

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ-BOUIRA



Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées
Département Informatique

Mémoire de fin d'étude

Présenté par :

HAMID Mouna

ROUAM Rania

En vue de l'obtention du diplôme de **Master 02** en :

Filière : INFORMATIQUE

Option : Génie système informatique

Thème :

Optimisation de déploiement et de localisation de cible dans les réseaux de capteurs sans fil

Devant le jury composé de:

MAHFOUD Zouhra	Dr.	UAMOB	Président
AMAD Mourad	Pr.	UAMOB	Encadreur
DEMMOUCHE Mouloud	Dr.	UAMOB	Examineur
BOUCHAREB	Dr.	UAMOB	Examineur

Année Universitaire 2018/2019

Remerciements

Tout travail de recherche n'est jamais totalement l'oeuvre d'une seule personne. Á cet effet, nous tenons à exprimer notre sincère reconnaissance et nos vifs remerciements à tous ce qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail en l'occurrence nos familles qui n'ont jamais cessé de nous encourager. Merci à Dieu de nous avoir donné la force et le courage de tenir jusqu'à la fin de ce travail.

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

Nous tenons à remercier vivement Mr AMAD Mourad, pour nous avoir honoré par son encadrement, pour sa disponibilité, ses orientations, ses précieux conseils et ses encouragements qui nous ont permis de mener à bien ce travail.

Nous tenons à exprimer notre gratitude aux membres de jury pour avoir accepté d'examiner et de porter leur jugement sur ce modeste travail.

Nous n'omettrons jamais d'exprimer toute notre gratitude à tous les membres du département d'informatique de l'université de Bouira, que ce soit enseignants ou cadres administratifs, qui de près ou de loin n'ont épargné aucun effort pour que notre formation et nos travaux se termine dans de bonnes conditions.

Nous adressons également nos sincères remerciements à nos famille : parents, frères, sœurs de nous avoir aidé à surmonter tous les obstacles et é nous forger à travers les difficultés vécues durant toute cette période de travail et qui nous ont toujours supportées moralement et financièrement pendant toutes nos longues années d'étude. Nous n'oublieront pas aussi nos proches amis qui nous ont vivement soutenues et encouragées au cours de la réalisation de ce mémoire et nos remerciements à toutes les personnes qui ont contribué, de près comme de loin, à la réalisation de ce modeste travail.

Dédicaces

Aux deux êtres qui me sont les plus chers que tout le reste dans ce monde et qui ont sacrifié pour assurer ma réussite dans mes études, ma douce et précieuse mère et mon très cher père,

À notre chères sœurs et chers frères, pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral,

À toute notre familles, pour leur soutien tout au long de notre parcours universitaire,

À mes amis (es) et collègues, et tous ceux qui m'ont aidé durant le parcours de mes études.

Rania et Mouna

Table des matières

Table des matières	i
Table des figures	iv
Liste des tableaux	vi
Liste des abréviations	vii
Introduction générale	1
1 Généralités sur les réseaux de capteur sans fil	3
1.1 Introduction	3
1.2 Réseau sans fil	4
1.2.1 Définition	4
1.2.2 Capteur sans fil	4
1.2.3 Types des capteurs sans fil	6
1.2.4 Caractéristiques de capteur	8
1.3 Réseau de capteur sans fil	8
1.3.1 Définition	8
1.3.2 Architecture d'un réseau de capteur sans fil	8
1.3.3 Contraintes liées aux réseaux de capteurs	9
1.3.4 Domaines d'application	10
1.4 Conclusion	10
2 Techniques de déploiement et de localisation dans les RCSFs	12

2.1	Introduction	12
2.2	Déploiement	12
2.2.1	Les phases de déploiement	13
2.2.2	Les méthodes de déploiement	13
2.2.3	Couverture	15
2.2.4	Connectivité	16
2.2.5	Communication	17
2.2.6	Durée de vie	19
2.2.7	Stratégies de déploiement des nœuds dans les RCSF	19
2.3	Localisation dans les réseaux de capteurs sans fil	26
2.3.1	Critères de localisation	26
2.3.2	Principaux systèmes de localisation	27
2.3.3	Processus de localisation	28
2.4	Conclusion	33
3	Routage dans les réseaux de capteurs sans fil	34
3.1	Introduction	34
3.2	Collection de l'information	35
3.2.1	Collection a la demande	35
3.2.2	Collection suite à un événement	35
3.3	Classification des protocoles de routage dans les réseaux de capteurs	36
3.3.1	Classification selon la structure du réseau	36
3.3.2	Classification selon le fonctionnement des protocoles	39
3.3.3	Classification selon l'établissement de la route	41
3.3.4	Classification selon l'initiateur de communication	42
3.4	Conclusion	43
4	Nouvelle solution pour le déploiement et la localisation dans les RCSFs	44
4.1	Introduction	44
4.2	Problématique	44
4.3	Stratégie proposée	46
4.4	Algorithme proposé	47
4.5	Conclusion	49

5	Évaluation des performances	50
5.1	Introduction	50
5.2	Outil de simulation	50
5.3	Simulation de notre proposition pour le déploiement	50
5.3.1	Scénario de simulation	50
5.3.2	Résultats du test	51
5.4	Simulation de notre proposition pour la localisation	53
5.4.1	Scénario de simulation	53
5.4.2	Paramètre de performance	54
5.4.3	Résultats du test	54
5.5	Conclusion	59
	Conclusion générale	60
	Bibliographie	62

Table des figures

1.1	Capteur sans fil	4
1.2	Architecture d'un capteur sans fil.	5
1.3	Transmetteur.	6
1.4	Récepteurs.	7
1.5	Régulateurs.	7
1.6	Enregistreurs de données.	7
1.7	Émetteurs-récepteurs.	8
1.8	Architecture d'un réseau de capteur sans fil.	9
2.1	Exemple d'un déploiement aléatoire dans une usine.	14
2.2	La couverture dans une zone.	15
2.3	La transmission de l'information avec l'envoi par routage multi-sauts. . . .	18
2.4	Taxonomie des stratégies de déploiement de nœuds utilisé	20
2.5	Stratégie de placement des nœuds capteurs sur une grille triangulaire. . . .	21
2.6	Topologie en bande.	22
2.7	Topologie carrée.	22
2.8	Topologie en hexagonale	22
2.9	Architecture multicouches composée de cellule en hexagone régulier.	23
2.10	Déploiement de nœud	24
2.11	Principaux système de localisation.	28
2.12	Processus de localisation.	29
2.13	Graphe représentant le principe de l'algorithme centroïde.	31
2.14	Graphe représentant la Triangulation.	32

2.15	Graphe représentant la Trilatération.	32
3.1	Collection des informations a la demande.	35
3.2	Collection des informations suite un événement	35
3.3	Problème d'implosion	37
3.4	Problème d'overlap.	37
3.5	Protocole de routage LEACH.	39
4.1	Topologie hexagonal proposé.	47
5.1	Distribution des nœuds (déploiement déterministe).	51
5.2	Variation des nœuds opérationnels en fonction du nombre de transmission.	51
5.3	Variation du nombre des nœuds opérationnels en fonction du nombre de tour.	52
5.4	Variation du nombre des nœuds opérationnels en fonction du nombre de tour.	52
5.5	Réseau à étudié.	53
5.6	Variation de l'erreur moyenne en fonction du nombre de nœuds ancrés.	55
5.7	Variation de l'erreur moyenne en fonction du nombre total de nœuds.	56
5.8	Variation de l'erreur moyenne en fonction du nombre total de nœuds.	57
5.9	Variation de l'erreur moyenne en fonction du rayon de communication.	58

Liste des tableaux

- 1.1 Principales systèmes d'exploitation pour les RCSFs 6

- 5.1 Taux d'erreur moyenne en fonction du nombre de nœuds ancrés. 55
- 5.2 Taux d'erreur moyenne en fonction du nombre totale de nœuds utilisés. . . 56
- 5.3 Taux d'erreur moyenne en fonction du nombre totale de nœuds utilisés. . . 57
- 5.4 Taux d'erreur moyenne en fonction du rayon de communication utilisés. . . 58

Liste des abréviations

ABC	A ssumption B ased C oordinate
ADC	A nalog/ D igital C onverter
AoA	A nge O f A rriva
CH	C luser - H ead
CR	C omminication R ange
DD	D irected D iffusion
DV-Hop	D istance V ector- H op
GPS	G lobal P ositioning S ystem
IRNSS	I ndian R egional N avigational S atellite S ystem
LEACH	L ow-energy A daptive C lustering H ierarchy
MEMS	M icro- E lectro M écanique S
MFR	M ost F orward W ithin R adius
NC	N œud C ollecteur
NS	N œud S enseur
OS	O perating S ystem
PEGSIS	P ower- E fficient G athering in S ensor I nformation S ystems
QoS	Q uality O f S ervice
RCSF	R éseau de C apteur S ans F il
RC	R ayon de C ommunication
RCSF	R éseau de C apteur S ans F il
RD	R ayon de D étection
RSSI	R eceived S ignal S trenght I ndication

SB	S tation de B ase
SE	S ystème d' E xploitation
SPIN	S ensor P rotocols for I nformation via N egotiation
SR	S ensor R ange
TDoA	T ime D ifference o f A rrival
TTL	T ime T o L ive
WSN	W ireless S ensor N etwork

Introduction générale

Ces dernières années, le développement des réseaux sans fil a continué de gagner en popularité dans les communautés scientifique et industrielle. En raison des progrès récents dans les domaines des technologies de communication sans fil, cette technologie est devenue un acteur clé dans les architectures de réseau actuelles, grâce à ses avantages diversifiés. Ces architectures comprennent des réseaux de capteurs sans fil (*RCSF*) ou en anglais Wireless Sensor Network (*WSN*). C'est un ensemble de nœuds de capteurs qui communiquent entre eux via des liaisons sans fil et qui sont déployés pour couvrir une zone d'intérêt. Ces entités peuvent fonctionner de manière autonome afin de collecter, traiter et envoyer les données relatives à leur environnement à une station de base (*SB*). Les données capturées sont routées vers un nœud considéré comme un point de collecte, appelé puits (*sink*). Ce dernier peut être connecté à l'utilisateur du réseau via Internet ou un satellite.

Le routage est un axe de recherche dans les RCSFs car il n'existe pas d'infrastructure qui gère les informations échangées entre les différents nœuds du réseau. En effet, dans ce genre de réseau chaque nœud joue deux rôles différents l'un pour capter les événements d'un environnement et l'autre pour router l'information. En générale chaque nœud capte l'information et coopère avec les autres nœuds pour acheminer les informations vers une destination précise. Ce type de réseaux pourrait avoir divers problèmes à résoudre. De ce fait, la conservation d'énergie des nœuds est un problème principal, car les batteries des capteurs ne sont pas rechargeables et non remplaçables. Pour répondre à ce problème il y a plusieurs travaux se concentrant à la conservation d'énergie dans la communication, incluant un protocole ou une stratégie efficace prenant en compte l'énergie du réseau pour prolonger sa durée de vie en réduisant les pertes d'énergie.

Dans ce travail, nous allons traiter le problème de l'optimisation de déploiement et de localisation de cible, et nous proposons une topologie de déploiement qui sert à prolonger la durée de vie de réseau, avec un algorithme DV-hop pour améliorer la précision de la localisation. La suite de ce document s'articule de la façon suivante :

- Chapitre 1 : est une présentation général au capteur et réseau de capteur sans fil en décrivant leurs caractéristiques générales ainsi que leurs architectures et finalement les domaines d'applications de ce dernier.
- Chapitre 2 : présente les objectifs de déploiement et de localisation ainsi que la description des stratégies de déploiement et les algorithmes de localisation existe.
- Chapitre 3 : sera consacré au routage dans les réseaux de capteurs sans fil, et nous concentrerons notre présentation sur les protocoles de routage et leurs problèmes de conception.
- Chapitre 4 : ce chapitre présente l'objectif de notre travail, notre problématique de déploiement et de précision de la localisation, ensuite nous proposons une nouvelle topologie de déploiement et une amélioration de l'algorithme DV-hop.
- chapitre 5 : dans ce chapitre nous présentons les résultats et les discussions de notre simulation à travers Matlab.

Nous terminons ce mémoire par une conclusion générale qui résume l'essentiel de notre travail en citant quelques perspectives.

Généralités sur les réseaux de capteur sans fil

1.1 Introduction

Les récentes avancées technologiques dans le domaine des communications sans fil ont permis le développement à faible coût de minuscules systèmes MEMS (*micro-électromécaniques*), appelés capteurs, capables de détecter, mesurer et rapporter des données physiques liées à leur environnement. Ces capteurs sont caractérisés par de faibles ressources (*énergie, capacité de calcul, mémoire, etc.*) et de faible consommation énergétique. Ils ont trois fonctions principales : la capture de données reliées à leur environnement physique (*température, pression, vibration, lumière, mouvement, etc.*) ; le traitement des données collectées, et la transmission de ces données à un centre de traitement nommé sink ou station de base. Selon leur structure physique, ils peuvent détecter des signaux mécaniques, acoustiques, électriques, photoniques, électromagnétiques, vibratoires, etc. Les réseaux de capteurs ont connu un grand essor ces dix dernières années. Ils interviennent dans tous les domaines de notre vie quotidienne et la rendent plus aisée. Ils sont généralement des composants de petite taille appelés des nœuds capteurs et ils ont la capacité de s'auto-organiser pour former un réseau de capteurs sans fil. Dans un cas particulier, les RCSF (*réseau de capteurs sans fil*) sont des réseaux sans infrastructure (*réseaux ad-hoc*), ils peuvent aussi être déployés pour exploiter diverses applications. En effet, un réseau de capteurs peut être mis en place dans le but de surveiller une zone géographique plus ou moins étendue pour détecter un événement. Dans ce chapitre, nous allons mettre l'action sur les différentes notions concernant ces réseaux.

1.2 Réseau sans fil

1.2.1 Définition

Un RCSF (*wireless sensor network en anglais*) est un réseau informatique qui connecte différents hôtes ou nœuds par des ondes radios. Les réseaux sans fil constituent avant tout une alternative aux réseaux câblés. Leur compatibilité avec les réseaux câblés permet également de les ajouter comme extension. C'est une technique qui permet aux particuliers, aux réseaux de télécommunications et aux entreprises de limiter l'utilisation de câbles entre diverses localisations [5].

1.2.2 Capteur sans fil

Définition des capteurs sans fil

Un capteur sans fil est un dispositif électronique de taille extrêmement réduite avec des ressources très limitées, autonomes, capable de mesurer une valeur physique environnementale (*ex. température, lumière, pression, humidité, vibration, etc.*) qui sera à son tour traduite en une donnée binaire et les transmettre, via les ondes radio, à une autre entité sur une distance limitée à quelques mètres [6]. La figure 1.1 présente un capteur sans fil.

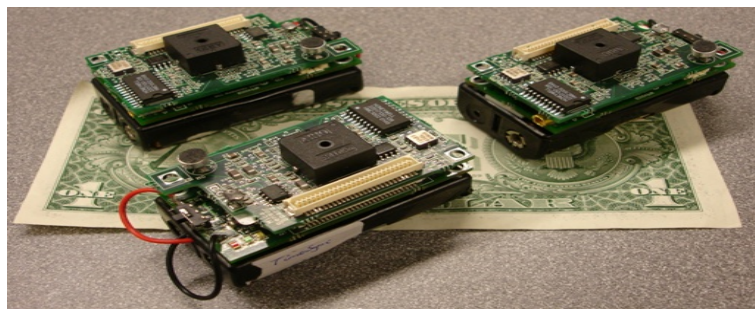


FIGURE 1.1 – Capteur sans fil

[7]

Architecture d'un capteur

Un capteur est composé d'une partie logicielle et une partie matérielle. Chacune des deux parties à une architecture propre à elle.

- **Architecture matérielle** : La figure 1.2 est l'illustration la plus générale de l'architecture d'un capteur [8][9].

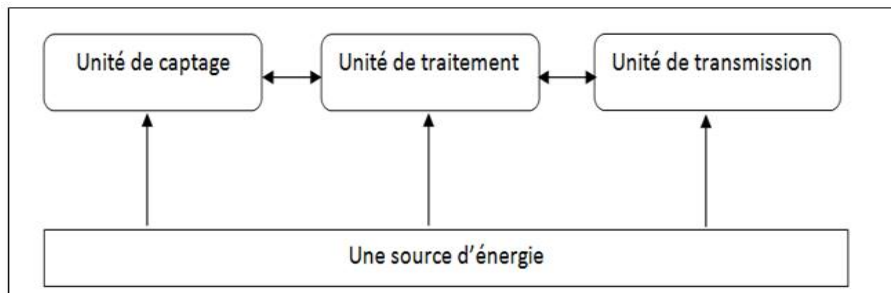


FIGURE 1.2 – Architecture d'un capteur sans fil.

L'architecture matérielle d'un capteurs est composé de quatre unités :

Unité de captage : est composée d'un capteur qui va obtenir des mesures numériques sur les paramètres environnementaux et de convertisseur Analogique/Numérique et qui permet la conversion de l'information relevée et la transmettre à l'unité de traitement,

Unité du traitement : c'est l'unité principale du capteur. Elle est composée de deux interfaces, une interface pour l'unité de captage et une interface pour l'unité de communication. Elle est également composée du 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 radiocommunication,

Unité de transmission des données : est responsable de toutes les émissions et réceptions de données via un support de communication radio,

Unité d'alimentation : c'est un élément fondamental de l'architecture du capteur, pour alimenter tous ses composants. Cette unité peut aussi gérer des systèmes de rechargement d'énergie à partir de l'environnement observé telles que les cellules solaires, afin d'étendre la durée de vie totale du réseau.

- **Architecture logicielle** : La partie logicielle englobe principalement le SE (*système d'exploitation*) de capteur. TinyOS est un système d'exploitation léger, open source pour les réseaux de capteurs, il est le plus répandu des SE dans le domaine des RCSF. Il est libre et utilisé dans les plus grands projets de recherche sur le sujet pour le développement et le test des algorithmes et protocoles réseau [8].

Il existe plusieurs autres systèmes d'exploitation développés pour les réseaux de capteurs sans fil. Le tableau 1.1 donne une brève description de quelques systèmes d'exploitation [10].

Propriétés Système	Date de publication	Disponibilité	Langage	Reconfiguration
TinyOS	2000	Open Source	Nesc	Oui
Contiki	2004	Open Source	C	Oui
MantiOS	2005	Open Source	C	Oui
LiteOS	2008	Open Source	LiteC++	Oui

TABLE 1.1 – Principales systèmes d'exploitation pour les RCSFs

1.2.3 Types des capteurs sans fil

Il existe plusieurs types de capteurs sans fil, entre autre, on peut citer quelque exemple selon [11] :

Transmetteurs : les transmetteurs utilisent des capteurs spécifiques pour mesurer une propriété dans un procédé, puis transmettent les données à un récepteur via des signaux radio. La figure 1.3 présente un transmetteur.



