، أجرينا تقييماً دقيقاً للأداء من خلال مقارنة هذا الإطار الجديد بالنهج التقليدي.

تم إجراء تقييمنا بشكل منهجي ، من خلال معالجة المعلمات الرئيسية مثل عدد العقد ، وتحسين نصف قطر الاتصال ، وتعديلات نسب العقدة السابقة ، والتنقيح الدقيق لإحداثيات العقدة. تظهر النتائج التي تم الحصول عليها من عمليات المحاكاة الكاملة لدينا بشكل مقنع أن استراتيجية التحسين التي تدمج نظام دعم البرامج تفوق بشكل كبير خوارزمية DV-HOP التقليدية من حيث أداء تحديد الموقع.

الكلمات الدالة: شبكات الاستشعار اللاسلكية، العقد الاستشعار، إطار تحديد الموقع DV-HOP، الجسيمات سرب الأمثل (PSO)، تحديد الموقع....

Résumé

Dans ce mémoire de master, nous avons examiné en profondeur les défis liés à l'amélioration de la précision de la localisation dans les réseaux de capteurs sans fil. Notre principale contribution a porté sur l'introduction d'une proposition de localisation DV-Hop améliorée pour les nœuds capteurs, qui intègre la puissance de l'Optimisation par Essaim Particulaire (PSO). Par la suite, nous avons effectué une évaluation rigoureuse des performances en comparant ce nouveau cadre à l'approche traditionnelle.

Notre évaluation a été réalisée de manière systématique, en manipulant des paramètres clés tels que le nombre de nœuds, l'optimisation du rayon de connectivité, les ajustements des ratios de nœuds d'encre et l'affinement précis des coordonnées des nœuds. Les résultats obtenus à partir de nos simulations complètes démontrent de manière convaincante que la stratégie d'optimisation intégrant la PSO surpasse significativement l'algorithme DV-Hop conventionnel en termes de performances de localisation.

Mots clés : Réseaux de capteurs sans fil, nœuds de capteurs, cadre de localisation DV-Hop, optimisation par essaim de particules (PSO), localisation, ...

Abstract

In this Master memory, we thoroughly explored the difficulties related to improving localization accuracy in wireless sensor networks. Our primary contribution centered on the introduction of an enhanced DV-Hop localization framework for sensor nodes, which integrates the power of Particle Swarm Optimization (PSO). Subsequently, we conducted a rigorous performance evaluation by comparing this novel framework with the traditional approach.

Our assessment was conducted systematically, involving the manipulation of key parameters such as the number of nodes, optimization of connectivity radius, adjustments to anchor node ratios, and precise fine-tuning of node coordinates. The results obtained from our comprehensive simulations compellingly demonstrate that the optimization strategy incorporating PSO significantly outperforms the conventional DV-Hop algorithm in terms of localization performance.

Key words: Wireless sensor networks, sensor nodes, DV-Hop localization framework, particle swarm optimization (PSO), localization, ...