

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A. Mira de Bejaia
Faculté des Sciences Exactes
Département d'Informatique



Mémoire de Fin de cycle
En vue de l'obtention du diplôme de Master Professionnel
Option : Administration et sécurité des réseaux informatiques

Etude des techniques et mécanismes de correction de trous
de couverture dans les réseaux de capteurs sans fil (RCSFs)

Réalisé par :

Mlle ZAIDI Hadjira

Mlle MAZIOUA Dalia

Devant le jury composé de :

Examineur :	Mme. YESSAD Samira	MCB	U.A/Mira Bejaia
Examineur :	Mme. MAMMERI Karima	MAA	U.A/Mira Bejaia
Promoteur :	Mme. LARBI-MEZEGHRANE Wahiba	MCB	U.A/Mira Bejaia
Co-Promoteur :	Mr. LARBI Ali	MCB	U.A/Mira Bejaia

Année 2020/2021

❖❖ Remerciements ❖❖

En préambule à ce mémoire nous rendons grâce à ALLAH, qui nous a donné le courage, la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

Premièrement, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu être réalisé sans l'aide et les conseils de Mme. MEZEGHRANE-LARBI Wahiba. Nous la remercions pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience et sa disponibilité, ses qualités pédagogiques et humaines, et ses compétences nous ont apporté un encadrement déterminant dans toutes les phases de ce travail. Qu'elle trouve ici le témoignage de notre profond respect.

Nos remerciements vont aussi à notre Co-encadrant Mr. LARBI Ali, pour sa gentillesse, sa disponibilité et l'aide précieuse qu'il nous a apporté. Sa compréhension, son soutien et son suivi permis de mener à bien ce travail. Qu'il trouve ici l'expression de nos sincères gratitude.

Nous adressons nos sincères remerciements à chacun des membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Nous remercions nos familles respectives et particulièrement nos parents pour leurs soutiens qu'ils nous ont accordés tout au long de notre chemin.

Nous remercions tous nos enseignants du département informatique de l'université ABDRAHMANE MIRA DE BEJAIA.

Nous remercions en toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'accomplissement de ce travail.

❖ Dédicaces ❖

À mes modèles de courage et de sacrifices. Tout au long de leurs vies, ils n'ont su ménager leurs efforts pour notre bien, qu'Allah vous donne une bonne santé et une longue vie, à vous mes chers parents.

À mes charmantes sœurs, mes frères, je dédie ce travail dont le grand plaisir leur vient principalement pour leurs conseils et leurs encouragements.

À ma binôme Dalia et à toute la famille MAZIOUA.

Aux personnes qui m'ont toujours aidée et encouragée, qui ont toujours été à mes côtés, et qui m'ont accompagnée durant mes chemins d'études supérieurs, collègues d'étude.

ZAIDI Hadjira

❖❖ Dédicaces ❖❖

À mes modèles de courage et de sacrifices. Tout au long de leurs vies, ils n'ont su ménager leurs efforts pour notre bien, qu'Allah vous donne une bonne santé et une longue vie, à vous mes Chères parents.

À mon frère, mes charmantes tantes, et mon oncle, je dédie ce travail dont le grand plaisir leur vient principalement pour leurs conseils et leurs encouragements.

À ma binôme Hadjira et à toute la famille ZAIDI.

Aux personnes qui m'ont toujours aidée et encouragée, qui ont toujours été à mes côtés, et qui m'ont accompagnée durant mes chemins d'études supérieurs, collègues d'étude, à mes sœurs de cœur Synou, Soumia et Sylia et mes amis Mehenni, Merouane, Hanafi, Kader et said.

MAZIOUA Dalia

Table des matières

Table des matières	I
Table des figures	II
Liste des tableaux	III
Introduction générale	1
1 Généralités sur les réseaux de capteurs sans fil	
1.1 Introduction	3
1.2 Définition d'un capteur	3
1.3 Architectures physique d'un capteur	4
1.4 Définition d'un RCSFs	5
1.5 Protocole de routage dans RCSFs	6
1.5.1 Protocole de routage à plat	6
1.5.2 Protocole de routage hiérarchique	7
1.6 Critères de création d'un RCSFs	9
1.6.1 La topologie	9
1.6.2 Le cout de la production	9
1.6.3 L'environnement de déploiement	9
1.7 Stratégie et technique de placement des nœuds capteurs dans un RCSFs	9
1.7.1 Déploiement aléatoire	9
1.7.2 Déploiement déterministe	9
1.8 Quelques application des RCSFs	9
1.8.1 Applications domotiques	9
1.8.2 Applications médicales	9
1.8.3 Applications environnementales	10
1.8.4 Applications de sécurité	10
1.8.5 Applications militaires	10
1.9 Couverture et connectivité	10
1.9.1 Connectivité	10
1.9.2 Couverture	11
1.10 Type de couverture	11
1.10.1 Couverture d'une zone	11
1.10.2 Couverture d'un point	12
1.10.3 Couverture d'une frontière	12
1.11 Conclusion	13
2 Techniques et mécanismes de correction de trous de couvertures dans les RCSFs	
2.1 Introduction	15
2.2 Définition d'un trou de couverture	15
2.3 Problématique	15
2.4 La détection de trou de couverture	15
2.4.1 NBR (Network Boundary Recognition)	16