FIGURE 1.3 – Transmetteur.

Récepteurs : les récepteurs reçoivent et interprètent les données sans fil. Le récepteur lit le signal radio et le convertit dans le résultat souhaité; certains récepteurs peuvent même exporter les données vers un logiciel avancé. La figure 1.4 présente un récepteur.

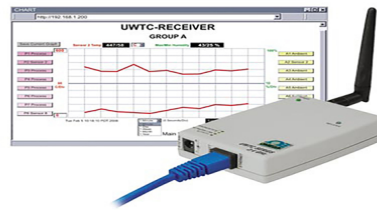


FIGURE 1.4 – Récepteurs.

Régulateurs : les régulateurs fonctionnent de manière analogue à un récepteur, dans le sens où ils reçoivent et analysent les données provenant de transmetteurs sans fil. Toutefois, les régulateurs sans fil sont également capables de manipuler un procédé selon les données mesurées. La figure 1.5 présente un régulateur.



FIGURE 1.5 – Régulateurs.

Enregistreurs de données : constituent un type particulier de réseau de mesure sans fil, car ils offrent à l'utilisateur final une nouvelle dimension de flexibilité. Ils peuvent surveiller à distance la température n'importe où, puis transmettre les données à un ingénieur une fois que le lecteur est ramené au récepteur. La figure 1.6 présente un Enregistreur de données.



FIGURE 1.6 – Enregistreurs de données.

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, ils sont capables d'étendre la portée de réseau de mesure sans fil. La figure 1.7 présente un Émetteur-récepteur.



FIGURE 1.7 – Émetteurs-récepteurs.

1.2.4 Caractéristiques de capteur

Un capteur est caractérisé par plusieurs aspects selon [8], nous citons :

- **Étendue de mesure** : la différence entre la limite supérieure et la limite inférieure de la grandeur mesurable par un capteur.
- **Sensibilité** : variation du signal de sortie par rapport à la variation du signal d'entrée.
- **Précision** : l'aptitude d'un capteur à donner des indications proches de la valeur vraie de la grandeur mesurée.
- **Rapidité** : temps de réponse du capteur.
- **Linéarité** : représente l'écart de sensibilité sur l'étendue de mesure.

1.3 Réseau de capteur sans fil

1.3.1 Définition

Un réseau de capteur sans fil est un type particulier de réseau Ad hoc Mobile d'un grand nombre de nœuds, qui est capable de recueillir et de transmettre des données d'une façon autonome. Selon [12] les capteurs qui le composent sont capables de faire trois tâches complémentaires sont :

- Le prélèvement d'une grandeur physique,
- le traitement éventuel de cette information,
- la communication avec d'autres capteurs... etc.

1.3.2 Architecture d'un réseau de capteur sans fil

Un réseau de capteur sans fil est constitué d'un ensemble de nœuds capteurs déployés dans un environnement donné, en vue d'une application précise (*relevé de température,*

de pression, contrôle, surveillance, détection d'intrusions, humidité de l'air, agriculture, domotique, domaine médical, etc.). Les capteurs communiquent entre eux pour relayer l'information vers un nœud puits (*Sink*) qui communique avec l'interface utilisateur.

Un RCSF est donc composé d'un grand nombre de capteurs autonomes capables de recueillir et de collaborer ensemble pour transmettre des données environnementales. La position de ces nœuds n'est pas obligatoirement prédéterminée. Ils peuvent être aléatoirement dispersés dans une région géographique, appelée zone de couverture ou (*champ de détection*). La figure 1.8 présente l'architecture d'un réseau de capteurs sans fil.

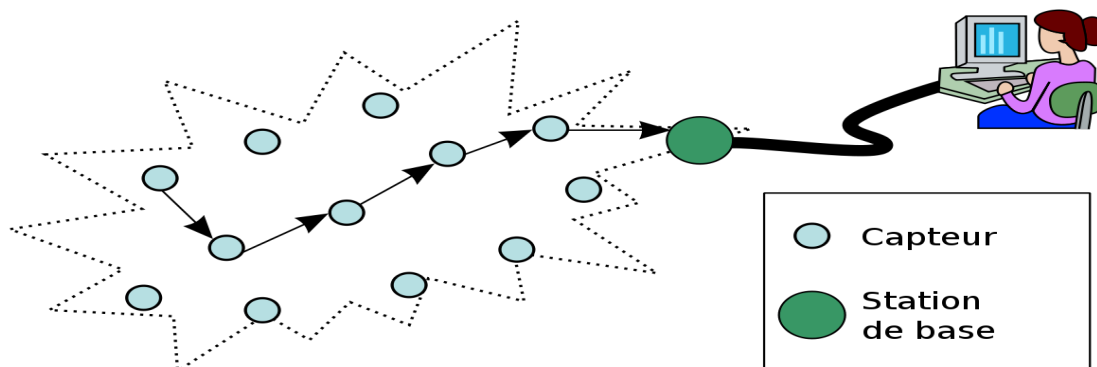


FIGURE 1.8 – Architecture d'un réseau de capteur sans fil.

[13]

1.3.3 Contraintes liées aux réseaux de capteurs

Les réseaux de capteurs sont soumis à différents types de caractéristique, selon [14] elles sont dues à l'environnement dynamique et aux communications sans fil :

- **Gestion de l'énergie** : les nœuds capteurs utilisent des batteries de taille minuscule, ce qui limite leur durée de vie. La spécificité des applications des RCSF (*militaires, sismiques et autres*) fait que la recharge ou le remplacement de ces batteries est une tâche presque impossible, ce qui nous mène à déduire que la durée de vie d'un nœud est essentiellement dépendante de la durée de vie de la batterie. Ainsi, la méthode de gestion de consommation d'énergie constitue une contrainte majeure dans ce type de réseau.
- **La scalabilité** : ce type de réseau est scalable beaucoup plus que les réseaux sans fil traditionnel par ce que il accepte un très grand nombre de nœuds de capteurs qui collaborent afin d'atteindre le même objectif.

- **La tolérance aux pannes** : le capteur peut ne pas fonctionner correctement à cause de manque d'énergie ou bien interférence avec son environnement ou aussi en cas d'ajout d'un nouveau membre au groupe, donc ce nœud doit continuer son fonctionnement sans interruption.
- **Une densité importante des nœuds** : la densité des nœuds dans les RCSFs est très grande et chaque application peut atteindre un nombre selon leur besoin.
- **Auto-configuration des capteurs** : la nature des applications des réseaux de capteurs sans fil peut nécessiter une topologie de réseau dynamique. Cela induit que le réseau doit supporter des topologies larges, denses et dynamiques. L'aspect dynamique provient de la défaillance occasionnelle de certains nœuds, de l'ajout des nœuds, de la perte de nœuds, de la mobilité ou des changements des conditions de propagation.

1.3.4 Domaines d'application

Les RCSFs peuvent être constitués des différents types de capteurs capables de surveiller une variété de paramètres, tels que, la température, l'humidité, la pression, le mouvement des véhicules, le niveau de bruit, la présence ou l'absence d'objets, etc. . . , et le domaine d'applications des RCSF est très varié selon [15], parmi ces domaines nous citons :

- Applications militaires,
- Applications liées à la sécurité,
- Applications médicales,
- Applications environnementales,
- Applications commerciales.

1.4 Conclusion

Les réseaux de capteur sans fil sont des réseaux sans fil décentralisés basés sur la notion d'un grand nombre des nœuds. Dans ce chapitre, nous avons présenté les réseaux de capteur sans fil et les concepts généraux liés à ce type de réseau à savoir la définition et l'architecture d'un nœud capteur et d'un réseau de capteurs sans fil. Dans le chapitre suivant nous allons présenter les différentes techniques de déploiement et de localisation

dans un réseau de capteur sans fil avec un plan méthodologique.

Techniques de déploiement et de localisation dans les RCSFs

2.1 Introduction

Un RCSF est un ensemble de nœuds déployés de façon à couvrir une région d'intérêt. Ces nœuds capteur sont capables d'opérer en toute autonomie afin de collecter, traiter et envoyer des données relatives à leur environnement vers une Station de Base (*SB*). Pour effectuer cette tâche, il faut connaître la position chaque nœud qui détecte l'événement à envoyer en utilisant la localisation. Dans ce chapitre, nous présentons les différentes techniques de déploiement et de localisation dans un RCSF avec un plan méthodologique que nous avons adopté. Nous commençons par les techniques de déploiement ensuite par la partie de localisation précisant la fonctionnalité de chacune. Enfin, nous terminerons le chapitre par une conclusion.

2.2 Déploiement

Le déploiement constitue la première étape de la mise en place d'un réseau de capteurs, il est considéré comme une phase décisive essentielle pour le fonctionnement et la performance du réseau.

Le problème du déploiement des nœuds dans les réseaux de capteurs est toujours un problème non négligeable et très sensible dans un RCSF.

Le plan de déploiement détermine le nombre de capteurs qui est nécessaire dans la zone

prédéfinie et positionnement exact de chacun de ces nœuds. Afin de fournir un plus grand degré de redondance, il nécessite un grand nombre de capteurs, mais cela peut conduire à une augmentation du coût global de déploiement du réseau de capteurs, d'où la nécessité de l'optimiser. L'évaluation du coût global de RCSF dépend de coût de production d'un seul capteur et le nombre de capteurs utilisés.

La problématique de placement ou de positionnement des capteurs dans un RCSF est une stratégie qui sert à définir la topologie de réseau et le coût. La couverture, la connectivité et la durée de vie d'un réseau de capteur sans fil aussi directement influencés par la topologie de réseau.

2.2.1 Les phases de déploiement

Dans le but de fournir une forte densité et un meilleur performance dans la zone à surveiller, il faut que les nœuds capteurs soient capables d'adapter leur fonctionnement afin de maintenir la topologie de réseau souhaitée. Selon [16], le déploiement est décomposé en trois phases qui sont :

- **Pré-déploiement ou déploiement** : Dans cette phase les nœuds sont déployés manuellement par un humain ou un robot, ou lancé à partir d'un hélicoptère par exemple.
- **post-déploiement** : est nécessaire si la topologie du réseau a évoluée, suite par exemple à un déplacement des nœuds, ou un changement des conditions de propagation radio
- **Redéploiement** : qui consiste à ajouter des nouveaux nœuds au réseau pour remplacer certains nœuds défectueux ou en panne. Ainsi que une remise à jours de la topologie.

Les experts étudient plusieurs problématiques relatives au niveau de déploiement d'un réseau de capteur sans fil. Ces études touchent principalement différents cas tel que les cas stationnaires et mobiles, les cas mono et multi objectifs, les aspects déterministes et aléatoires, et enfin les cas statiques et dynamiques [17].

2.2.2 Les méthodes de déploiement

Les capteurs sont préalablement déployés sur une zone dimensionnée selon le type de capteur, l'application envisagée et de l'environnement de déploiement. En effet, le

déploiement des nœuds capteurs se réalise par deux techniques principales : déploiement déterministe, déploiement aléatoire.

- **Déploiement déterministe (*exacte*)** : Cette technique est réalisée dans un environnement accessible ou connu où les nœuds sont placés un par un et de manière individuelle (*humain ou robot*) à des emplacements bien précis. Ce déploiement est utile et souvent nécessaire lorsque les capteurs sont très chers ou si leur fonctionnement dépend fortement de leur position et définit la topologie du réseau au moment de l'installation de RCSF. Il existe de nombreux exemples de ce type d'utilisation. Ceci garantit une couverture sévère du champ de détection et la planification de la densité des nœuds.
- **Déploiement aléatoire** : Dans ce type de déploiement, les capteurs ne peuvent pas être placés dans des positions bien déterminés ou exactes. Ce mode convient lorsque les capteurs seront utilisés dans des zones difficiles d'accès, hostiles et sensibles, ou bien lorsque le nombre de capteurs est très grand, les nœuds sont donc éparpillés. Le déploiement aléatoire est la seule option possible dans différents applications où le déploiement déterministe de nœuds est risqué ou impossible. La figure 2.1 présente un exemple d'un déploiement aléatoire dans une usine.

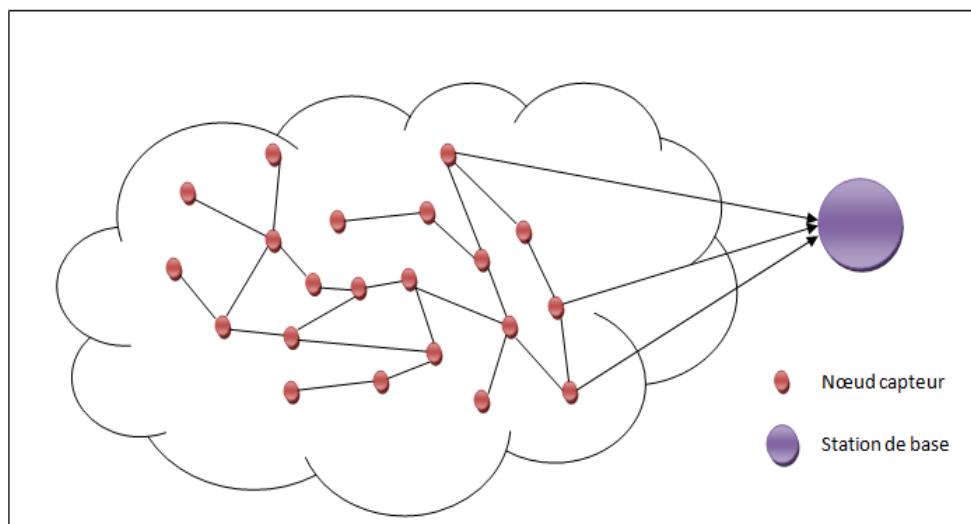


FIGURE 2.1 – Exemple d'un déploiement aléatoire dans une usine.

En règle générale, le nombre des capteurs déployés pour surveiller un phénomène peut aller de milliers à des millions. Les nouvelles solutions doivent pouvoir garantir une bonne fonctionnalité avec ce grand nombre de capteurs, et elles doivent également exploiter la densité des réseaux de capteurs.

2.2.3 Couverture

La zone de couverture est une zone surveillée par un rayon de capteur. Lorsqu'un événement est détecté dans cette zone donc il est surveillé. La couverture du RCSF est souvent considérée comme un indicateur très important de la performance. Il indique comment surveiller (*contrôler*) une zone donnée, c'est-à-dire comment chaque point de la zone de surveillance est observé et suivi par tous les nœuds. Par conséquent, le terme couverture dans les RCSFs peut être considéré comme une mesure de la qualité de service (*QoS : quality of service*).

La forme de la zone du capteur est arbitraire en raison de l'environnement et d'obstacles dans la zone d'intérêt. Tandis, dans certains travaux, la zone du capteur est modélisée par un cercle, donc le centre du cercle est le capteur lui-même. Il existe deux zones de fonctionnement du capteur : la zone de perception ou de captage (*SR : Sensor Region*) et la zone de communication (*CR : Communication Region*) comme illustre la figure 2.2.

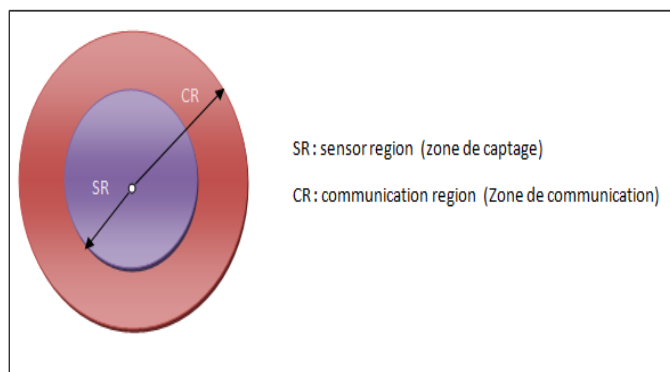


FIGURE 2.2 – La couverture dans une zone.

Lorsque la densité des capteurs est trop importante et que la zone que l'on veut surveiller est trop couverte, De ce fait, il faut ordonnancer le mode d'activité des capteurs en passant quelques capteurs en mode veille tout en assurant la couverture totale de la zone [4].

Les types de couverture

Dépendant de l'exigence des applications en termes de précision des données et de fiabilité, nous distinguons deux types de couverture selon [16][18] : une couverture simple et une couverture multiple qui est une multitude de plusieurs couvertures simples, elles

sont employées pour accroître la précision des relevés ou diminuer les risques de fausses alertes.

- **Couverture simple :** A un moment donné t un ensemble de capteurs N déployés pour surveiller une zone (*ou un ensemble de cibles*) et k un entier positif appelé niveau ou degré de couverture. Lorsque $k=1$, on parle de la couverture simple, dans laquelle tout point de la zone d'intérêt (*ou toute cible*) doit être couvert par des capteurs actifs.
- **Couverture multiple :** Dans ce type on a le $k > 1$ tout point de la zone d'intérêt (*ou toute cible*) doit être couvert par des capteurs actifs. Une zone est dite k -couverte s'il existe k ensembles disjoints de nœuds actifs, chacun assurant une couverture simple de la zone. Cette définition est appelée k -couverture par couches.

La plupart des applications de sécurité exigent les contraintes de la couverture complète et une connectivité réseau optimal qui doivent être prises en compte lors de la conception et leur déploiement.

2.2.4 Connectivité

Après la phase de déploiement des nœuds dans la zone surveillée, ces nœuds doivent former un réseau bien connecté afin de pouvoir transmettre les informations capturées par les nœuds capteurs vers la SB. On dit que deux nœuds dans un RCSF sont connectés si et seulement s'ils peuvent communiquer directement (*connectivité à un saut*) ou indirectement (*connectivité multi-saut*) [18]. Et une fois qu'une source donnée transmet ses données à une station de base selon le type d'architecture utilisée, tous les nœuds du réseau ou du sous-ensemble doivent être connectés en permanence.

La connectivité du RCSF est définie comme la probabilité qu'un nœud puisse établir une liaison sécurisée avec tous ses voisins. Cela dépend de leur emplacement, de la configuration de l'émetteur-récepteur, de la puissance de transmission et des interférences entre les canaux de communication.

Si au moins un chemin existe entre chaque nœud du réseau et la SB, alors il peut garantir que le RCSF est connecté. Selon les deux définitions évoquées précédemment, nous pouvons dire que la connectivité dépend principalement de l'existence de routes. Par conséquent, il est généralement affecté par un changement de topologie provoqué par une défaillance de nœuds. Ces changements de topologie entraînent la perte des liaisons de

communication et l'isolement des nœuds. En effet, il existe deux types de connectivité dans les RCSFs, une connectivité complète et autre intermittente selon[18].

- **Connectivité complète** : La connectivité complète du réseau soit connectivité simple (*1-connectivité*) lorsque on trouve un seul chemin entre le nœud capteur et la SB ou bien connectivité multiple (*k-connectivité*) quand il existe plusieurs chemins distincts entre chaque nœud capteur et la SB. Suivant la topologie du réseau et les caractéristiques de l'application, cette connectivité peut être assurée lors de la phase de placement des nœuds ou bien, elle peut être obtenue lors d'une phase de redéploiement ou d'auto-configuration des nœuds.
- **Connectivité intermittente** : Dans ce cas il n'est pas nécessaire d'assurer et de maintenir en continu une connectivité complète du réseau. En effet, pour de telles applications, il est suffisant de garantir une connectivité intermittente en utilisant par exemple un (*ou plusieurs*) stations de base mobiles se déplaçant afin de recueillir les mesures collectées par les nœuds capteurs déconnectés.

2.2.5 Communication

La communication sans fil dans les réseaux de capteurs est beaucoup moins fiable que la communication sans fil basée sur des réseaux filaire. Principalement, cette communication se fait en échangeant des messages ou des données bien déterminées. L'haute densité de déploiement des nœuds capteurs favorise l'utilisation des communications multi-sauts qui consomme moins d'énergie que les communications à saut unique traditionnelles. Ces communications peuvent résoudre certains problèmes de propagation du signal courant dans les transmissions sans fil à longue distance.

La transmission de l'information dans un réseau de capteurs

Selon [16], la transmission de l'information dans RCSF peut se faire de deux façons qui sont :

- **Envoi direct** : Dans cette transmission, la communication se faire d'une façon directe avec la SB. Chaque nœud est en lien étroit avec l'unité, et aucun nœud intermédiaire ne peut s'interposer dans cette relation directe.
- **Envoi par sauts** : Lorsque les nœuds sont distants de la SB, l'envoi direct n'est pas possible car la portée de transmission des capteurs est limitée et toute commu-

nication distante directe peut épuiser rapidement la batterie d'un capteur. Pour se remédier à ce problème, il faut faire la topologie multi-sauts qui distingue logiquement deux types de nœuds, les nœuds principaux qui transmettent leurs propres données capturées (*nœuds capteurs*) et les nœuds qui transmettent les messages aux autres nœuds du réseau (*nœuds de relais*). Les données captées sont acheminées depuis les nœuds sources jusqu'aux nœuds destinataires à travers les nœuds intermédiaires.

La figure 2.3 illustre la transmission de l'information dans un réseau de capteurs avec l'envoi par routage multi-sauts.

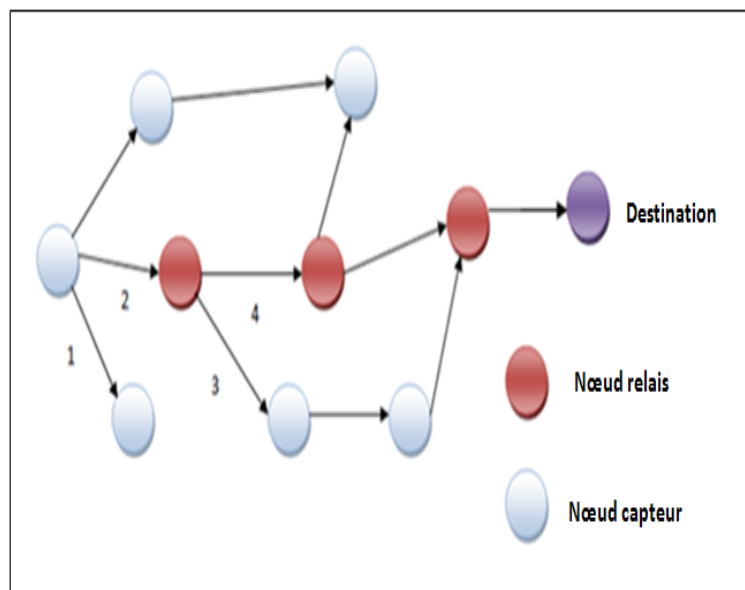


FIGURE 2.3 – La transmission de l'information avec l'envoi par routage multi-sauts.

Types de communication

Selon [16], les types de communication se décomposent en quatre types sont :

- **Communication d'un nœud capteur avec un autre nœud capteur** : Cette communication directe est utilisée pour les opérations locales, telles que les processus de cluster (*organisation du réseau en groupes de capteurs*).
- **Communication d'un nœud capteur avec un nœud relai** : Les données capturées sont transmises d'un nœud capteur à un nœud intermédiaire. Ce type de communication est généralement unicast.
- **Communication d'un nœud relai avec un nœud capteur** : Les messages

de requête et de signalisation sont généralement multicast. Ils sont envoyés par des nœuds intermédiaires pour atteindre immédiatement un sous-ensemble des nœuds.

- **Communication d'un nœud relai avec un nœud relai** : La communication entre ces nœuds est dans la plupart du temps unicast.

2.2.6 Durée de vie

La durée de vie est l'intervalle de temps qui sépare le moment de déploiement du réseau et le moment où l'énergie du premier nœud est épuisée. Selon l'application, la durée de vie requise pour un réseau peut varier de quelques heures à plusieurs années [19].

Après un déploiement aléatoire, les nœuds d'un réseau de capteurs disposent des sources d'énergie irremplaçables, car ils peuvent être déployés dans des zones inaccessibles dans des environnements hostiles sans aide extérieure.

La durée de vie joue le rôle d'un élément essentiel pour un RSCF. L'énergie est le principal facteur directement lié à la durée de vie d'un réseau de capteurs. Étant donné que la seule source d'énergie d'un capteur est une batterie à durée de vie limitée, la capacité énergétique des capteurs doit être utilisée efficacement pour maximiser la durée de vie du réseau. L'optimisation énergétique doit être prise en compte quel que soit le problème abordé. Une fois qu'un capteur a épuisé son énergie, il est considéré comme étant défectueux. En raison de cette perturbation, il est probable que la connectivité de réseau soit interrompue. De ce fait, il s'agit d'une stratégie efficace pour prolonger la durée de vie du réseau en réduisant la perte d'énergie.

2.2.7 Stratégies de déploiement des nœuds dans les RCSF

L'optimisation du déploiement des nœuds est utilisée pour faciliter la communication entre eux et assurer un meilleur fonctionnement (*couverture et connectivité du réseau, débit et délai de livraison des données, durée de vie du réseau, etc.*). Ces différentes stratégies et techniques de déploiement des nœuds ont été traitées par exemple dans [20], et ils ont inspirés leur taxonomie à partir de [21]. Le déploiement des nœuds capteurs est classé sur deux stratégies principales, l'une basée sur la méthode de déploiement (*déterministe ou aléatoire*) et l'autre sur les objectifs. (*Couverture, connectivité, durée de vie du réseau, qualité de service*). La figure 2.4 présente le taxonomie des stratégies de déploiement des nœuds utilisés.

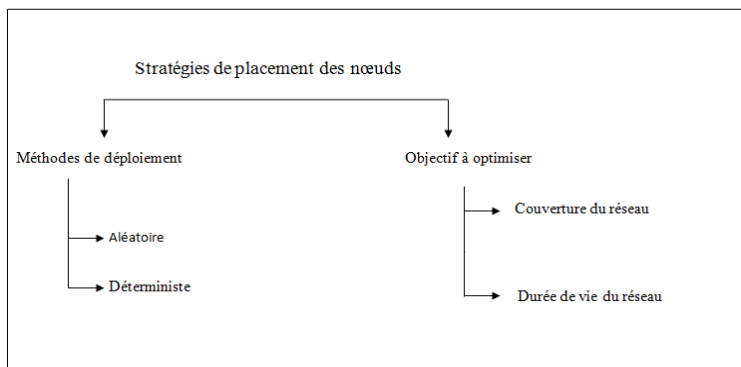


FIGURE 2.4 – Taxonomie des stratégies de déploiement de nœuds utilisé

Méthodologie de déploiement

Les deux méthodes de déploiement (*aléatoire et déterministe*) dépend fortement du type de nœuds de capteurs (*multimédia, acoustique, température, etc.*), l'application et l'environnement où seront déployés les nœuds.

Objectifs visés

En fonction de l'objectif à optimiser, la stratégie de positionnement des nœuds peut être convient à cet objectif, mentionnons à titre d'exemple : maximiser la couverture de la zone de surveillance, améliorer la connectivité du réseau, prolonger la durée de vie du réseau ou assurer une faible latence des données et un bon taux de livraison des données.

- **Stratégies pour l'optimisation de la couverture :** Le concept de couverture peut être considéré comme une mesure de la qualité de service dans un RCSF qui signifie comment chaque point de la zone de surveillance est observé par les nœuds capteurs. Différents stratégies de placement des nœuds pour optimiser la couverture de la zone de détection et le nombre de ressources sont utilisées.

Dans [22], les auteurs ont proposés une heuristique itérative pour garantir la couverture de la zone de surveillance avec le moins de nœuds de capteurs. Ils ont supposés que les nœuds de capteurs sont placés sur une grille. À chaque itération, un capteur est placé sur un point de la grille. L'algorithme se termine lorsque la couverture est totalement assurée ou qu'un nombre limité de nœuds déployés est atteint. Les auteurs dans [23], proposent un modèle permet de détecter une cible avec une forte probabilité et aussi le minimum nombre de nœuds de capteur possible. Les auteurs dans [1], proposent de placer les nœuds de capteurs sur une grille

triangulaire comme pour maximiser la couverture de la zone de surveillance comme illustre la figure 2.5. Ainsi, la couverture peut être contrôlée en ajustant la distance entre les nœuds (d est la distance entre deux nœuds de capteur adjacents). Ils ont montré qu'une couverture de 100% est obtenue si la distance entre les nœuds est $d = \sqrt{3} r$ où r est le rayon de détection. La figure 2.5 illustre la stratégie de placement des nœuds capteurs sur une grille triangulaire.

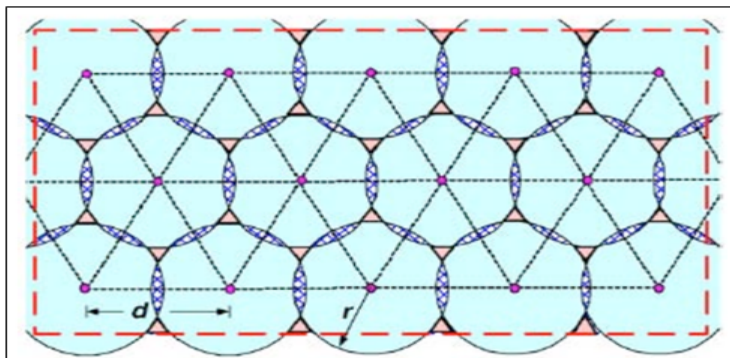


FIGURE 2.5 – Stratégie de placement des nœuds capteurs sur une grille triangulaire.

[1]

Pour maximiser la couverture de la zone de surveillance, une autre approche exploitant la mobilité des nœuds a été utilisée dans [24]. Cette approche vise à repositionner les nœuds de capteurs de manière optimale pendant le fonctionnement du réseau ou après le déploiement initial du réseau. En fait, les déploiements initiaux aléatoires ne garantissent généralement pas une couverture totale et peuvent entraîner des répartitions très différentes entre les différentes parties de la zone de surveillance. De plus, les phénomènes environnementaux ou des changements de topologie (*tels que l'ajout ou la perte de nœuds*) peuvent se produire pendant le fonctionnement du réseau et ainsi rendant le réseau non opérationnel. Par conséquent, les nœuds doivent être déplacés dans des parties de la zone de surveillance où la couverture est faible ou inexistante. Les auteurs dans [25] [26] [27] ont lié la question de la connectivité réseau à celle de la couverture réseau. À leurs avis, il est important qu'un algorithme de couverture assure également la connectivité du réseau car un RCSF entièrement couvert ne sera opérationnel que si les nœuds constituant forment un réseau qui est connecté de façon à ce que les données collectées par le nœud capteur soient transmises au puits. De plus, si le rayon de communication

RC du nœud est sensiblement identique au rayon de détection RD, la connectivité réseau devient un problème. Dans [28], les auteurs examinent et comparent diverses stratégies de déploiement de nœuds offrant à la fois une couverture complète et une bonne connectivité réseau avec des ressources matérielles minimale ($n_{\text{nœuds}}$). Les auteurs dans [25][26] proposent des stratégies de placement des nœuds basées sur des grilles régulières (*carré (voir figure 2.7), hexagone (voir figure 2.8) et en bande (voir figure 2.6)*) permettant, avec quelques nœuds de capteurs de maximiser la couverture totale du réseau tout en maintenant une connectivité solide.

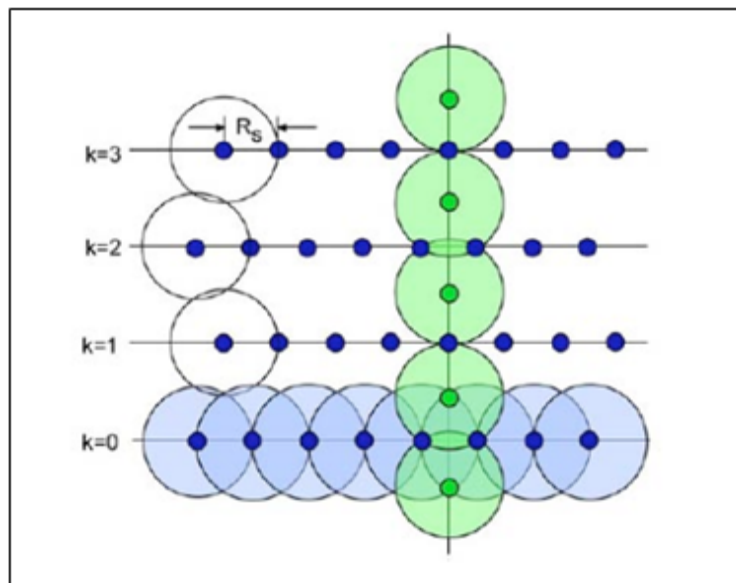


FIGURE 2.6 – Topologie en bande.

[2]

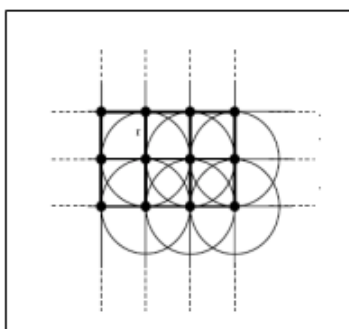


FIGURE 2.7 – Topologie carrée.

[2]

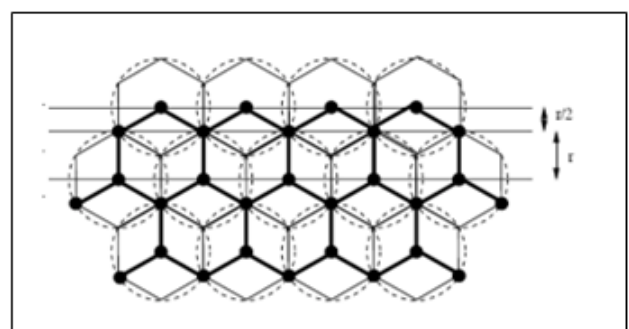


FIGURE 2.8 – Topologie en hexagonale

[2]

- **Stratégies pour l'optimisation de la durée de vie :** La figure 2.9 illustre l'architecture multicouche composée de cellule en hexagone régulier.

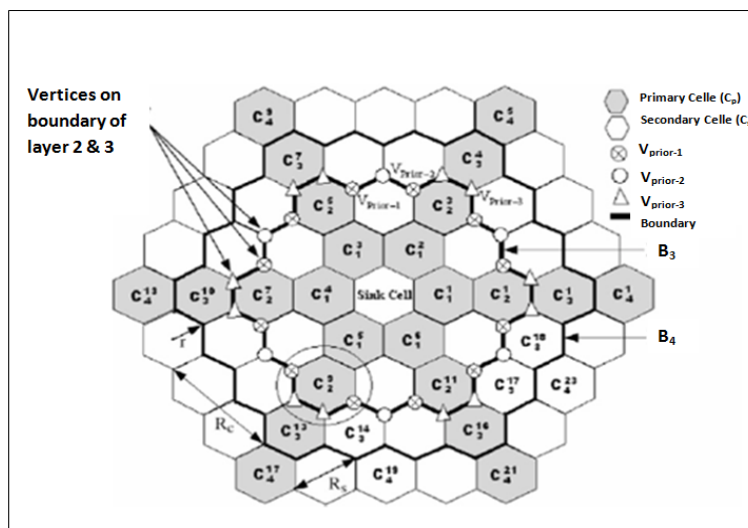


FIGURE 2.9 – Architecture multicouche composée de cellule en hexagone régulier.

[3]

La durée de vie du réseau est une métrique difficile à définir. Elle est liée à l'application et aux protocoles utilisés [29]. Par exemple, selon [30], la mesure de la durée de vie du réseau est étroitement liée à la durée de vie du nœud capteur, l'accessibilité des nœuds du réseau selon [31][32], la qualité de service selon [33] et la répartition spatiale des nœuds selon [34], etc. Certains travaux se sont concentrés sur la durée de vie du réseau car il y a suffisamment de nœuds fournis implicitement dans un réseau dense pour assurer la couverture et la connectivité de la zone de surveillance. De plus, dans ces réseaux, qui s'étendent sur de grandes zones géographiques, il se pose un problème de conservation de l'énergie [35], surtout si l'application est destinée à être exécutée à grande échelle pendant une longue période. Plusieurs techniques de placement de nœuds ont été proposées dans la littérature pour prolonger la vie du réseau.

L'une des techniques utilisées pour atteindre cet objectif consiste à minimiser la consommation d'énergie moyenne par nœud. Dans [36], les auteurs supposent que les nœuds ont la capacité de se déplacer dans la zone de surveillance. Ils proposent une heuristique itérative pour déplacer les nœuds si nécessaire sous la contrainte de couverture. L'idée est d'équilibrer le trafic des données du réseau

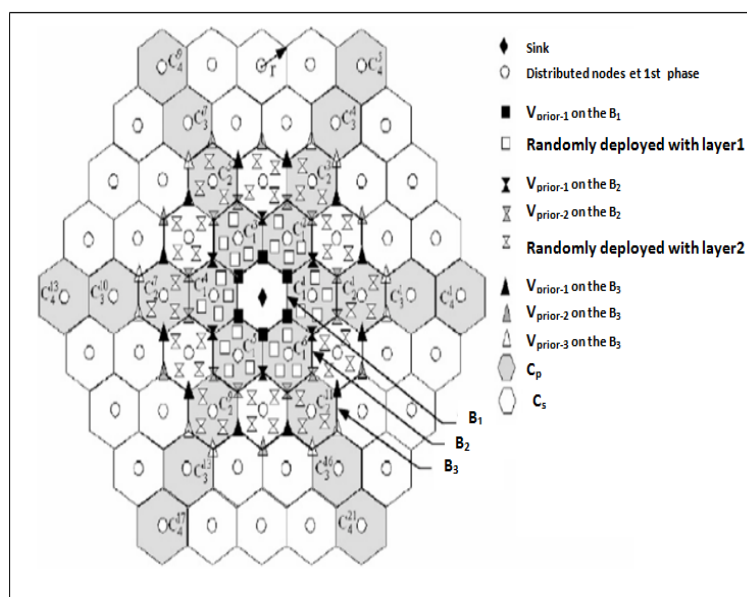


FIGURE 2.10 – Déploiement de nœud

[3]

entre les nœuds. Les auteurs de [37] proposent une redistribution optimale des nœuds avec une distribution uniforme des nœuds. Cette approche leur permet d'uniformiser la consommation énergétique du réseau, puisque les distances entre les nœuds sont alors identiques. Cela aura un effet positif sur la durée de vie du réseau.