2.4.2 DBN-CH (Detecting Boundary Nodes and Coverage Holes).....	17
2.5 La Correction de trous de couverture.....	17
2.5.1 BCP (Boundary Critical Point).....	17
2.5.2 CHDR (Couverage Hole Detection And RepairAlgorithme).....	19
2.5.3 HACH (Healing Algorithme Of Coverage).....	20
2.5.4 TELPAC (Time And Energy Efficient Protocole For Localisation and Patching coverage hole)	20
2.6 Comparaison de quelques approches de correction des trous de couverture.....	20
2.6.1 Connaissance des positions.....	21
2.6.2 Découverte des voisins.....	21
2.6.3 Détection des trous.....	21
2.6.4Homogénéité.....	21
2.6.5 Type de protocole.....	21
2.7 Conclusion.....	22
3 Implémentation de l'algorithme BCP et évaluation de performance	
3.1 Introduction.....	24
3.2 Motivation.....	24
3.3 Propriété du réseau et hypothèses.....	24
3.4 Fonctionnement général de l'approche.....	25
3.5 Environnement de la simulation.....	25
3.6 Paramètre de simulation.....	25
3.7 Critère de performance.....	26
3.8 Evaluation de performance	27
3.9 Discussion	33
3.10 Conclusion.....	33
Conclusion générale	35
Bibliographie	36

Table des figures

Figure1.1 Exemple d'un nœud capteur.....	3
Figure1.2 Architecture d'un capteur	4
Figure1.3 Réseau de capteur sans fil	5
Figure1.4 Architecture à plat	7
Figure1.5 Architecture hiérarchique	8
Figure1.6 Domaines d'application des réseaux de capteurs sans fil.....	10
Figure1.7 Zone de couverture et zone de communication	11
Figure1.8 Couverture de zone	11
Figure1.9 Couverture de points	12
Figure1.10 Couverture d'une frontière	12
Figure 2.1 L'algorithme NBR : Exemple 1.....	16
Figure 2.2 L'algorithme NBR : Exemple 2.....	16
Figure 2.3 L'algorithme BCP : les points d'intersection et les points critiques.....	18
Figure 2.4 L'algorithme BCP : Emplacement des nouveaux nœuds capteurs.....	18
Figure 2.5 Exemple présentatif de la méthode CHDR.....	19
Figure 3.1 Déploiement avec le scénario 1 avant la phrase de correction.....	27
Figure 3.2 Déploiement avec le scénario 1 après la phase de correction.....	28
Figure 3.3 Déploiement avec le scénario 2 avant la phase de correction.....	29
Figure 3.4 Déploiement avec le scénario 2 après la phase de correction.....	30
Figure 3.5 Temps d'exécution Vs nombre de nœuds déployés scénario 1.....	31
Figure 3.6 Temps d'exécution Vs nombre de nœuds déployés scénario 2.....	32
Figure 3.7 Nombre de trous Vs nombre de nœuds déployés.....	33

Liste des tableaux

Tableau 2.1 Tableau comparatif des protocoles étudiés.....	21
Tableau 3.1 Tableau des paramètres de simulation.....	26