Les nœuds près puits ont tendance à consommer plus que les nœuds situés à plus grande distance. L'auteur de [38] a proposé une fonction de répartition non-uniforme des nœuds dans le réseau tout en équilibrant la consommation d'énergie de tous les ensembles de nœuds situés à la même distance du puits. Ils recommandent de placer plusieurs nœuds à proximité du puits afin de disposer de plus d'énergie totale nécessaire pour transférer des données. Dans [36], les auteurs proposent une stratégie prédéterminée pour le déploiement non uniforme des nœuds afin d'équilibrer la consommation d'énergie entre les couches pour prolonger la durée de vie du réseau tout en maintenant la connectivité et la couverture du réseau. Ils fournissent une architecture en couches dans laquelle la zone de couverture du réseau est divisée en couches, chacune contenant des cellules hexagonales régulières (*cellules primaires et secondaires*), (comme illustré à la figure 2.9). La mise à disposition des nœuds se déroule en deux phases. Au cours de la première

phase, les nœuds sont déployés au milieu de chaque cellule pour assurer la connectivité et la couverture réseau (voir la figure 2.9). $RS \geq 2r$ et $RC \geq r$ représentent respectivement les rayons de détection et communication d'un nœud (r est le rayon d'une cellule). Dans la deuxième phase, les nœuds redondants ayant les priorités 1 à 3 (comme illustré à la figure 2.10) sont placés aux frontières entre deux couches adjacentes si certains nœuds (fournis dans la première phase) ne participent pas au routage et/ou reconnaissance de données.

Au lieu d'augmenter la durée de vie du réseau en minimisant la consommation moyenne par nœud, certains auteurs tels que [32] [39] [39] utilisent un réseau hétérogène constitué de NS (nœud senseur) et NC (nœud collecteur à capacité supérieure). Ils se concentrent sur l'identification du nombre optimale et/ou de la position des NC dans un réseau lié au travail afin de maximiser la durée de vie du réseau. Les auteurs dans [40] proposent une heuristique distribuée et localisée. Avec cela, on peut déterminer le nombre et les positions optimales des nœuds relais de sorte que tous les NS sont des servies directement par un puits. Cela conduit à la construction de clusters à 1 saut, où chaque nœud relais est un chef de cluster. À cette fin, les nœuds sources travaillent ensemble pour déterminer l'intersection de leur zone de communication. Ensuite, les nœuds relais sont placés dans les intersections comportant le plus de nœud source.

Dans [32], les auteurs proposent une heuristique itérative pour minimiser le nombre de NC tout en ayant une contrainte sur la durée de vie du réseau. Pour cela, ils utilisent un algorithme de clustering avec k sauts pour déterminer le nombre de puits. Cet algorithme vise à partitionner NS en sous-réseaux ou en groupes distincts de manière à minimiser la distance euclidienne moyenne entre les nœuds sources et leur collecteur. Chaque collecteur est ensuite placé au centre de son cluster. Une autre solution basée sur une formulation de programme linéaire est proposée dans [41]. En utilisant un algorithme de partitionnement de graphe centralisé, les auteurs dans [39] proposent de partitionner le réseau en sous-réseaux relativement grands équivalent au nombre des nœuds, tout en ayant une connaissance préalable de la position de tous NS. Ensuite, ils proposent de déployer de manière aléatoire un collecteur dans chacun d'eux tant que les nœuds situés à proximité des collecteurs

épuisent rapidement leurs réserves d'énergie (*car beaucoup d'entre eux sont utilisés pour relayer les données NS vers NC*). Les auteurs de [42] et ceux de [43] [44] [39] utilisent la mobilité des NC pour prolonger la vie du RCSF. Pour atteindre cet objectif, ces auteurs cherchent à déterminer périodiquement les positions presque optimales des NC tout en répartissant la charge de trafic de manière uniforme sur l'ensemble du système de réseau et à déterminer les chemins optimaux pour la transmission des données aux NC.

2.3 Localisation dans les réseaux de capteurs sans fil

La localisation est le processus utilisé par chaque nœud pour estimer sa position dans un repère dans la plupart des applications de réseau de capteurs sans fil, cette opération est réalisée par un système de localisation. La plupart des méthodes pour déterminer une position sont basées sur des calculs géométriques, tels que la triangulation (*où la position est connue en mesurant l'angle par rapport à un point fixe ou un nœud connu*) et la trilatération (*en mesurant la distance entre les nœuds*). Il existe plusieurs techniques qui peuvent être utilisées pour connaître la distance entre deux nœuds, comme la puissance de signal reçu, le temps et l'angle d'arrivée.

La localisation dans les RCSF est un problème qui a attiré beaucoup d'attention pour obtenir des informations de position fiables.

Certains problèmes sont détectés concernant la localisation dans les réseaux de capteurs c'est pour l'absence d'auto organisation ou positionnement, on ne peut équiper tous les nœuds d'un dispositif GPS cela serait trop coûteux sur le plan économique mais également trop laborieux à réaliser d'un point de vue technique, c'est pour cela que les nœuds s'organisent et coopèrent entre eux en utilisant les techniques de coopérations afin de déterminer leurs positions respectives.

2.3.1 Critères de localisation

L'évaluation d'un algorithme de localisation se fait selon une liste de critères dont nous citons selon [45] :

- **Précision de la localisation** : La distance euclidienne entre les vraies positions des nœuds et celles estimées par l'algorithme définit l'erreur de la localisation.

Les algorithmes de localisation sont utilisés pour minimiser cette erreur et donc augmenter la précision de localisation.

- **Contraintes de ressources** : Un algorithme de localisation doit être simple et non complexe, et son développement ne nécessite pas de calculs importants ni de grandes capacités de stockage, car les nœuds capteurs disposent généralement de ressources très limitées. Ils ont des processeurs faibles et une petite mémoire, ce qui rend les gros calculs impossibles.
- **Contraintes énergétiques** : Les RCSFs nécessitent une bonne gestion de l'énergie car la batterie d'un nœud capteur est la seule source d'énergie, il faut donc trouver un algorithme de localisation qui optimise la consommation d'énergie.
- **Passage à l'échelle** Dans les RCSFs, les capteurs sont généralement déployés en grand nombre pour assurer une couverture complète de la zone d'intérêt et pour faire face aux pannes, les capteurs pouvant cesser de fonctionner pour différentes raisons.

2.3.2 Principaux systèmes de localisation

Système de localisation qui permet, à un moment précis, de déterminer la position géographique d'un objet ou d'une personne en se servant des signaux émis par des satellites, placés en orbite autour de la Terre, vers un appareil récepteur situé à l'endroit à localiser. parmi ces systèmes nous distinguons selon [46] :

GPS (*Global Positioning System*) : Il s'agit d'un système américain composé de trois ensembles d'éléments : des satellites en orbite autour de la terre, des stations de contrôle au sol et le récepteur GPS de l'utilisateur. Les signaux transmis par les satellites GPS sont captés et identifiés par le récepteur. Ce dernier peut alors localiser le point et la référence temporelle requise.

Système russe GLONASS : Le système de navigation spatiale GLONASS de la Russie est similaire au système de positionnement GPS mondial des États-Unis et peut déterminer les coordonnées et la vitesse de déplacement des objets terrestres, marins et aériens à moins d'un mètre.

Système IRNSS (*Indian Regional Navigational Satellite System*) : Est le système régional de navigation par satellite approuvé par le gouvernement indien

en mai 2006, qui devrait être achevé et mis en œuvre dans les délais prévus en 2016.

Système Beidou : Il s'agit du système de navigation par satellite de la Chine, qui est similaire au système GPS aux États-Unis, Galileo en Europe ou GLONASS en Russie. Son objectif est de permettre à la Chine d'être indépendante des systèmes de navigation étrangers.

Système Galileo : Est un système mondial de navigation par satellite développé par l'Union européenne et l'Agence spatiale européenne, qui devrait fournir une meilleure localisation géographique que le GPS américain.

La figure 2.11 illustre les principaux système de localisation.



FIGURE 2.11 – Principaux système de localisation.

[47]

2.3.3 Processus de localisation

Le processus de localisation consiste à déterminer la position dans les RCSF. Les méthodes de positionnement sont effectuées en deux phases : mesure de distance et calcul de position, le premier bloc estime la distance ou les angles d'incidence à partir des informations du signal reçu, et la deuxième étape traite la distance et estime la position grâce à diverses méthodes de localisation. La figure 2.12 illustre le processus de localisation.

Estimation de la distance

La distance entre deux nœuds dans un RCSF est la clé de l'estimation de la position d'un nœud. Cette distance peut être estimée par les méthodes range-based qui utilise

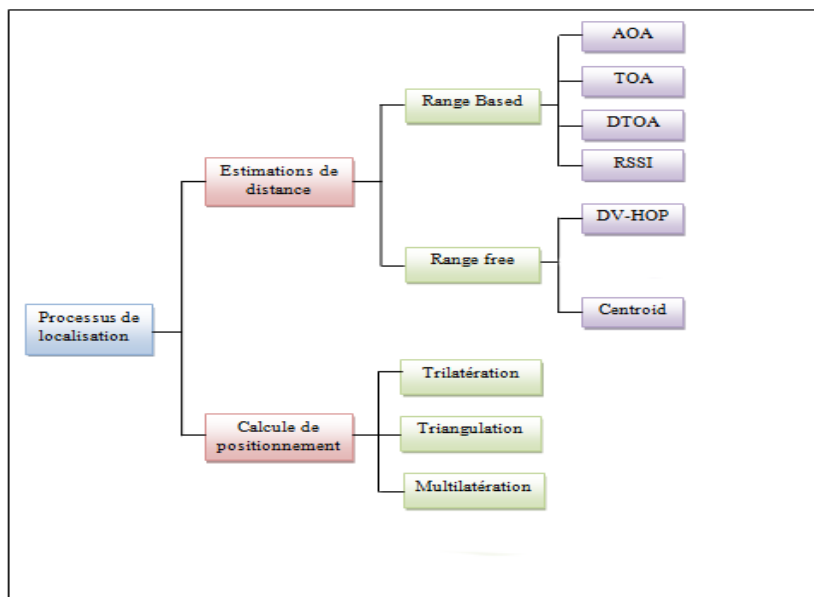


FIGURE 2.12 – Processus de localisation.

une mesure de distance inter-nœud obtenue grâce au signal radio par exemple, ou les méthodes range-free qui estimer la distance entre les nœuds en utilisant les informations de connectivité entre les nœuds pour déterminer les positions des nœuds inconnus. Nous citons quelques techniques de ces deux catégories :

- **Temps d’arrivée (*ToA : Time Of Arrival*)** : Dans cette technique, le capteur-récepteur obtient la distance qui le sépare du capteur émetteur en calculant la différence entre les dates d’envoi et de réception. En supposant que la vitesse de propagation est connue, le nœud récepteur peut facilement calculer sa distance par rapport à l’émetteur [48].
- **Différence des temps d’arrivée (*TdoA : Time Difference of Arrival*)** : Cette technique mesure la différence de temps entre deux signaux envoyés par le même nœud. Le premier nœud envoie deux signaux simultanément. Pour chaque signal reçu, le deuxième nœud enregistre son heure d’arrivée. Par conséquent, en supposant que la vitesse de propagation est connue, le deuxième nœud (*nœud récepteur*) peut calculer la différence et la distance entre celui-ci et l’émetteur [49].
- **Indicateur de puissance du signal reçu (*RSSI : Received Signal Strength Indication*)** : La technique du RSSI est utilisée dans différentes applications en raison de sa simplicité et son faible coût. Chaque nœud peut mesurer la puissance du signal reçu pour chaque paquet de données entrant sans impacter l’énergie. La

distance entre l'émetteur du paquet et le récepteur est obtenue à partir de cette puissance du signal reçu [49].

- **Angles d'arrivée (AoA : Angle Of Arrival :)** Dans cette technologie, on calcule l'angle d'arrivée d'un signal formé entre deux capteurs. Pour cela chaque nœud doit être équipé par un ensemble de petites d'antennes [50].
- **Dv-hop (Distance Vector-Hop) :** DV-hop [51] est un algorithme de localisation de référence permet de donner la position estimée de tout nœud inconnu du réseau basés sur le nombre de sauts en utilisant un nombre réduit de nœuds de localisation connus, qui sont très probablement équipés d'un GPS. Cet algorithme comprend trois étapes décrites comme suit :

1. Chaque nœud ancre i envoie un message de beacon $[id, x, y, hop]$ pour les autres nœuds de capteur, où id est l'identifiant du nœud ancre i , (x_i, y_i) sont ses coordonnées obtenues par le GPS et hop est le nombre de sauts par lequel passe le message de beacon, initialement $hop = 0$. À la réception, chaque nœud de capteur gère une table qui contient les informations de chaque nœud ancre et stocke le nombre minimal de sauts qui le sépare des différents nœuds ancres. Les messages beacon contenant le nombre de sauts le plus élevé sont simplement ignorés. Il retransmet ensuite le message beacon pour ses voisins après que le nombre de sauts sera incrémenté.
2. Chaque nœud ancre calcule la distance qui le sépare des autres nœuds ancres, puis il estime la longueur moyenne du saut $HopSize$ à l'aide de l'équation (2.1) :

$$HopSize_i = \frac{\sum_{i \neq j}^n \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}}{\sum_{i \neq j}^n h_{ij}} \quad (2.1)$$

Où n est le nombre de nœuds ancres, (x_i, y_i) et (x_j, y_j) sont les coordonnées des nœuds ancres i et j respectivement et h_{ij} est le nombre minimum de sauts les séparant. Chaque ancre i diffuse la longueur moyenne du saut sur tout le réseau.

3. Chaque nœud capteur recevant cette valeur, estime la distance qui le sépare du nœud ancre en utilisant la formule (2.2).

$$distance_{ie} = HopSize_i \times hops_{ie} \quad (2.2)$$

Où $hops_{ie}$ est le nombre de saut entre l'ancre i et le nœuds à localisé e .

4. L'algorithme consiste à l'estimation des positions par chaque nœud capteur en utilisant la trilatération (*dériver dans la sous section suivante*), après avoir calculé au moins trois distances le séparant avec au moins trois nœuds ancrés.
- **Centroïde (position central)** : Dans cette méthode, Un certain nombre de nœuds ancrés sont placés à l'avance. Chaque nœud ancre envoie un message "beacon" qui contient son position. Un nœud qui veut se localiser écoute les beacons pendant un certain temps. Il sélectionne un certain nombre de nœuds ancrés et calcule sa position en prenant le centre de gravité des positions des ancrés sélectionnées [52].

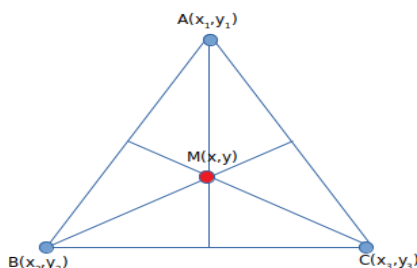


FIGURE 2.13 – Graphe représentant le principe de l'algorithme centroïde.

Dérivations des positions

Cette partie comprend l'estimation de la position d'un nœud en utilisant les informations de distance précédemment obtenues et la position d'un nœud ancre.

- **Triangulation** : La triangulation [53] un algorithme qui détermine la position d'un nœud en mesurant l'angle entre le nœud et les ancrés. Dans ce cas, il nécessite au moins trois ancrés. Le nœud non localisé estime ses angles avec chaque ancre. En se basant sur les angles estimés et les positions des ancrés, le nœud calcule sa position en utilisant les lois de la trigonométrie. La figure 2.14 illustre le principe de la localisation en utilisant la triangulation.
- **Trilatération et Multilatération** : La trilatération [53] est une algorithme utilisée pour estimer la position d'un nœud à l'aide de trois ancrés. Pour estimer la position d'un nœud, il est nécessaire de connaître la distance entre le nœud à localisé et les ancrés. La distance peut être estimée en utilisant l'une des méthodes

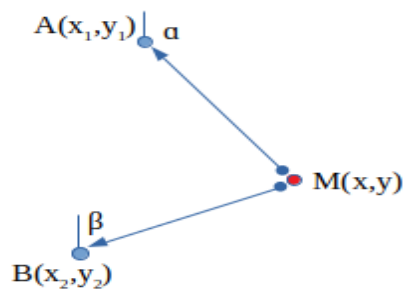


FIGURE 2.14 – Graphe représentant la Triangulation.

décrites dans la première partie. Ensuite, on trace un cercle autour de chaque ancre avec un rayon égale à la distance entre cet ancre et le nœud à localisé, l'intersection de ces trois cercles est la position ce nœud. La Figure 2.15 illustre le principe de la localisation en utilisant la trilatération.

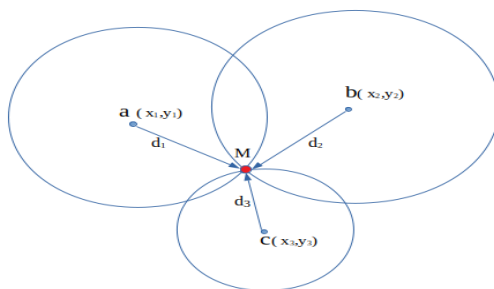


FIGURE 2.15 – Graphe représentant la Trilatération.

Le calcul des coordonnées du nœud à localiser se fait en appliquant les équations suivantes :

$$(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 = d_1^2 \quad (2.3)$$

$$(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 = d_2^2 \quad (2.4)$$

$$(x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 = d_3^2 \quad (2.5)$$

(x_i, y_i) : les coordonnées des ancres.

d_i : La distance entre le nœud à localiser et l' i ème ancre.

(x,y) : les coordonnées de nœud à localisée M .

La multilatération a le même principe que la trilatération, en utilisant un nombre supplémentaire d'ancres (*plus que trois*).

2.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différentes stratégies de déploiement et quelques algorithmes de localisation dans les RCSFs. Ces stratégies nécessitent un routage des données de ce fait, le chapitre suivant sera consacré pour le routage dans les RCSF.

Routage dans les réseaux de capteurs sans fil

3.1 Introduction

Le mécanisme de routage utilisé dans un RCSF dans le but d'assurer le transport des données entre deux nœuds ou plus à travers un réseau de connexion donné. Aussi d'assurer ainsi le routage correct et efficace des itinéraires entre deux nœuds afin que les messages puissent être acheminés.

Le protocole de routage permet la connexion entre les nœuds de transférer les messages par plusieurs sauts et de transférer les données à un point de collecte. Par conséquent, sans routage, aucune communication ne serait possible dans un réseau.

Ce chapitre présente les principaux protocoles de routage dans les RCSFs pouvant être utilisés dans notre solution. À cet égard, les considérations suivantes doivent être prises en compte pour assurer une bonne politique d'acheminement [54] [50] :

- Contraintes énergétiques : toutes les couches doivent tenir compte de la limitation d'énergie des capteurs dans le but de pouvoir optimiser la durée de vie du réseau ;
- Bande passante limitée ;
- Absence d'adressage global ;
- Redondance des données ;
- Réseau à sources multiples et destination unique ;
- Gestion des ressources ;
- Capacités de stockage limitées ;
- Capacités de calcul limitées.

3.2 Collection de l'information

Il existe deux méthodes de collecte d'informations dans les RCSFs :

3.2.1 Collection a la demande

Dans cette méthode, on souhaite avoir l'état de la zone de couverture à un moment précis. Le puits émet des broadcasts vers toute la zone pour que les capteurs remontent leurs informations et les acheminent par le biais d'une communication multi-sauts vers le puits.

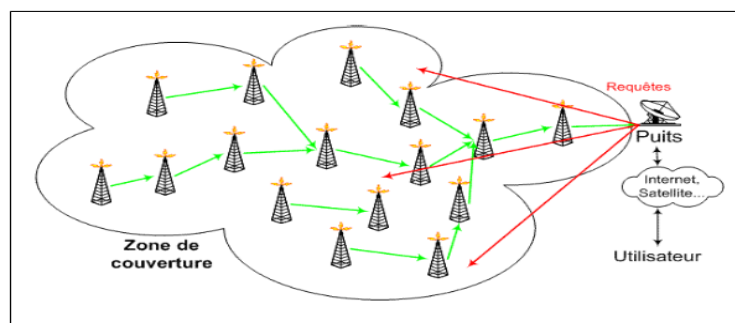


FIGURE 3.1 – Collection des informations a la demande.

[4]

3.2.2 Collection suite à un événement

Cette méthode suit un événement qui se produit à un point de la zone de détection. Les capteurs entourant l'événement détecté accèdent ensuite aux informations collectées et les transmettent au puits, comme le montre la figure 3.2.

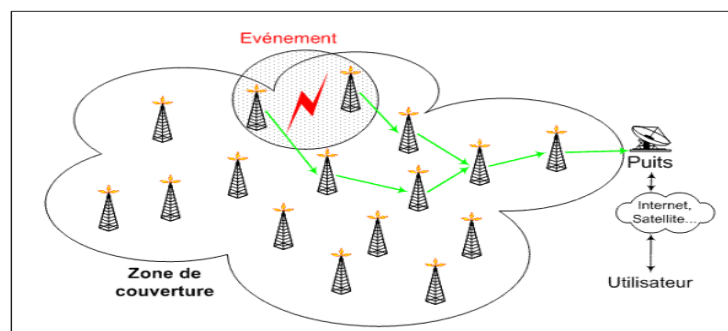


FIGURE 3.2 – Collection des informations suite un événement

[4]

3.3 Classification des protocoles de routage dans les réseaux de capteurs

Dans un RCSF, les nœuds sont généralement utilisés de manière rapprochée dans un champ de détection proche ou à l'intérieur du phénomène détecté. Pour permettre la communication dans le réseau déployé, des protocoles de routage spéciaux basés sur une communication à multi-sauts entre les nœuds de capteur et le nœud collecteur sont nécessaires. Le principe de fonctionnement de chaque protocole dépend de la philosophie de l'approche à laquelle il appartient. Ces approches peuvent être différenciées en fonction de la structure du réseau, des fonctions de protocole, de la configuration de la route et de l'initiateur de la communication. La classification des différentes approches de routage dans les RCSFs est basée sur les critères ci-dessus :

3.3.1 Classification selon la structure du réseau

Les protocoles de cette classe peuvent être divisés en trois catégories : protocole à plat, protocole hiérarchique et protocole d'emplacement géographique. La structure du réseau peut déterminer l'organisation des capteurs dans le réseau et joue un rôle important dans le fonctionnement du protocole de routage. Plusieurs algorithmes ont été proposés pour le routage dans les RCSFs. Dans la plupart de ces algorithmes, les stratégies utilisées peuvent être classées en fonction de la topologie du réseau (*plate, hiérarchique ou hybride*) et du type d'application.

Routage à plat

Dans une topologie plate, tous les nœuds de capteur jouent le même rôle et travaillent ensemble pour accomplir la tâche de routage. En raison du grand nombre de nœuds utilisés, il est presque impossible d'attribuer un identificateur à chaque nœud. Dans ce cas, la station de base envoie des requêtes à certaines régions et attend les réponses par les capteurs situés dans ces régions sélectionnées (*collecte d'informations à la demande*). Les réseaux plats présentent la simplicité des protocoles de routage, des coûts de maintenance faibles, une tolérance aux pannes élevée et la possibilité de créer des nouveaux chemins après des modifications de topologie. Cependant, les nœuds situés à proximité du puits sont plus impliqués dans le routage que les autres conséquent une faible scalabilité.

- **Flooding (Inondation)** : Dans les floodings et Selon [55], chaque capteur qui reçoit un paquet le renvoie à tous les nœuds du réseau, cette opération se poursuit jusqu'à ce que le paquet atteigne sa destination ou atteigne le nombre maximal de sauts pour le paquet (*TTL : Time To Live*) (*qui inonde tous les nœuds réseau*). L'avantage de cette technique est qu'elle ne nécessite pas d'algorithme complexe pour la découverte des routes, mais il y a plusieurs problèmes :
 - L'implosion : Le problème de la duplication des paquets se produit lorsque les mêmes messages en double sont envoyés au même nœud, tandis que le nœud A envoie le même paquet aux deux nœuds B et C, et ces deux nœuds envoient le même paquet à D, qui reçoit deux copies du même paquet (*voir la figure 3.3*).

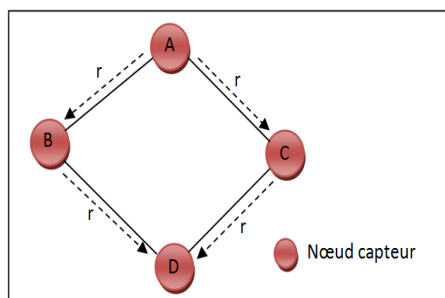


FIGURE 3.3 – Problème d'implosion

- Chevauchement (*ou overlap*) : Se produit lorsque deux nœuds détectent le même phénomène dans la même région surveillée. Ensuite, les mêmes informations sont envoyées deux fois aux nœuds du réseau ce qui entraîne une redondance des informations (*voir la figure 3.4*).

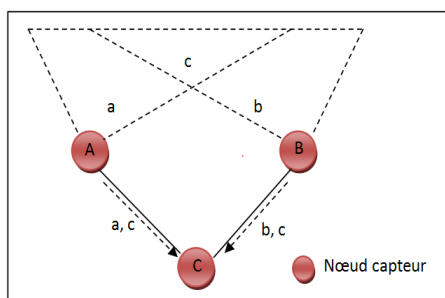


FIGURE 3.4 – Problème d'overlap.

- **Gossiping** : Selon [55] est une version améliorée de Flooding, où chaque nœud reçoit un message et le transmet au hasard à un seul voisin sélectionné. A partir de ce dernier, chaque nœud effectue cette opération avec son voisin et la transfère

séquentiellement à un autre jusqu'à ce que les données atteignent la destination souhaitée.

Routage hiérarchique :

Pour résoudre les problèmes liés au routage à plat, les auteurs ont proposé le routage hiérarchique dans lequel les nœuds ont des rôles différents. Il consiste à diviser le réseau en groupes appelés clusters. Un cluster est composé d'un chef de cluster (*cluster-head*) et de ses membres. Le rôle du cluster-head (*CH*) est de transmettre directement ou via d'autres CHs les données captées par nœuds de cluster vers la station de base. Le CH a généralement des ressources énergétiques plus élevées que les autres nœuds du réseau. Cette technique est appelée clustering. Ce type de routage permet d'éliminer la redondance des données tel que chaque CH diminue le nombre de messages pour agréger les données. Mais le problème c'est que les CHs consomment plus d'énergie que les autres nœuds du réseau. S'ils changent de temps en temps, le réseau sera partitionné, nous citons :

- LEACH (*Low-energy Adaptive Clustering Hierarchy*) : Le protocole LEACH introduit par heinzelman et autres [56], c'est un protocole de routage efficace qui minimise la consommation d'énergie pour les réseaux de capteurs sans fil. LEACH est basé sur la clusterisation, les CHs sélectionnées collectent les données capturées par les nœuds membres appartenant à son propre cluster périodiquement sur une période de temps appelée (*ronde*) utilisant la politique de gestion Round-Robin (*c'est-à-dire tourniquet*) envoient ensuite les paquets des données agrégés à la SB pour diminuer la quantité d'informations transmises à SB et pour assurer une dissipation équitable d'énergie entre les nœuds. L'exécution de ce protocole se déroule en deux phases : la phase d'installation (*appareil*) et la phase de communication (*état stationnaire*). La première phase consiste de sélectionner les CHs et former cluster, et la deuxième phase permet de transmettre les données vers la SB comme illustre la figure 3.5
- PEGASIS : PEGASIS (*Sensor Information Management System*) [50] est une version améliorée de LEACH, plutôt que de former plusieurs groupes, le protocole construit une série de capteurs où chaque nœud ne communique qu'avec ses voisins les plus proches. De même, pendant une période appelée (*arrondi*), un et un seul nœud de la chaîne construite peut communiquer avec la station de base. À la

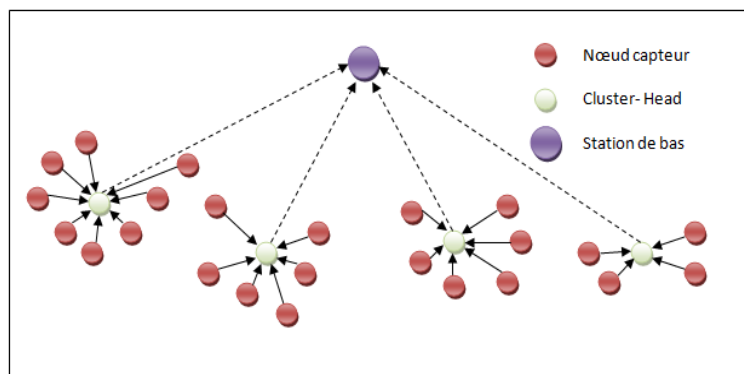


FIGURE 3.5 – Protocole de routage LEACH.

fin de chaque tour, un autre nœud sélectionné au hasard jouera le rôle principal dans la chaîne. Cela peut réduire l'utilisation de la bande passante et prolonger la durée de vie du réseau en favorisant la communication locale entre les nœuds les plus proches.

Routage basé sur topologie géographique :

La plupart des protocoles de routage dans les réseaux de capteurs requièrent la localisation des nœuds de capteur. En général, cette information est nécessaire pour calculer la distance entre deux nœuds particuliers afin que la consommation d'énergie puisse être estimée. Comme il n'y a pas de schéma d'adressage pour les nœuds dans les réseaux de capteur (*par exemple, les adresses IP*) et qu'ils sont provisionnés de manière aléatoire dans une région, les informations de localisation de ces nœuds peuvent être utilisées pour un routage des données économe en énergie. Le protocole MFR (*Most Forward Within Radius*) [57] est un exemple de protocole de cette classe.

3.3.2 Classification selon le fonctionnement des protocoles

Le mode de fonctionnement définit le mode de propagation des données sur le réseau. Cette caractéristique des protocoles de routage peut être utilisée comme facteur de classification. Selon ces critères, les protocoles de routage peuvent être classés en quatre catégories : Routage basé sur la qualité de service (*QoS : Quality of Service*) Routage basé sur une requête (*en anglais : Query-based routing*), Routage basés sur multi-chemins (*en anglais : Multi-path routing*) et un routage Basée sur Négociation (*en anglais : Negotiation based routing*).

- **Routage basée sur QoS** : Dans les protocoles de routage basés sur la qualité de service, le réseau doit équilibrer la consommation d'énergie et la qualité des données. En particulier, le réseau doit satisfaire à certaines métriques de qualité de service, telles que le délai, l'énergie, la bande passante, etc. Les protocoles de cette approche sont vivement recommandés pour la surveillance des applications (*centrales nucléaires, applications militaires, etc.*). En effet, ces protocoles doivent considérer la qualité de service comme une métrique supplémentaire à satisfaire dans les décisions de routage, selon [58] on a le protocole SPEED comme un exemple pour ce type de routage.
- **Routage basée sur les multi-chemins** : Dans cette catégorie, au lieu d'utiliser un seul chemin, les protocoles de routage de cette approche utilisent des chemins multiples plutôt qu'un chemin simple afin d'augmenter la performance du réseau. Dans le cas de défaillance du chemin primaire, les données peuvent être acheminées de la source vers la destination en utilisant des chemins alternatifs. De ce fait, la fiabilité de ce protocole peut être mesurée par sa capacité à trouver des chemins alternatifs entre la source et la destination. A cause de l'existence de chemins multiples, ils provoquent la perte additionnelle d'énergie due à l'envoi des messages périodiques pour maintenir les chemins alternatifs ainsi augmentent le risques de perte des paquets lors d'utilisation des chemins ayant plusieurs nœuds en commun qui nécessite beaucoup de messages de contrôle :
- **Diffusion Dirigée : (DD : Directed Diffusion)** : La Diffusion Dirigée [55] est un protocole centré sur les données. Il suppose que les informations générées par les capteurs sont décrites par paires (*valeurs, d'attribut*). Ces attributs sont utilisés pour décrire le type de phénomène de capture, l'emplacement géographique et la durée par exemple. La SB déclare les données requises en envoyant son intérêt sous forme de requête à un nœud de réseau. L'intérêt est réparti sur les réseaux de sauts et envoyé par chaque nœud à ses voisins. Le format d'intérêt est également basé sur le mode (*valeur d'attribut*), tel que le type des données requises et son taux de transmission (*nombre d'événements envoyés par unité de temps*) à la SB. Pendant le processus de diffusion d'intérêt, chaque nœud intermédiaire d'intérêt maintient un cache d'intérêt à son niveau, où chaque entrée dans ce cache contient plusieurs champs, y compris un champ

d'horodatage indiquant quand il a été reçu pour la dernière fois. Lorsque la SB commence à recevoir des données de la source, il se régénère et renvoie périodiquement des intérêts. Cela est nécessaire pour vérifier que la demande a été transférée sur le réseau .

- **Routage basé sur la négociation** : L'objectif principal de ce type est basé sur la suppression des données redondantes. En détectant le même phénomène, les nœuds de capteurs inondent le réseau des mêmes paquets des données. Les nœuds négocient les uns avec les autres avant d'échanger des données en échangeant des métadonnées (*paquets de signalisation spéciaux*). Ce processus garantit que seules les informations utiles sont transmises et élimine la redondance des données en vérifiant si les nœuds voisins ont transmis les mêmes données. Toutefois, cela peut entraîner une perte d'énergie du réseau en raison de l'envoi des métadonnées et une négociation à long terme entraînera un délai de transmission des données. On peut présenter le protocole suivant :
 - SPIN (*Sensor Protocols for Information via Negation*) Le protocole SPIN [54] est utilisé pour masquer délibérément des informations dans le réseau. Plus précisément, SPIN utilise trois types de paquets, à savoir ADV (*AD-Vertissinnng*), REQ (*REQuete*) et DATA (*information*) dans son opération. L'utilisation de ce protocole réduit la charge du réseau par rapport aux méthodes de diffusion traditionnelles telles que l'inondation ou l'algorithme de Gossiping. Lors de la réception des nouvelles informations au niveau du nœud, il informe tous ses voisins de la disponibilité des informations via des paquets ADV, et les nœuds intéressés peuvent répondre avec un paquet REQ pour obtenir ces informations. Ensuite, envoyez un paquet DATA pour chaque réponse REQ reçue .

3.3.3 Classification selon l'établissement de la route

Nous distinguons trois catégories de protocoles de routage des données suivant la création et de maintenance des routes lors le routage qui sont : les protocoles de routage proactifs, les protocoles de routage réactifs et les protocoles de routage hybrides.

- **Protocoles proactifs** : Dans ce type de routage, chaque élément de réseau tente d'établir de manière permanente une table de routage valide. Les chemins sont

pré-établis sur la base d'échanges réguliers de tables de routage afin de conserver les meilleurs chemins existants vers toutes les destinations possibles [59]. Les protocoles proactifs conviennent aux applications nécessitant une collecte des données régulières. En conséquence, le capteur peut s'endormir pendant les périodes d'inactivité et utilise son périphérique de capture uniquement à des heures précises. L'avantage principal de ce type de protocole est qu'il est facile d'acheminer des données car la route est établie à l'avance. Le problème est que les routes sont stockées même si elles ne sont pas utilisées.

- **Protocoles réactifs :** Contrairement au routage proactif [55], les protocoles de routage réactif aussi appelé protocole de routage à la demande déterminent la route qui effectue la transmission à la demande. Ces protocoles permettent de réaliser des meilleures économies d'énergie que les protocoles proactifs, mais le problème est que les routes requises sont créées et maintenues, à cause de retard important dû à l'établissement du chemin, rendant impossible l'envoi sans connaître le chemin à l'avance. Pour ce faire, l'acheminement se fait en deux étapes, la première étape consiste à rechercher le chemin et la deuxième étape à transmettre des données.

- **Protocoles hybrides :**

Ce type de protocole tire parti de l'approche réactive et proactive et combine les deux idées du protocole pour limiter leurs lacunes. Ces protocoles appliquent des stratégies proactives pour apprendre des voisins proches, tandis que ces derniers utilisent des stratégies réactives pour trouver le chemin.

3.3.4 Classification selon l'initiateur de communication

La communication dans les réseaux de capteurs sans fil peut être initiée par les nœuds source ou les nœuds de destination.

- **Communication lancée par la source :** Dans ce protocole de communication, lorsqu'un captage se produit, les données sont envoyées du nœud qui les capte à la destination. Ces protocoles sont utilisés dans certaines applications : orientés temps (*en anglais : time driven*), et orientés événement (*en anglais : event driven*) [50]. Autrement dit, les données sont envoyées à des intervalles de temps spécifiques ou lorsque les nœuds reçoivent certains événements spéciaux. En raison du manque des requêtes générées par les nœuds de puits, qui consomment beaucoup d'énergie,

ces protocoles conservent plus d'informations.