Introduction Générale

Les réseaux de capteurs sans fil (RCSFs) sont de plus en plus présents dans notre vie, leurs domaines d'applications ne cessent de s'agrandir, ils sont utilisés dans des secteurs et domaines très variés, tels que : la surveillance, l'environnement, la santé, la domotique.... Un réseau de capteurs sans fil (RCSFs) est composé d'un ensemble de nœuds capteurs caractérisés par leur petite taille et leur énergie limitée [1]. Ces capteurs peuvent communiquer entre eux et s'échanger des informations afin de surveiller des événements particuliers se produisant dans une surface qu'on appelle zone d'intérêt. Une zone d'intérêt est dite couverte (la couverture est assurée) lorsque tous les points appartenant à cette zone sont surveillés par les capteurs déployés. Ces capteurs sont généralement déployés d'une manière aléatoire, rajouter à cela leur énergie limitée ce qui peut provoquer l'apparition des trous de couverture dans cette même région. Les trous de couvertures dans les RCSFs ont de grave conséquences sur les performances et les qualités du réseau, il peuvent affecter à la fois la couverture et la connectivité, ces trous apparaissent lorsqu'une zone n'est couverte par aucun nœud capteur ou bien quand les nœuds ne fonctionnent plus. C'est pour cette raison que les trous de couverture doivent être détectés dès leurs apparitions, pour ainsi prendre les mesures nécessaires. Beaucoup d'effort ont été fournis par les chercheurs, pour proposer des solutions pour la détection des trous de couverture mais également pour leurs corrections.

Dans ce mémoire nous avons étudié les notions liées aux capteurs et les réseaux de capteurs sans fil. Nous avons également étudié quelques algorithmes qui sont utilisés pour la détection et la correction de trous de couverture dans un réseau de capteur, Notre mémoire est structuré comme suit :

Le premier chapitre fera l'objet d'une présentation détaillée des réseaux de capteurs sans fil : leurs architectures, leurs principales caractéristiques, leurs domaines d'applications ainsi que les types de couverture.

Dans le deuxième chapitre, nous étudierons le problème de la couverture, ainsi que les mécanismes d'ordonnancement d'activité, avec une description de quelques protocoles de détection et de correction des trous de couverture dans les réseaux de capteurs sans fil proposés dans la littérature.

Le troisième chapitre sera consacré à une description détaillée de l'approche BCP et sa simulation.

Enfin notre travail s'achève par une conclusion générale résumant tous les points qui ont été abordés.

Chapitre I : Généralités sur les réseaux de capteurs sans fil

1.1 Introduction

Les Réseaux de Capteurs Sans Fil (RCSFs) ou Wireless Sensor Networks (WSN) en anglais sont considérés comme un type particulier de réseaux ad hoc. Les nœuds de ce type de réseaux consistent en un grand nombre de capteurs capables de s'auto-organiser, de récolter et de transmettre des données environnementales d'une manière autonome.

Dans ce chapitre, nous allons faire un survol des RCSFs en commençant par quelques définitions de base à savoir ; les composants d'un capteur, leurs architectures et leurs domaines d'application.

1.2 Définition d'un capteur

Un capteur est un petit appareil équipé d'une source d'énergie très limitée capable d'effectuer des mesures simples sur son environnement immédiat, comme la température, la vibration, la pression... etc (voir figure 1.1) [1].

Chaque capteur assure des fonctions telles que :la collection, le traitement, et la communication de l'information vers un ou plusieurs points de collecte appelé station de base (SB) [1,2,3].



Figure1.1 : Exemple d'un nœud capteur

1.3 Architecture physique d'un capteur

Un capteur est constitué de quatre composants de base : l'unité d'acquisition des données, l'unité de traitement, l'unité de transmission et l'unité de contrôle d'énergie (voir figure 1.2) [1].

- **Unité d'acquisition** : elle se compose d'une unité de captage, un convertisseur et un filtre. Le nœud capteur permet de mesurer des données environnementales (température, mouvement, pression ...), les signaux analogiques captés sont filtrés pour enlever le parasite, puis convertis en signaux numériques pour pouvoir être traités par l'unité de traitement.
- **Unité de traitement** : elle est composée de deux interfaces pour assurer la liaison entre l'unité d'acquisition et l'unité de transmission, elle permet de traiter les données récupérées en utilisant un système d'exploitation dédiés aux capteurs.
- **Unité de transmission** : elle permet la transmission de données vers d'autres dispositifs, via un support radio.
- **Unité de contrôle de l'énergie** : c'est une ressource énergétique limitée, elle est aussi la plus précieuse d'un réseau de capteurs, car elle influe directement sur la durée de vie des capteurs et aussi sur la connectivité du réseau.

De plus les capteurs peuvent se composer d'autres modules supplémentaires. Tel que le GPS, un générateur d'énergie, ou encore un mobilisateur pour les déplacements.

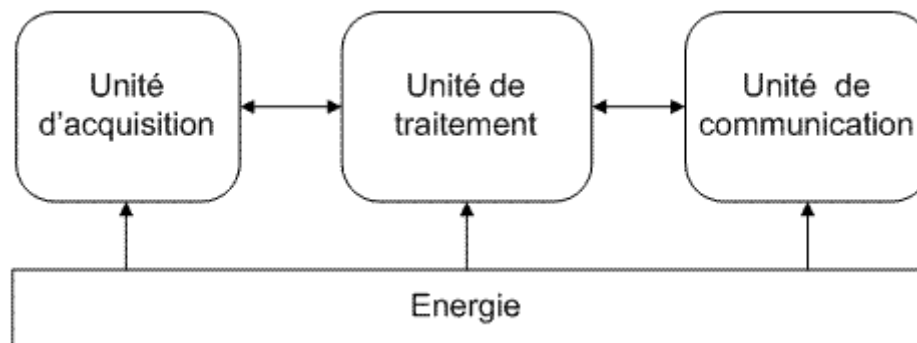


Figure1.2 : Architecture d'un capteur

1.4 Définition d'un RCSFs

Un Réseau de capteur sans fil {RCSFs}, Wireless Sensor Networks (WSN) en anglais se compose généralement d'un ensemble de nœuds qui collaborent et communiquent via des ondes radio pour atteindre un objectif précis, les données collectées qui seront envoyées à une station de base appelée aussi puits [4].

Pour analyser ces données et prendre des décisions la Station de Base (SB) est connectée à l'ordinateur central « Gestionnaire de tâches » par satellite ou internet, comme le montre la figure 1.3.

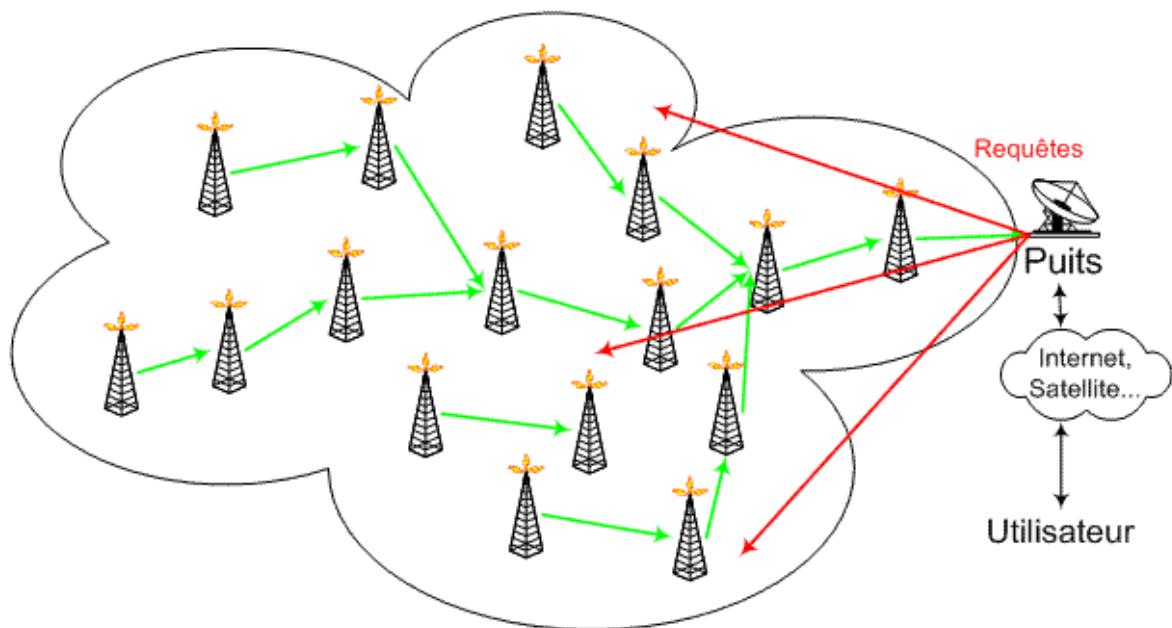


Figure 1.3 : Réseau de capteur sans fil

1.5 Protocole de routage dans les RCSFs

Dans les RCSFs, les capteurs sont déployés en grand nombre pour surveiller et faire remonter l'information à un centre de contrôle distant. Pour atteindre cette finalité, les capteurs ont la capacité de communiquer et collaborer entre eux pour acheminer l'information collectée à la station de base en garantissant sa fiabilité et en empruntant le plus court chemin entre le nœud qui a détecté ce phénomène de base et la station de base. Cette opération s'appelle "le routage" de l'information.