- **Communication lancée par la destination** : Ces protocoles de communication basés sur les demandes d'informations cibles sont appliqués aux applications orientées requêtes (*en anglais : query driven*), où la cible décrit ses exigences au nœud, et si nécessaire, le nœud charge les informations en transmettant des données, sinon il diffuse la demande vers tous les nœuds d'une région topologique. Le principal inconvénient de ces protocoles est la propagation de grandes demandes de messages, ce qui peut entraîner l'épuisement de la batterie du capteur. Cependant, les transmissions inutiles sont éliminées, car l'envoi de requêtes décrivant les données requises pour les nœuds de puits est toujours un avantage.

3.4 Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre les différentes classes de classification dans le routage citons quelques protocoles déployés dans les réseaux de capteurs. Nous nous intéressons plus aux protocoles de routage hiérarchique qui sont basés sur une consommation réduite d'énergie. Dans le chapitre suivant, nous proposons une stratégie de déploiement qui sert à prolonger la durée de vie d'un RCSF et une amélioration de l'algorithme de localisation DV-hop en exposant en détail son fonctionnement et ses caractéristiques.

Nouvelle solution pour le déploiement et la localisation dans les RCSFs

4.1 Introduction

Nous nous sommes intéressés au problème de déploiement et localisation de cible dans les RCSFs. Dans les chapitres précédents, nous avons étudiés le fonctionnement des réseaux de capteur sans fil présentant et décrivant les différentes stratégies de déploiement et les algorithmes de localisation. Dans ce chapitre nous proposons une nouvelle stratégie de déploiement et une amélioration d'un algorithme Dv-hop. Pour effectuer ce travail, nous avons passé par des étapes nécessaires pour apprendre comment résoudre notre problème, nous commençons par présenter les différents problèmes liés au déploiement, les problèmes liés à la précision de localisation, l'objectif de notre travail et les étapes de la nouvelle stratégie et l'amélioration de l'algorithme DV-hop.

4.2 Problématique

Dans ce mémoire, nous nous concentrons sur les problématiques de déploiement, et notamment pour des applications de localisation et de suivi de cible.

Le placement des nœuds capteurs dans une zone d'intérêt n'est pas obligatoirement déterminé en amont dans la conception et le déploiement d'un RCSF donné. Ainsi, les nœuds peuvent être placés aléatoirement dans la zone d'intérêt ou placés de façon déterministe. Les méthodes de placement des nœuds dépendent généralement du type

d'application et du type d'environnement où ils sont déployés.

Plusieurs facteurs et contraintes doivent être étudiés et pris en compte lors de la conception et de déploiement de ces réseaux. Aussi, plusieurs objectifs doivent être touchés pour assurer qu'un déploiement est optimisé ou bien non.

Un déploiement déterministe est préférable parce que, on peut avoir une connaissance préalable du terrain, mais également les paramètres physiques ou physiologiques capturés par les nœuds capteurs doivent être précis, pertinents et de bonne qualité. Ceci impose donc un emplacement approprié des nœuds capteurs. Il en est de même pour le placement des stations de base afin de pouvoir assurer l'acquisition, l'intégrité et le traitement de mesures capturées. De plus, les stratégies de placement et de déploiement des nœuds capteurs dans la zone de surveillance peuvent différer en fonction des applications et des objectifs à optimiser tels que la maximisation de la couverture de la zone de surveillance, la garantie d'une bonne connectivité dans le RCSF, la maximisation de la durée de vie du réseau, etc.

Le déploiement de capteurs et la localisation d'une cible constituent un problème très vaste pouvant affecter plusieurs objectifs à résoudre. Dans cette partie, nous proposerons une topologie de déploiement tenant en compte de la maximisation de la durée de vie, de la couverture réseau et de la connectivité. Avec un modèle mathématique utilisé pour calculer la précision de localisation.

La localisation consiste à attribuer une position géographique aux capteurs. Il est donc nécessaire non seulement pour le fonctionnement du réseau, mais également pour l'exploitation des données collectées. Il est donc nécessaire de localiser, avec la meilleure précision possible, tous les nœuds du réseau. Ce problème, malgré les nombreux travaux de recherche qui y ont été attachés, reste un problème ouvert. Cependant, l'utilisation de solutions matérielles (*GPS*) pour la localisation est très coûteuse. Pour résoudre ce problème, plusieurs algorithmes de localisation ont été proposés. Parmi ces algorithmes, nous citons l'algorithme Dv-hop. Cet algorithme permet une localisation efficace dans les RCSFs. Cependant, il reste encore des défis à relever.

Afin d'améliorer la précision de l'algorithme Dv-hop, dans le reste du chapitre, nous allons étudier cet algorithme, ensuite expliquer les principes et les avantages de notre proposition qui sera implémentée en suite.

4.3 Stratégie proposée

Dans cette partie, nous proposons une nouvelle topologie de déploiement pour étudier le positionnement et le placement de différents nœuds capteurs dans les réseaux de capteurs sans fil qui permet de prolonger la durée de vie de réseau sous les contraintes de couverture et connectivité, il est basé sur la technique de clusterisation des nœuds pour économiser la consommation énergétique .

Dans [2], l'auteur fourni plusieurs techniques et stratégies pour le déploiement (*déterministe, aléatoire*) des nœuds capteurs sous plusieurs contraintes d'objectif (*la durée de vie de réseau, la connectivité, la couverture et latence des données*). Les travaux citées dans l'article [2] propose plusieurs stratégies pour des objectifs précises à optimiser, maximiser la couverture de la zone de surveillance, renforcer la connectivité du réseau, prolonger la durée de vie du réseau ou garantir un bon taux de livraison de données.

Nous allons proposer une topologie de déploiement optimal des nœuds tout en assurant une distribution uniforme de ces nœuds. Cette approche permet d'uniformiser la consommation énergétique du réseau. Notre réseau possède une architecture composée des cellules hexagonales régulières. Les nœuds sont déployés au centre de chaque cellule pour assurer la connectivité et la couverture du réseau. L'énergie sera prolonger à cause des distances entre les nœuds qui sont identiques, ainsi entre les nœuds et les puits. Ce qui aura un impact positif sur la durée de vie du réseau. Ainsi, la couverture du réseau et la connectivité entre les nœuds est assurée. Et l'énergie va être réduit à cause du le protocole LAECH qui garantir une dissipation équitable d'énergie entre les nœuds. Chaque sous-ensemble des capteurs a son puits (*sink*) qui collecte les informations de ces nœuds. L'information captée acheminée vers la station de base utilisant la communication multi-sauts comme le montre la figure 4.1.

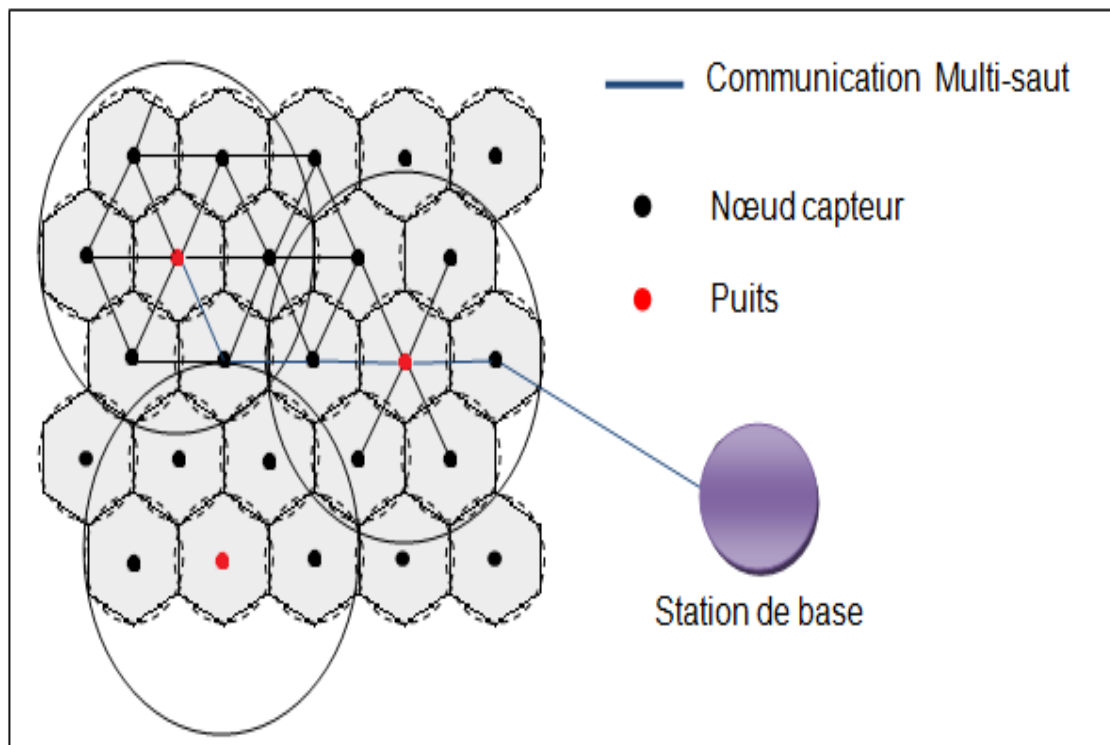


FIGURE 4.1 – Topologie hexagonal proposé.

4.4 Algorithme proposé

Dans[60] les auteurs ont proposé un algorithme DV-hop amélioré concentre sur les étapes 2 et 3. À l'étape 2, comme dans DV-hop original, chaque nœud ancre calcule la distance qui le sépare des autres nœuds ancres, puis il estime le $HopSize_i$ vers chaque nœud ancre trouvé. Après, ils ont calculés la moyenne de l'ensemble $HopSize_i$ de différents nœuds ancres en utilisant la formule 4.1 :

$$HopSize_{ave} = \frac{\sum_{i \neq j} HopSize_i}{n} \quad (4.1)$$

Où n est le nombre des ancres.

À la fin de cette étape, des nœuds inconnus (*les nœuds à localisés*) calculent la distance qui le sépare de l'ancre i à l'aide de la formule 4.2 :

$$distance_{ie} = HopSize_{ave} \times hops_{ie} \quad (4.2)$$

Où $hops_{ie}$ est le nombre de sauts entre l'ancre i et le nœud e .

Dans l'étape 3, ils ont utilisés la méthode des moindres carrés pour donner une bonne estimation d'un tel point de départ.

Les auteurs dans[61] ont proposés une autre amélioration de l'algorithme DV-hop divisé en quatre étapes :

1. Certains nœuds ancrés sont fixés sur les terres frontières des régions de surveillance.
2. Chaque nœud ancre calcule sa distance moyenne d'un saut (*HopSize*) à l'aide de la formule 4.3 :

$$HopSize_i = \frac{\sum_{i \neq j} (hop_{ij} \times d_{ij})}{\sum_{i \neq j} (hop_{ij})^2} \quad (4.3)$$

Où d_{ij} est la distance en ligne droite entre l'ancre nœuds i et j.

Ensuite, ils ont calculé la distance moyenne d'un saut des nœuds inconnus (*les nœuds à localisés*). $HopSize_u$ en pondérant les N distances moyennes reçues d'un saut reçues des nœuds ancrés à l'aide de la formule 4.4 :

$$HopSize_u = \sum_{i=1}^n HopSize_i \times \gamma_i \quad (4.4)$$

$$\gamma_i = \frac{hop_i}{\sum_{k=1}^n hop_k} \quad (4.5)$$

Où n est le nombre des ancrés

3. Les positions des nœuds inconnus sont obtenues par l'algorithme de localisation hyperbolique 2D [61], ce qui améliore la précision de localisation estimée.

Nous avons essayé de proposer un amélioration de l'algorithme DV-Hop à la base d'une hybridation de deux nouvelles algorithmes de DV-Hop proposées dans [60] et [61]. Cette proposition divisé en cinq étapes. Nous avons pris les deux premiers étapes l'algorithme DV-hop amélioré dans [61]. Et la troisième et la quatrième sont pris de l'algorithme DV-hop amélioré dans [60].

1. La première étape de notre proposition consiste à fixer quelques nœuds ancres d'une manière aléatoire sur zone de surveillance pour éviter l'utilisation de GPS qui est très coûteux et consomme plus d'énergie, et les nœuds capteur sont distribués d'une manière aléatoire. Ensuite chaque nœud ancre diffuse un message beacon. À la réception, chaque nœud capteur sauvegarde le nombre de sauts minimum le séparant des différents nœuds ancres.
2. Chaque ancre calcule la distance qui le sépare avec les autres ancres dans le réseau, puis il estime la distance de saut moyenne ($HopSize_i$) vers chaque nœud ancre trouvé pour améliorer la précision de la localisation à l'aide de la formule (4.3)
3. Cette étape consiste à calculer la moyenne de tous les $HopSize_i$ de différents nœuds ancres en utilisant la formule (4.1)
4. Calculer la distance en utilisant la formule (4.2).

4.5 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons exposé la problématique de déploiement et de la localisation dans les réseaux de capteurs sans fil. Nous avons étudié quelques stratégies de déploiement notamment la méthode DV-hop et les différents critères pour avoir plus de précision lors de la localisation dans les réseaux de capteur sans fil, puis nous avons présenté une nouvelle topologie de déploiement pour prolonger la durée de vie de réseau, maximiser la couverture et la connectivité et une hybridation de deux nouvelles versions de l'algorithme DV-hop pour améliorer la méthode DV-hop original que nous allons implémenter et tester dans le chapitre suivant.

Évaluation des performances

5.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons définir l’outil de simulation utilisé, scénario de simulation de notre proposition ainsi que le paramètre de performance utilisé. En suite nous allons implémenter notre amélioration de l’algorithme DV-hop définis dans le chapitre précédent pour calculer la position la plus proche à la position réel.

5.2 Outil de simulation

La localisation peut être considérée comme un problème purement géométrique et MATLAB est un logiciel de calcul numérique développé par MathWorks. Il permet la manipulation de matrices, l’affichage de courbes, l’implémentation d’algorithmes et la création d’interfaces, pour cela nous avons choisi d’effectuer notre simulation sous ce logiciel.

5.3 Simulation de notre proposition pour le déploiement

5.3.1 Scénario de simulation

Pour réaliser notre simulation, nous avons placé 66 capteurs sur le centre de 66 cellules régulière dans une surface de 50 par 40 unités de mesure avec une portée de communication égale à 3.5 unités de mesure pour chaque nœuds capteurs. La figure 5.1 représente le déploiement des nœuds.

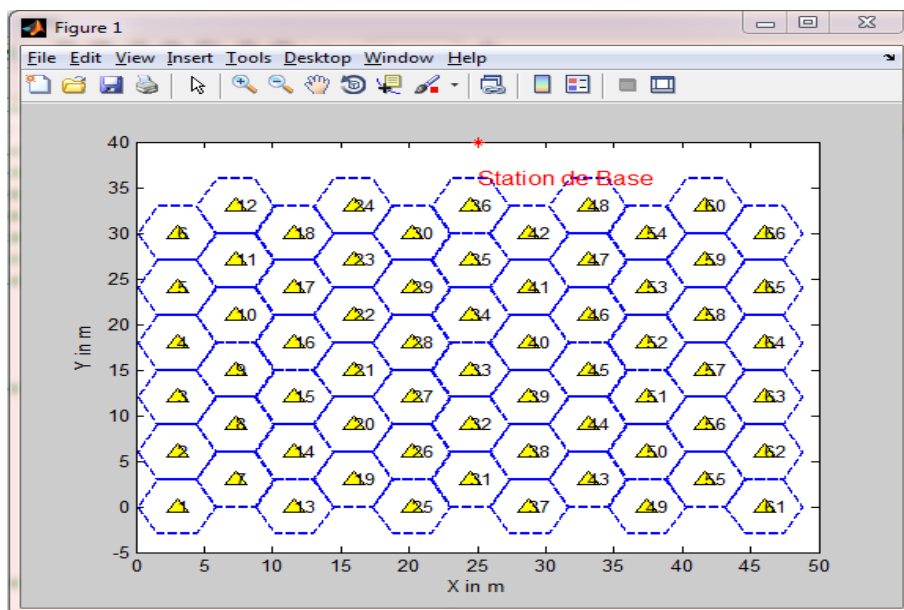


FIGURE 5.1 – Distribution des nœuds (déploiement déterministe).

5.3.2 Résultats du test

Les résultats de notre simulation et les mesures d'évaluation de la performance seront présentés dans ce qui suit :

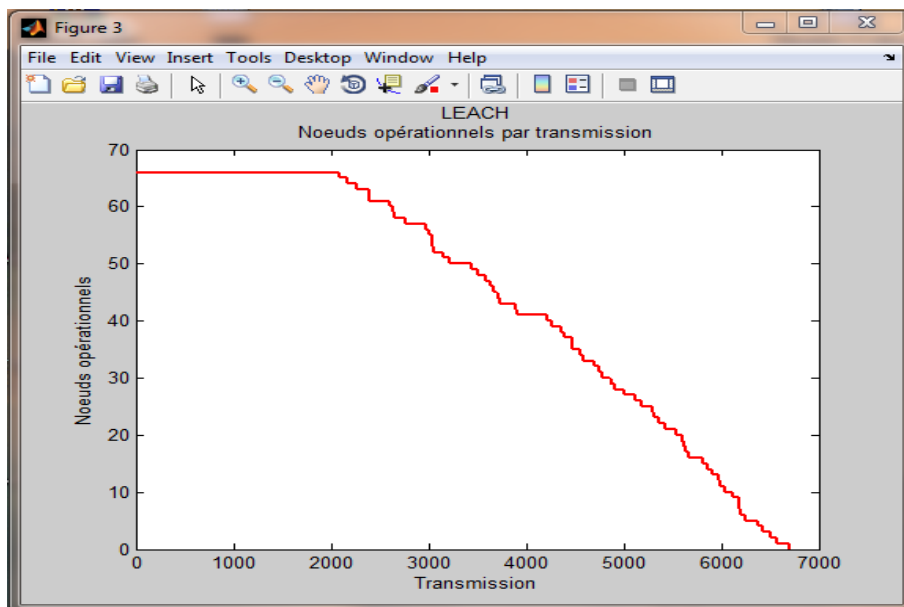


FIGURE 5.2 – Variation des nœuds opérationnels en fonction du nombre de transmission.

La figure 5.2, présente la variation du nombre nœuds opérationnels en fonction du nombre transmission effectuées. Elle montre que nombre de nœuds opérationnels commence a diminuer dans la transmission 2200 et sera nul a partir de la transmission 6600.