Les contraintes présentées dans les RCSFs ont donné naissance à des protocoles de routage différents de ceux des autres réseaux sans fil puisque la contrainte énergétique se pose avec force dans les RCSFs. De ce fait, les protocoles de routage conçus pour les RCSFs doivent garantir l'acheminement de l'information entre tous les nœuds du réseau et la station de base.

1.5.1 Les protocoles de routage à plat

Ces protocoles de routage sont des protocoles non hiérarchiques dans lesquels les nœuds jouent le même rôle et ont la même tâche. L'acheminement des paquets de la part d'un nœud dépend de sa position dans le réseau. Nous présentons dans ce qui suit quelques protocoles qui sont fondés sur cette architecture (voir la figure 1.4):

- **DSDV (Destination Sequenced Distance Vector) :** DSDV est un protocole proactif de routage basé sur l'approche du vecteur à distance et dans lequel les nœuds sont déployés aléatoirement. Dans DSDV, chaque nœud possède une table de routage contenant le saut suivant et le nombre des sauts vers une destination bien précise. La table de routage est actualisée périodiquement. En outre, pour éviter les bouclages, DSDV attribue un numéro de séquence pour chaque route. Ainsi la route qui dispose d'un numéro de séquence plus grand, sera favorisée [5].
- **DSR (Dynamic Source Routing) :** DSR est un protocole de routage qui utilise la technique de routage source. Cette technique permet à la source de déterminer le chemin ou bien la séquence complète des nœuds parcourus pour atteindre une destination [6].
- **OLSR (Optimized Link State Routing) :** OLSR est un protocole basé sur des relais multipoints (MPR). MPR consiste essentiellement, pour un nœud donné de ne pas prendre en considération tous les liens vers les voisins mais seulement une partie dans laquelle ces nœuds peuvent atteindre tous les voisins des voisins [5].

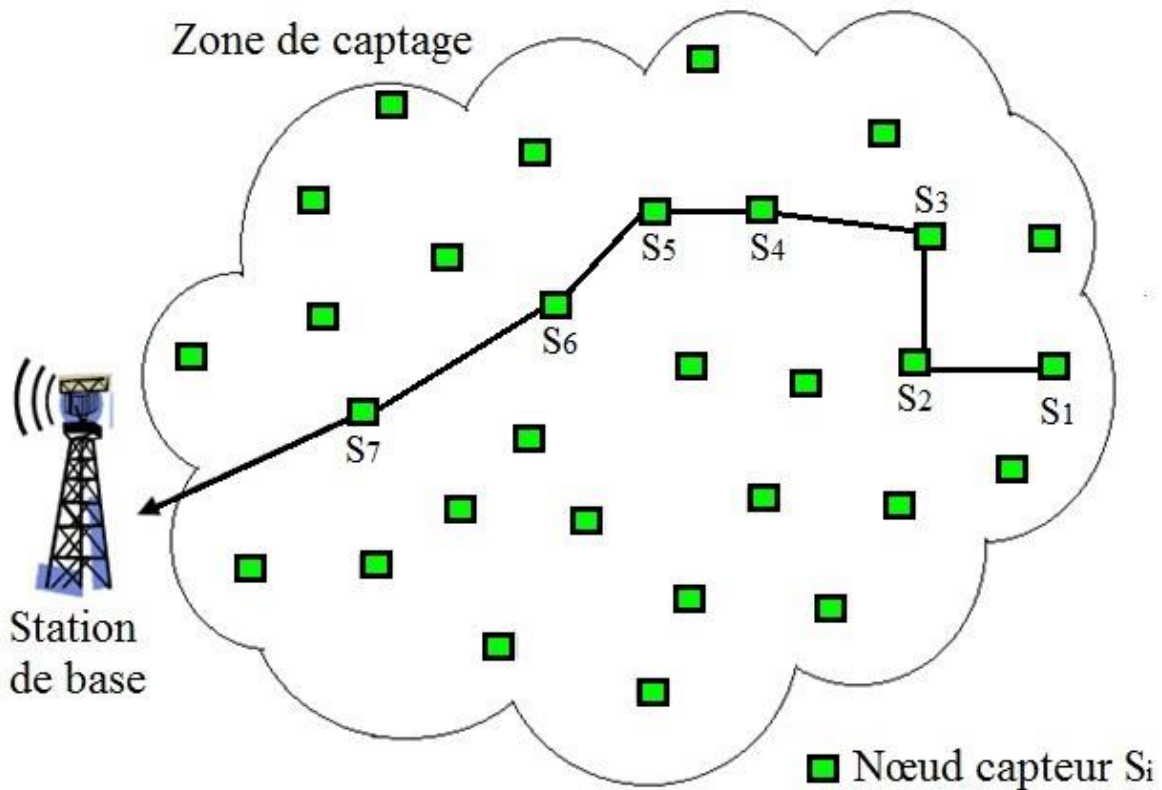


Figure1.4 : Architecture à plat

1.5.2 Les protocoles de routage hiérarchiques

Dans les RCSFs, la majorité des protocoles de routage sont des protocoles hiérarchiques. Ces protocoles sont conçus dans le but de réduire la consommation d'énergie lors de l'établissement de routes, notamment dans les réseaux à grande échelle.

Le routage hiérarchique permet de partitionner le réseau en sous ensemble pour faciliter la gestion du réseau et préserver par la suite l'énergie. Le partitionnement du réseau permet d'organiser le réseau de telle sorte que chaque sous ensemble de nœuds à un super nœud appelé cluster-head. Ce dernier gère cet ensemble de nœuds et communique avec d'autres cluster-heads (voir la figure 1.5).

Parmi les protocoles utilisés dans le routage hiérarchique nous pouvons citer :

- **HEED (Hybrid, Energy-Efficient, Distributed Approach):** HEED est un protocole de routage conçu pour les RCSFs. Il est basé sur un algorithme de clustering distribué. HEED ne dépend pas de la topologie du réseau ni de sa taille mais il suppose que les capteurs sont intelligents i.e. ils ont la possibilité de modifier leur puissance de transmission. HEED construit les cluster-heads selon un critère hybride regroupant le degré des nœuds et leurs énergies restantes. Il vise à réaliser une distribution uniforme des clusters dans le réseau et à générer des clusters équilibrés en taille [7].

- **LEACH (Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy)** : LEACH est basé sur un algorithme de clustering distribué. C'est un protocole conçu pour le routage dans les réseaux de capteurs homogènes où les capteurs ont les mêmes caractéristiques et les mêmes capacités. Dans LEACH, les cluster-heads sont choisis aléatoirement et communiquent directement avec la station de base ce qui permet de minimiser la consommation et réduire la quantité d'informations envoyées à la station de base [7].
- **PEGASIS (Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems)**: PEGASIS est une version améliorée du protocole LEACH. Ce protocole forme une chaîne entre les nœuds de sorte que les nœuds reçoivent et communiquent juste des données des nœuds voisins. Les données collectées sont transmises d'un nœud à un autre jusqu'à l'arrivée à un nœud particulier qui va à son tour les transmettre vers la station de base. Les nœuds particuliers sont choisis à tour de rôle selon la politique Round-robin pour le but d'économiser l'énergie. Contrairement au protocole LEACH, PEGASIS ne fixe pas le rôle à un seul nœud mais ils affectent d'autres rôles en fonction de leurs énergies restantes. En plus, PEGASIS suppose que les nœuds peuvent modifier leur puissance de transmission [5].