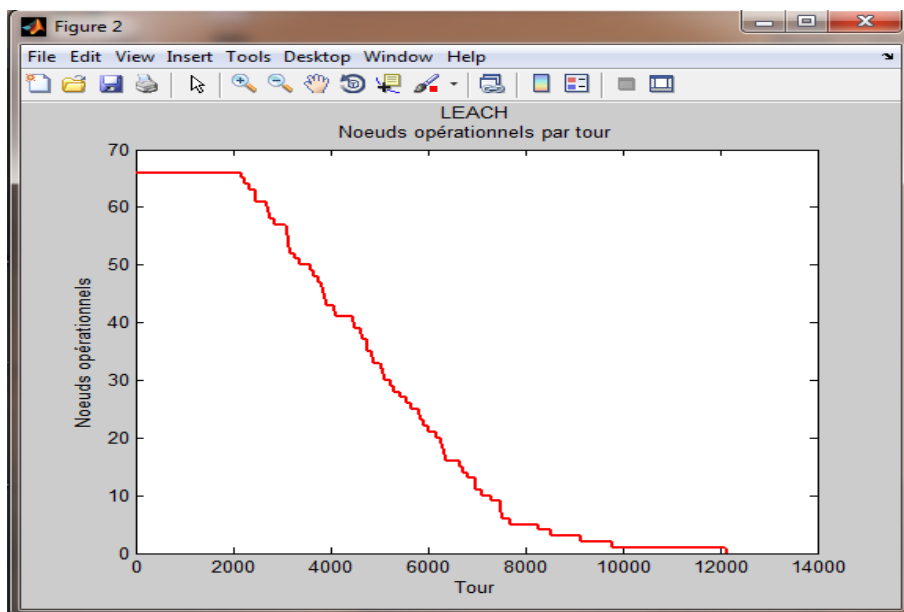


FIGURE 5.3 – Variation du nombre des nœuds opérationnels en fonction du nombre de tour.

La figure 5.3 illustre cette fois la variation du nombre des nœuds opérationnels en fonction du nombre de tour. Nous remarquons que le nombre des nœuds opérationnels diminue à partir d'un certain nombre de tour qui égal à 2500 tour, tel que le réseau commence d'épuiser ses nœuds séquentiellement et mort dans le tour 12100.

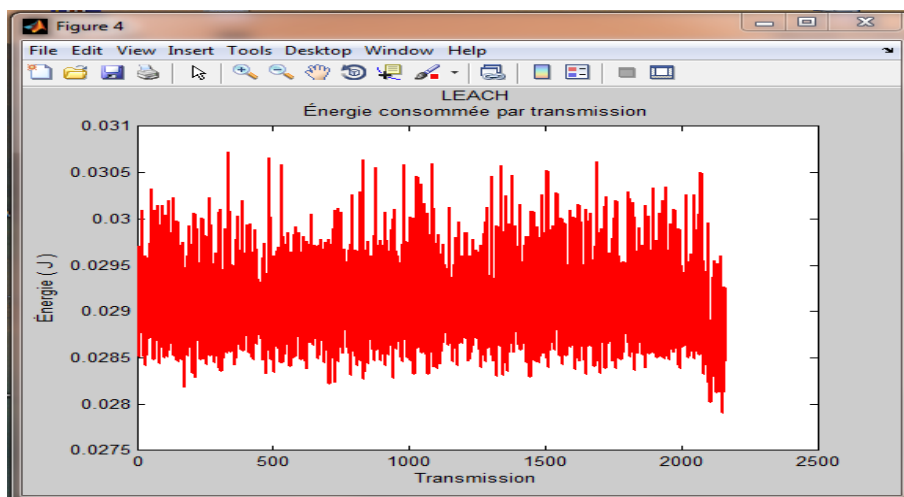


FIGURE 5.4 – Variation du nombre des nœuds opérationnels en fonction du nombre de tour.

La figure 5.4 montre cette dernière la variation d'énergie en fonction du nombre des transmissions effectuées. Nous remarquons que l'énergie restante dans la majorité des transmissions jusqu'à s'arrête dans la transmission 2200 d'où le réseau épuise son premier nœud.

5.4 Simulation de notre proposition pour la localisation

5.4.1 Scénario de simulation

Pour réaliser notre simulation, nous avons déployé 100 capteurs aléatoirement sur une surface carrée de 100 par 100 unités de mesure avec une portée de communication de 25 unités de mesure pour chaque nœuds capteurs. Dans notre cas nous avons fixés 5 capteurs (*ancres*) dont leurs position est connues (x_i, y_i) tel que $i=1..5$ parmi les 100 capteurs déployés. La figure 5.5 illustre le réseau à étudié.

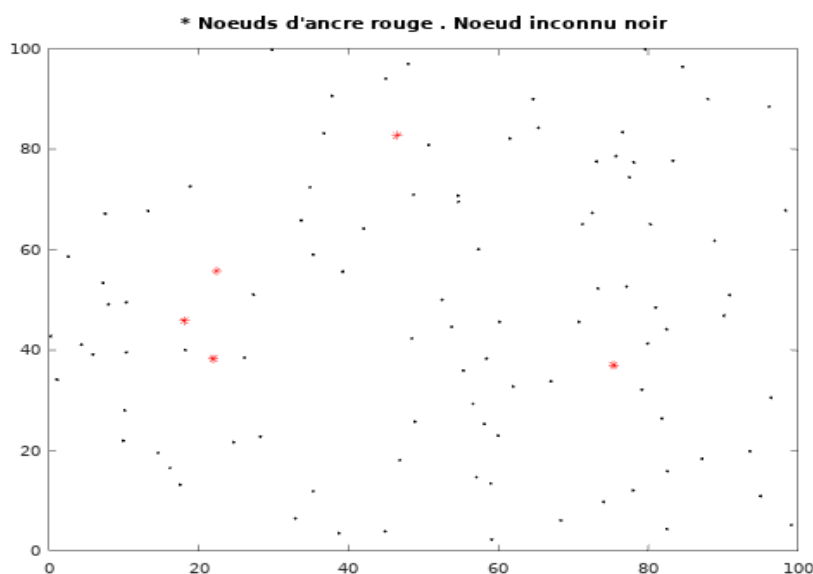


FIGURE 5.5 – Réseau à étudié.

La simulation se déroule selon les étapes suivantes :

1. Les nœuds ancres envoient un message de beacon $[id, x, y, hop]$ pour les autres nœuds de capteur. Où id est l'identifiant du nœud ancre i , (x_i, y_i) sont ses coordonnées et hop est le nombre de sauts par lesquels passe le message de beacon,

initialement $\text{hop} = 0$.

2. Chaque nœud de capteur gère une table qui contient les informations de chaque nœud ancre et stocke le nombre minimal de sauts qui le sépare des différents nœuds ancres.
3. Les nœuds ancres calculent leurs distances moyennes du saut, puis la diffusent à tous les nœuds.
4. Les nœuds capteurs calculent la distance qui les sépare de nœud ancre le plus proche, puis ils calculent ses coordonnées en utilisant la méthode trilatération.

5.4.2 Paramètre de performance

Précision de la localisation

Cette méthode consiste à utiliser la distance euclidienne pour comparer la position réelle d'un nœud avec sa position calculée (*estimée*). Dans cette simulation, l'erreur de localisation est définie comme la fonction d'erreur moyenne comme suit selon [62] :

$$LE = \sum_{i=1}^N \frac{\sqrt{(x' - x)^2 + (y' - y)^2}}{R} \quad (5.1)$$

Où : (x', y') : Les positions réelles.

(x, y) : Les positions estimées.

N : Le nombre de nœuds inconnus.

R : Le rayon de communication.

LE : La fonction d'erreur moyenne.

5.4.3 Résultats du test

Les résultats de notre simulation et les mesures d'évaluation de la performance seront présentés dans ce qui suit :

Nombre de nœuds ancres utilisés

Le tableau 5.1 monte les résultats de la simulation de l'algorithme DV-hop et notre DV-hop amélioré en fonction du taux de nœuds ancres utilisés.

taux de noeuds ancrés %	0.05	0.15	0.25	0.35	0.4
Taux d'erreur (<i>DV-hop</i>)%	42.8	35.5	37	36.2	32.5
Taux d'erreur (<i>DV-hop amélioré</i>)%	38	33.5	34.5	35	31.7

TABLE 5.1 – Taux d'erreur moyenne en fonction du nombre de nœuds ancrés.

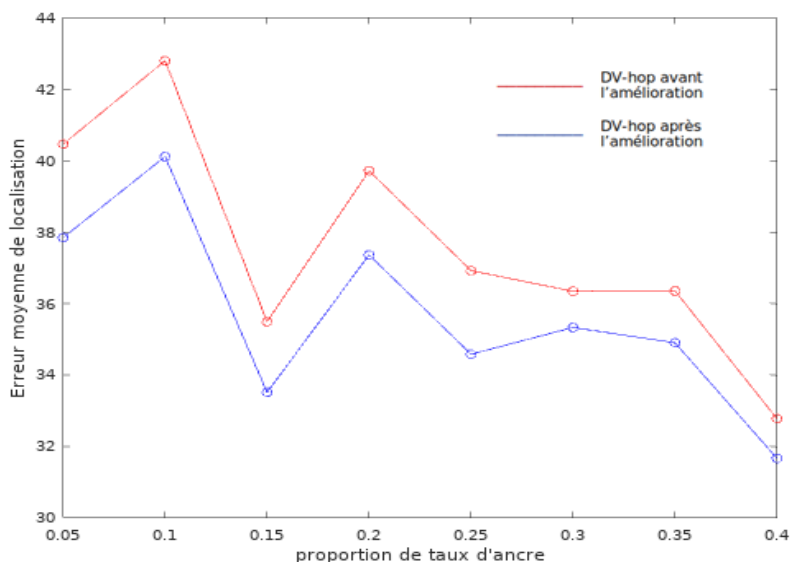


FIGURE 5.6 – Variation de l'erreur moyenne en fonction du nombre de nœuds ancrés.

La figure 5.6 présente la variation du taux d'erreur moyenne en fonction du taux de nœuds ancrés utilisés. Elle montre que le taux moyen d'erreur de localisation diminue avec l'augmentation du nombre de nœuds ancrés déployés dans le réseau pour les deux algorithmes. Nous remarquons que le taux d'erreur de localisation obtenu avec notre algorithme DV-hop amélioré est moins intéressant par rapport à celui obtenu avec la méthode DV-hop car le taux d'erreur moyenne de localisation pour l'algorithme DV-hop varie entre 42.8 % et 32.5 % alors que avec notre DV-hop amélioré varie entre 38 % et 31.7 %.

Nous concluons que notre algorithme DV-hop amélioré donne plus de précision dans le calcul de la position par rapport à l'algorithme DV-hop original grâce à les changements dans le calcul de HopSize et à l'étape que nous avons ajouter pour calculer la moyenne de HopSize.

Nombre total de nœuds utilisés

Le tableau 5.2 montre les résultats de la simulation de l'algorithme DV-hop et notre Dv-hop amélioré en fonction du nombre total de nœuds utilisés sans augmenter le nombre des ances.

Nombre totale de nœuds	100	140	180	200
Taux d'erreur (<i>DV-hop</i>)%	44	56	68	72
Taux d'erreur (<i>DV-hop amélioré</i>)%	44	55	65	70

TABLE 5.2 – Taux d'erreur moyenne en fonction du nombre totale de nœuds utilisés.

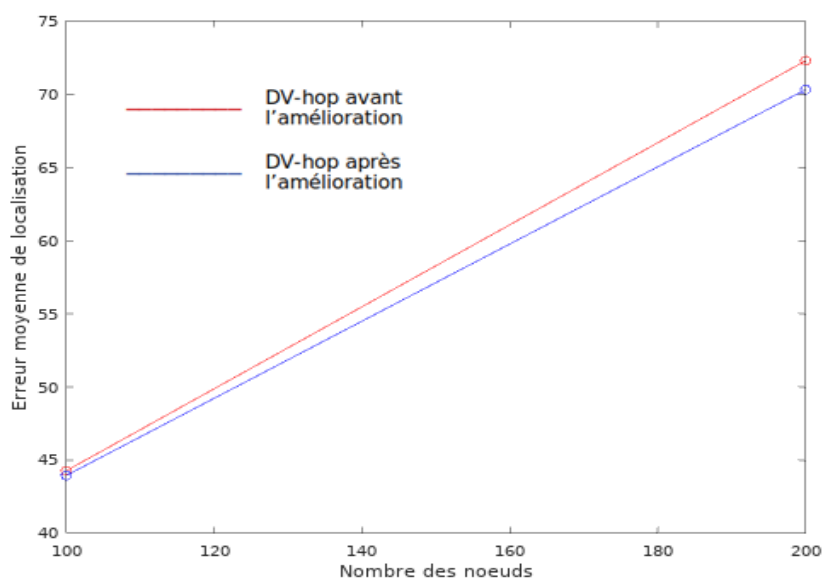


FIGURE 5.7 – Variation de l'erreur moyenne en fonction du nombre total de nœuds.

La figure 5.7 présente la variation du taux d'erreur moyenne en fonction du nombre total de nœuds sans augmenter le nombre des ances. Elle montre que le taux moyenne d'erreur de localisation augmente en augmentant le nombre total de nœuds déployés dans le réseau pour les deux algorithmes. Nous remarquons que le taux d'erreur de localisation obtenu avec notre algorithme DV-hop amélioré est moins par rapport à celui obtenu avec la méthode DV-hop car le taux d'erreur moyenne de localisation pour l'algorithme DV-hop varie entre 44 % et 72 % alors que avec notre DV-hop amélioré varie entre 44 % et 70 %.

Nous concluons que notre algorithme DV-hop amélioré donne plus de précision dans le calcul de la position par rapport à l'algorithme DV-hop original grâce à les changement que nous avons effectué de la calcule de HopSize et également l'étape que nous avons ajouter pour calculer la moyenne de HopSize.

Le tableau 5.3 montre les résultats de la simulation de l'algorithme DV-hop et notre Dv-hop amélioré en fonction du nombre total de nœuds utilisés avec une augmentation dans le nombre des ancrs.

Nombre totale de nœuds	100	200	300	400
Nombre de nœuds ancrs	5	40	135	320
Taux d'erreur (<i>DV-hop</i>)%	55.65	53	40	40.17
Taux d'erreur (<i>DV-hop amélioré</i>)%	54.77	52	37	39.22

TABLE 5.3 – Taux d'erreur moyenne en fonction du nombre totale de nœuds utilisés.

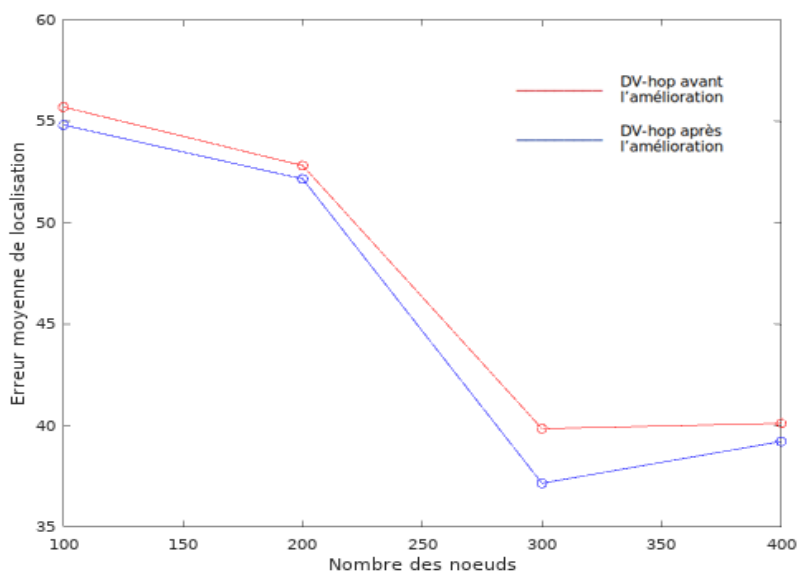


FIGURE 5.8 – Variation de l'erreur moyenne en fonction du nombre total de nœuds.

La figure 5.8 présente la variation du taux d'erreur moyenne en fonction du nombre total de nœuds avec une augmentation de nombre des ancrs. Elle montre que le taux moyenne d'erreur de localisation diminue en augmentant le nombre total de nœuds déployés et le nombre des ancrs dans le réseau pour les deux algorithmes. Nous remarquons

que le taux d'erreur de localisation obtenu avec notre algorithme DV-hop amélioré est moins intéressant par rapport à celui obtenu avec la méthode DV-hop car le taux d'erreur moyenne de localisation pour l'algorithme DV-hop varie entre 55.65 % et 40.17 % alors que avec notre DV-hop amélioré varie entre 54.77 % et 39.22 %.

Nous concluons que notre algorithme DV-hop amélioré donne plus de précision dans le calcul de la position par rapport à l'algorithme DV-hop original grâce à les changements dans le calcul de HopSize et à l'étape que nous avons ajouter pour calculer la moyenne de HopSize.

Rayon de communication

Le tableau 5.4 montre les résultats de la simulation de l'algorithme DV-hop et notre DV-hop amélioré en fonction du rayon de communication utilisés.

portée de communication	25	50	75	100
Taux d'erreur (<i>DV-hop</i>)%	46	15	10.1	8.1
Taux d'erreur (<i>DV-hop amélioré</i>)%	44	14	10	8

TABLE 5.4 – Taux d'erreur moyenne en fonction du rayon de communication utilisés.

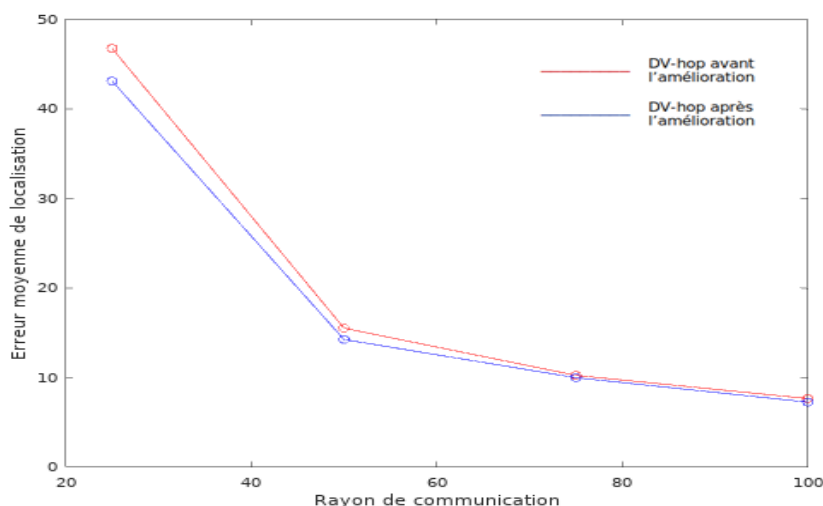


FIGURE 5.9 – Variation de l'erreur moyenne en fonction du rayon de communication.