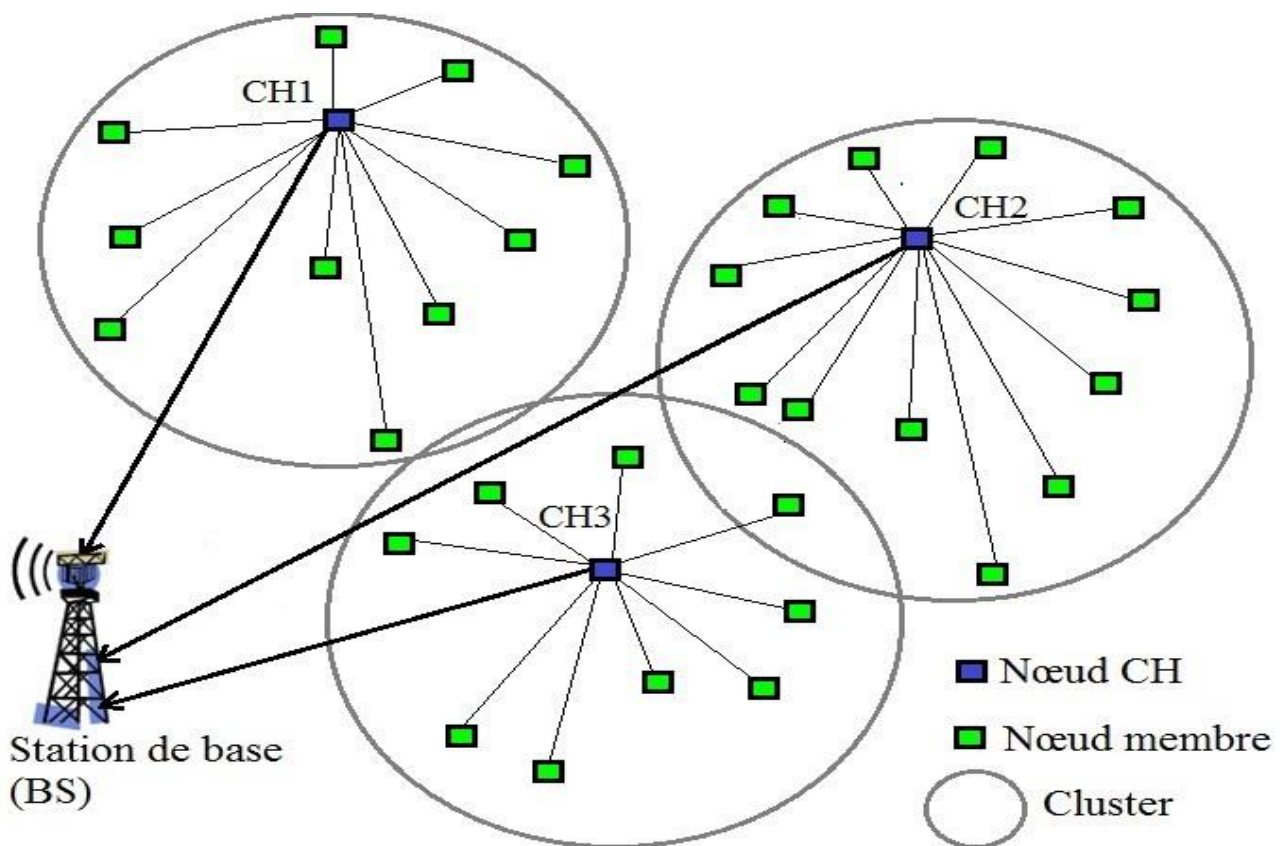


Figure 1.5 : Architecture hiérarchique

1.6 Critères de base d'un RCSFs

Pour concevoir un RCSF, il est nécessaire de prendre en considération plusieurs aspects. Nous décrivons ci-dessous certains critères génériques à satisfaire pour concevoir un RCSF [8] :

1.6.1 Tolérance aux fautes : Comme les capteurs ont une structure particulièrement simple, que leur capacité d'alimentation est limitée et que leur fabrication est à bas coût, ils sont particulièrement sensibles aux moindres défauts de fabrication ou de positionnement. Ils peuvent être facilement endommagés avant le déploiement, lors de celui-ci ou par l'environnement lors du fonctionnement du RCSF. Il faut par conséquent éviter que les dommages causés par ou sur un petit nombre du nœud aient pour résultat la paralysie complète du réseau.

1.6.2 Passage à l'échelle : Le nombre de capteurs est une variable à fixer finement. Il peut varier de quelques centaines ou quelques milliers à quelques millions. Le modèle de calcul distribué doit être particulièrement efficace dans toutes ces situations et doit donc passer à l'échelle. De même la gestion de l'infrastructure ne peut se faire de façon purement centralisée et statique pour éviter la congestion des transmissions. De même la gestion des interférences reste un sujet sensible au niveau physique des communications.

1.6.3 Coûts : Le coût global d'un RCSF est principalement influencé par le prix des nœuds capteurs et de leur logiciel. Il faut donc réduire au maximum le coût unitaire des capteurs. De même, le logiciel de chaque capteur doit être identique et seul un identifiant marqué matériellement permettra de distinguer les différents nœuds entre eux.

1.7 Stratégie et technique de placement d'un nœud capteur

Dans certaines situations où on a une connaissance préalable de la zone de surveillance, les nœuds peuvent être placés de façon déterministe ou aléatoire [9].

1.7.1 Déploiement aléatoire : dépend de la grande taille du réseau ou de l'inaccessibilité de la zone de surveillance.

1.7.2 Déploiement déterministe : dépend des paramètres physique ou physiologique mesurés qui doivent être précis, pertinents et de qualité.

1.8 Quelques applications des RCSFs

Les réseaux de capteurs sans fil ont approuvé leurs importances dans plusieurs domaines d'applications parmi lesquels nous citons (voir la figure 1.6) :

1.8.1 Applications domotiques : Il est possible d'intégrer des capteurs dans la domotique tel que les maisons, les bâtiments, les hôtels... etc. Pour le réglage de l'éclairage et la température par exemple [10].