La figure 5.9 présente la variation du taux d'erreur moyenne en fonction de la portée de communication. Elle montre que le taux moyenne d'erreur de localisation diminue

avec l'augmentation de la portée de communication pour les deux algorithmes. Nous remarquons que le taux de l'erreur moyenne de localisation obtenu avec notre algorithme DV-hop amélioré est moins intéressant par rapport à celui obtenu avec l'algorithme DV-hop quand la portée est entre 25 et 75 unité de mesure.

Nous concluons que notre algorithme DV-hop amélioré fonctionne bien avec une portée entre 25 et 75 unité de mesure grâce à les changements dans le calcul de HopSize et à l'étape que nous avons ajouter pour calculer la moyenne de HopSize.

5.5 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons effectué une simulation pour comparer la précision de l'algorithme DV-Hop amélioré avec l'algorithme DV-Hop traditionnel en fonction du taux de nœuds ancrés, le nombre total de nœuds et la valeur de rayon de communication utilisés. Les résultats de la simulation montrent que les performances de l'algorithme DV-Hop amélioré sont meilleures que celles de l'algorithme DV-Hop dans ce cas de simulation grâce à les changements que nous avons effectué dans le calcul de la distance moyenne du saut (*HopSize*) et également à l'étape que nous avons ajouter pour calculer la moyenne de HopSize.

Conclusion générale et perspectives

Le développement de la technologie de réseau de capteurs sans fil (RCSF) a connu une croissance positive ces dernières années. De cette façon, les réseaux de capteurs sans fil ont suscité un certain intérêt dans le monde scientifique, entraînant des avancées technologiques importantes, en particulier dans les domaines (*militaire, médical, environnemental, etc*) au cours de ces dernières années grâce à leurs diverses fonctionnalités. Les réseaux de capteurs sans fil constituent des sujets de recherche innovants pour diverses disciplines des sciences et techniques de l'information et de la communication, mais avec toutefois des contraintes spécifiques s'élevant en défis. Parmi les problèmes posés dans ce type de réseaux, on trouve :

- La contrainte énergétique, c'est à dire gérer la consommation d'énergie d'une manière raisonnable.
- Le coût de conception d'un RCSF (*nombre de nœuds réduit*).
- La durée de vie d'un réseau.
- La localisation, notamment comment trouver la position réelle.

Ce mémoire est divisée en deux parties une partie de déploiement et une de localisation :

- Dans la partie de déploiement, le coût de conception et la durée de vie sont des critères majeurs pour construire un RCSF sous les contraintes de couverture et la connectivité. Pour augmenter la durée de vie et minimiser le coût plusieurs stratégies et protocoles ont été proposées pour résoudre ce genre de problème. C'est dans le cadre de cette thématique que nous avons proposé une nouvelle topologie.
- Dans la partie de localisation, la connaissance de la position d'un capteur est très importante afin de mieux utiliser les informations qu'il collecte et transmet.

Cependant, la précision de cette position dépend de la méthode de localisation utilisée. En fait, diverses méthodes ont été proposées pour améliorer la précision de la localisation. Dans ce contexte, nous avons proposé une amélioration de la méthode de localisation DV-Hop.

Les résultats de simulation montrent que la proposition et les améliorations réalisées sont globalement satisfaisantes. En guise de perspective, nous envisageons de :

- Remplacer l'algorithme trilatération qui calcule les coordonnées en 2D dans notre algorithme DV-hop amélioré par l'algorithme ABC (*Assumption Based Coordinate*) qui permet de dériver les positions en 3D.
- Appliquer la technique AT-Free sur notre algorithme DV-hop amélioré pour gérer les diffusions en limitant le nombre de diffusion d'un ancre.
- Évaluer la consommation d'énergie de notre algorithme DV-hop amélioré.
- Appliquer les différents protocoles sur notre topologie et compare les résultats.
- Comparer les résultats de déploiement déterministe et aléatoire avec le protocole LEACH.

Bibliographie

- [1] Ian F. AKYILDIZ Dario POMPILI, Tommaso MELODIA. Deployment analysis in underwater acoustic wireless sensor networks. *Proceeding WUWNet '06 Proceedings of the 1st ACM international workshop on Underwater networks*, 2006.
- [2] Cheick Tidjane KONE. Conception de l'architecture d'un réseau de capteurs sansfil de grande dimension. *Thèse de doctorat. Université Henri Poincaré. Nancy I.*
- [3] Sipra Das Bit Subir Halder, Amrita Ghosal. A pre-determined node deployment strategy to prolong network lifetime in wireless sensor network. *Computer Communications*, 2011.
- [4] Malek KHENFER Mohammed HADADJ. Etude comparative entre les protocoles de routage rcsf. *Mémoire master Professional. Réseaux Convergence et sécurité. Université Kasdi Merbah. Ouargla*, 2016-2017.
- [5] EZGUI Zahia Yasmina MAKHLOUFI. Etude des mécanismes de gestion des clés dans les réseaux de capteurs sans fils - proposition d'un protocole hybride basé sur la stéganographie. *Mémoire de Master. Université A.Mira. Béjaïa*, 2012/2013.
- [6] Mohamed BENAZZOUZ. surveillance de tout point d'une zone d'intéret à l'aide d'un réseau de capteur multimédia sans fil. *Magistère IRM. Ecole nationale supérieure d'informatique Ouad-Smar. Alger*, 2013.
- [7] <http://www-igm.univ-mlv.fr/~dr/XPOSE2006/Bunel/Presentation.html>., Octobre 2019.
- [8] Amina DJIRAL. Implémentation et réalisation d'un algorithme de localisation « centroid » dans les rcsf. *Mémoire de Master. Université Abou Bakr Belkaid. Tlemcen*, 2014/2015.

-
- [9] <http://www-igm.univ-mlv.fr/~dr/XPOSE2006/AurelieBunel/Presentation.html>, Octobre 2019.
- [10] Billal ARIBI Abdelkrim HADJADJ. Réseaux de capteurs sans fil pour le contrôle des paramètres ambiants dans un bâtiment d'élevage de volaille. *Mémoire de Master. Université AMO. Bouira*, 2017/2018.
- [11] <https://www.omega.ca/fr/resources/senseurs-sans-fil>, Octobre 2019.
- [12] Ibrahima Diane. Optimisation de la consommation d'énergie par la prise en compte de la redondance de mesure dans les réseaux de capteurs. *Thèse de doctorat. Université de Toulouse*, 2014.
- [13] Salima MELOUK Dihia MAKHMOUKH. Approche de minimisation de la consommation d'énergie de les reseau de capture sans fil. *Mémoire de Master. Université A.Mira. Béjaia*, 2017.
- [14] Samir ATHMANI. Protocole de sécurité pour les réseaux de capteurs sans fil. *Magistère. Université Hadj Lakhder. Batna*.
- [15] Souhila OUADAH Samia MAAROUF. Implémentation et évaluation des schémas de routage sur une plateforme réelle de réseaux de capteurs sans fil. *Mémoire de Master. Université Abou Bakr Belkaid. Tlemcen*, 2013/2014.
- [16] Mohamed ESSAID KHANOUCHE. Le traitement du problème de la couverture les réseaux de capteurs sans fil. *mémoire de Magistère. Réseaux et Systèmes Distribués. Université A.Mira. Bejaia*, 2007-2008.
- [17] Dr. Mustapha Reda SENOUCI. Le déploiement dans les réseaux de capteurs fil. *cerist news. bulletin d'information trimestriel. Centre de recherche sur l'information scientifique et technique*, décembre 2014.
- [18] Diery Ngom. Optimisation de la durée de vie dans les réseaux de capteurs sans fil sous contraintes de couverture et de connectivité. *thèse de doctorat. Université de Haute Alsace (France) et de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar (Sénégal). Ecole Doctorale Mathématique-Informatique*, 2016.
- [19] Leila BENDJELLOULI Amina OTMANI. Implémentation et sécurisation d'un rcsf pour la surveillance de la température. *Memoire de master. Réseaux Mobiles et Services de Télécommunication. Université Abou Bakr Belkaid. Tlemcen*, 2016.

-
- [20] Fatih SENEL et Brian McLaughlan Kemal AKKAYA. Clustering of wireless sensor and actor networks based on sensor distribution and connectivity. *Parallel and Distributed Computing*, 2009.
- [21] Jan BEUTELH Chris SAVARESE, Jan M. RABAEY. Location in distributed ad-hoc wireless sensor networks. *International conference*, 2001.
- [22] Krishnendu CHAKRABARTY S.S. DHILLON. Sensor placement for effective coverage and surveillance in distributed sensor networks. *IEEE Wireless Communications and Networking*, 2003.
- [23] Parameswaran RAMANATHAN Kewal K. SALUJA Thomas CLOUQUEUR, Veradej PHIPATANASUPHORN. Sensor deployment strategy for target detection. *Proceedings of the 1st ACM international workshop on Wireless sensor networks and applications*, 2002.
- [24] L Wang B Xu X Cheng, DZ Du. Relay sensor placement in wireless sensor networks. *ACM/Springer Journal of Wireless Networks*, 2008.
- [25] Galen SASAKI Edoardo S. BIAGIONI. Wireless sensor placement for reliable and efficient data collection. *Proceeding HICSS '03 Proceedings of the 36th Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, 2003.
- [26] S. BANERJEE K. KAR. Node placement for connected coverage in sensor networks. *Proceedings of the Workshop on Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc and Wireless Networks (WiOpt' 03), Sophia Antipolis, France*, 2003.
- [27] Suman Banerjee Rajagopal Iyengar, Koushik Kar. Low-coordination topologies for redundancy in sensor networks. *Proceeding MobiHoc '05 Proceedings of the 6th ACM international symposium on Mobile ad hoc networking and computing*, 2005.
- [28] Sajal K. Das Amitabha Ghosh. Review : Coverage and connectivity issues in wireless sensor networks : A survey. *Pervasive and Mobile Computing*, 2008.
- [29] Ten H Lai Santosh Kumar, Anish Arora. On the lifetime analysis of always-on wireless sensor network applications. *IEEE Int Mobile Adhoc and Sensor Systems Conf*, 2005.
- [30] Qing Zhao Yunxia Chen. On the lifetime of wireless sensor networks. *IEEE Communications Letters*, 2005.

-
- [31] G. Pujolle M. Esseghir, N. Bouabdallah. A novel approach for improving wireless sensor network lifetime. *IEEE 16th Int Symp Personal. Indoor and Mobile Radio Communications PIMRC*, 2005.
- [32] Cem Ersoy E.I. Oyman. Multiple sink network design problem in large scale wireless sensor networks. *IEEE International Conference on Communications*, 2004.
- [33] Baochun Li Zhihau Hu. On the fundamental capacity and lifetime limits of energyconstrained wireless sensor networks. *Real-Time and Embedded Technology and Applications Symposium 2004 Proceedings RTAS 2004 10th IEEE*, 2004.
- [34] Gianluca Mazzini Andrea Conti Roberto Verdone, Davide Dardari. *Wireless sensor and actuator networks : technologies analysis and design*. Academic Press.
- [35] Y Sankarasubramaniam E Cayirci I F Akyildiz, W Su. Wireless sensor networks : a survey. *Computer networks*, 2002.
- [36] Konstantinos Kalpakis Koustuv Dasgupta, Meghna Kukreja. Topology-aware placement and role assignment for energy-efficient information gathering in sensor networks. *Proceeding ISCC '03 Proceedings of the Eighth IEEE International Symposium on Computers and Communications*, 2003.
- [37] P.K. Varshney Nojeong Heo. A distributed self spreading algorithm for mobile wireless sensor networks. *IEEE Wireless Communications and Networking WCNC*, 2003.
- [38] Ni Lionel M Liu Yunhuai, Ngan Hoilun. Power-aware node deployment in wireless sensor networks. *International Journal of Distributed Sensor Networks-Sensor Networks, Ubiquitous and Trustworthy Computing*, 2007.
- [39] Jouaber Badii Afifi Hossam Slama Ines, Ghedira Mohamed Chedly. Cluster based wireless sensor networks' optimization under energy constraints. *3rd International Conference on Intelligent Sensors Sensor Networks and Information*, 2007.
- [40] Takahara Glen Xu Kenan, Hassanein Hossam. Relay node deployment strategies in heterogeneous wireless sensor networks : multiple-hop communication case. *Second Annual IEEE Communications Society Conference on Sensor and Ad Hoc Communications and Networks*, 2005.

-
- [41] Nakjung Choi Yanghee Choi Taekyoung Kwon Haeyong Kim, Yongho Seok. Optimal multi-sink positioning and energy-efficient routing in wireless sensor networks. *International conference on information networking*, 2005.
- [42] Selim Akl Waleed Alsalih, Hossam Hassanein. Placement of multiple mobile data collectors in wireless sensor networks. *Ad Hoc Networks*, 2010.
- [43] Meenakshi BANGAD Kemal AKKAYA, Mohamed YOUNIS. Sink repositioning for enhanced performance in wireless sensor networks. *Computer Networks*, 2005.
- [44] Chiara PETRIOLI Z. Maria WANG, Emanuel MELACHRINOUDIS. Exploiting sink mobility for maximizing sensor networks lifetime. *Proceeding HICSS '05 Proceedings of the Proceedings of the 38th Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, 2005.
- [45] Imad BOUKHANOUF Fawzi BELDJOUFI. Étude des algorithmes de localisation dans les réseaux de capteur sans fil. *Mémoire de Master. Université A.Mira. Bejaïa*, 2017/2018.
- [46] Fatima BELAMRI Zinedine GUENDOZEN. Evaluation des performances des algorithmes de géolocalisation dans les réseaux de capteurs sans fil. *Mémoire de Master. Université A.Mira. Bejaïa*, 2013/2014.
- [47] <https://www.meinbergglobal.com/english/news/multi-gnss-support-for-ims-and-lantim.html>, Octobre 2019.
- [48] Messaoud KARA. Réseau de capteurs sans fil : étude en vue de la réalisation d'un récepteur gps différentiel à faible coût. *Thèse de doctorat. Université Blaise Pascal Clermont Ferrand II*, 2009.
- [49] Mounya Amal SARI. etude du rssi pour l'estimation de la distance dans les réseaux de capteurs sans fil. *Mémoire de master. Réseaux et Systèmes Distribués. Université Abou Bakr Belkaid. Tlemcen*, 2016/2017.
- [50] Belkheyr SAHRAOUI. La géo-localisation dans les réseaux de capteurs sans fil. *Mémoire d'Ingénieur. Université Abou Bakr Belkaid. Tlemcen*, 2010-2011.
- [51] Nath BADRI Niculescu DRAGOS. Dv based positioning in ad hoc networks. *Université d'État du New Jersey Rutgers*, 2002.

-
- [52] Seyyed Ali HAOUASSI Boubekour GHEDDOUCHE. Estimation optimale de la localisation des noeuds dans les réseaux de capteurs sans fils. *Mémoire de Master. Université A.Mira. Béjaia*, 2013-2014.
- [53] Massicilia YAHIAOUI. Un algorithme distribué pour la localisation dans les rcsfs. *Mémoire de Master. Université A/Mira. Béjaia*, 2016-2017.
- [54] Fatma AMOKRANE. Routage avec optimisation de la consommation d'énergie dans les réseaux de capteurs sans fil. *Mémoire de master. Université A.Mira. Bejaïa*, 2016.
- [55] S Boulfekhar. Approche de minimisation d'énergie dans les réseaux de capteurs. *Thèse Magister. Université A.Mira. Béjaia*, 2005-2006.
- [56] H. Balakrishnan W. Heinzelman, A. Chandrakasan. Energy-efficient communication protocol for wireless sensor networks. *the Proceeding ofthe Hawaii International Conference System Sciences Hawaii*, January 2000.
- [57] L Kleeinnrock H Takagi. Optimal transmission ranges for randomly distributed packet radio terminals. *IEEE Transaction on Communication*, 1984.
- [58] Nadjib BADACHE Lyes KHELLADI. Les réseaux de capteurs : état de l'art. *Rapport de recherche. LSI-Département Informatique. USTHB*, 2007.
- [59] J Kulik W B Heinzelman and H Balakrishnan. Adaptive protocols for information dissemination in wireless sensor networks. *Proceedings of the 5th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom'99) Seattle WA. USA*, 1999.
- [60] Ping Deng Hing Cheung So Hongyang Chen, Kaoru Sezaki. An improved dv-hop localization algorithm for wireless sensor networks. *Département d'ingénierie de l'information et de la communication. Université de Tokyo. Japon*, 2008.
- [61] Benliang Zhang Xiao Chen. Improved dv-hop node localization algorithm in wireless sensor networks. *École d'ingénierie électronique et de l'information. Université des sciences et technologies de l'information de Nanjing. Chine*, 2012.
- [62] Jian Li 1 Jianmin Zhang, Ning Guo. An improved dv-hop localization algorithm based on the node deployment in wireless sensor networks. *International Journal of Smart Home*, 2015.

Résumé

Durant ce mémoire, nous avons abordé des problématiques liées à l'optimisation de déploiement et de localisation de cible dans les réseaux de capteurs sans fil. Nous avons tout d'abord proposé deux modèles pour l'optimisation de deux objectifs : optimiser le nombre de capteurs déployés pour augmenter la durée de vie, maximiser la couverture et la connectivité par une nouvelle topologie qui base sur le protocole de routage LEACH, ensuite nous avons élaboré un modèle pour améliorer la précision de la localisation de l'algorithme DV-hop.

Mots clés: Algorithme DV-hop, réseau de capteur sans fil, Erreur de localisation, précision de localisation, Déploiement, Routage.

Abstract

During this thesis, we addressed issues related to the optimization of deployment and localization targets in wireless sensor networks. We first proposed two models for the optimization of two objectives: optimizes the number of sensors deployed to increase service life, maximize coverage and connectivity by new topology based on the LEACH routing protocol. Then we developed a model to improve the localization accuracy of the DV-hop algorithm.

Key words: DV-hop Algorithm, Wireless Sensor Network, Location Error, Location Accuracy, Deployment, Routing.

ملخص

خلال هذه الأطروحة ، تناولنا القضايا المتعلقة بتحسين النشر والتوطين أهداف في شبكات الاستشعار اللاسلكية. اقترحنا أولاً نموذجين لتحسين هدفين: تحسين عدد أجهزة الاستشعار التي تم نشرها لزيادة عمر الخدمة ، وزيادة التغطية والاتصال إلى الحد الأقصى باستخدام طوبولوجيا جديدة تستند إلى بروتوكول توجيه LEACH ثم قمنا بتطوير نموذج لتحسين دقة الموقع لخوارزمية DV-hop

كلمات البحث: خوارزمية DV-hop، شبكة الاستشعار اللاسلكية ، خطأ الموقع، دقة الموقع، النشر، التوجيه.