1.8.2 Applications médicales : Les réseaux de capteurs sont également largement répondus dans le domaine médical. Cette classe inclut des applications comme : la surveillance médicale telle que l'aide à l'administration des médicaments ou encore les analyses biomédicales à distance etc. [1,10].

1.8.3 Applications environnementales : Les réseaux de capteurs sans fil peuvent être utilisés afin de surveiller des phénomènes environnementaux tel que la détection de feux de forêt, détection de polluants (dans l'air, l'eau ou le sol), suivi des phénomènes migratoires, etc. [1,10].

1.8.4 Applications de sécurité : Les capteurs peuvent être intégrés dans les murs ou dans le béton afin de détecter les altérations dans la structure d'un bâtiment, suite à un séisme ou à un vieillissement. Un RCSF de mouvements peut constituer un système d'alarme qui sert à détecter les intrusions sur un large secteur [1].

1.8.5 Applications militaires : Les réseaux de capteurs sont susceptibles d'être une partie intégrante du commandement militaire, surveillance du champ de bataille, la reconnaissance et systèmes de localisation [1].



Figure1.6 : Domaines d'application des réseaux de capteurs sans fil

1.9 Couverture et connectivité

L'objectif principal d'un réseau de capteur sans fil est de couvrir toute la zone c'est-à-dire chaque point doit être surveillé au moins par un capteur pour former ce qu'on appelle une zone de couverture, et c'est ce que on va voir dans ce qui suit en détail.

1.9.1 Connectivité : La connectivité est un facteur déterminant dans les réseaux de capteurs. Elle permet d'assurer l'existence d'au moins un chemin entre chaque capteur et la station de base pour garantir l'acheminement de l'information en tout moment [11].

1.9.2 Couverture : les nœuds capteurs ont une vision limitée du réseau, cela veut dire que le capteur capte juste ce qui se trouve dans sa zone physique, généralement défini par un disque de rayon $RS \ll RC$, RS =rayon de sensation dont lequel la surface est couverte, appelée zone de couverture.

RC =rayon de communication dont lequel les nœuds peuvent se communiquer, appelée zone de communication.

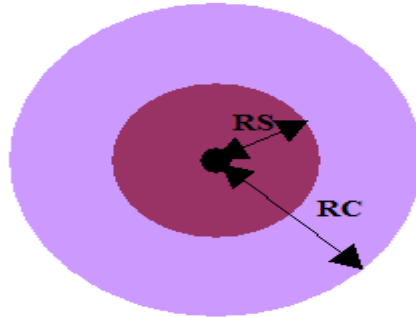


Figure1.7 : Zone de couverture et zone de communication

1.10 Types de couverture

Il existe trois types de couverture [12,13] :

1.10.1 Couverture de zone

L'objectif principal de ce type de couverture est de couvrir une zone géographique (un rectangle dans l'exemple illustré dans la figure 1.8)

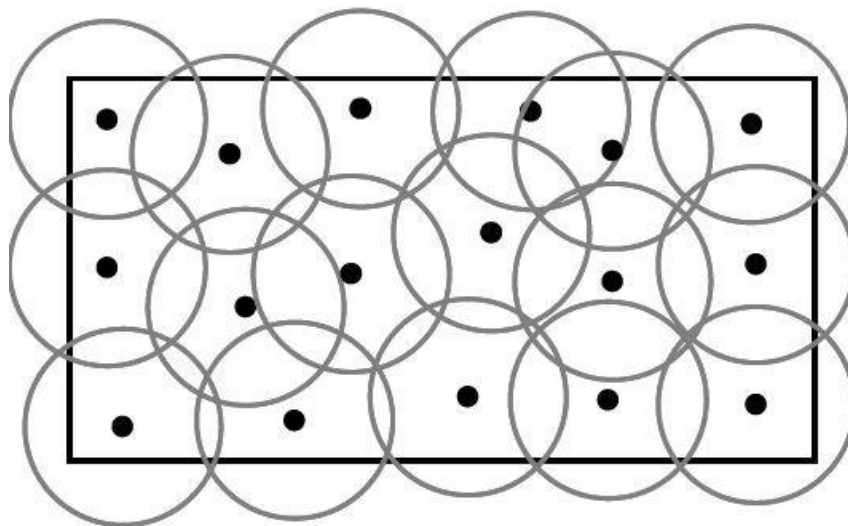


Figure1.8 : Couverture de zone

1.10.2 Couverture de points

Dans ce type de couverture la position géographique (coordonnées) des différents nœuds est connue afin de couvrir un point cible (représenté par une étoile dans la figure 1.9)

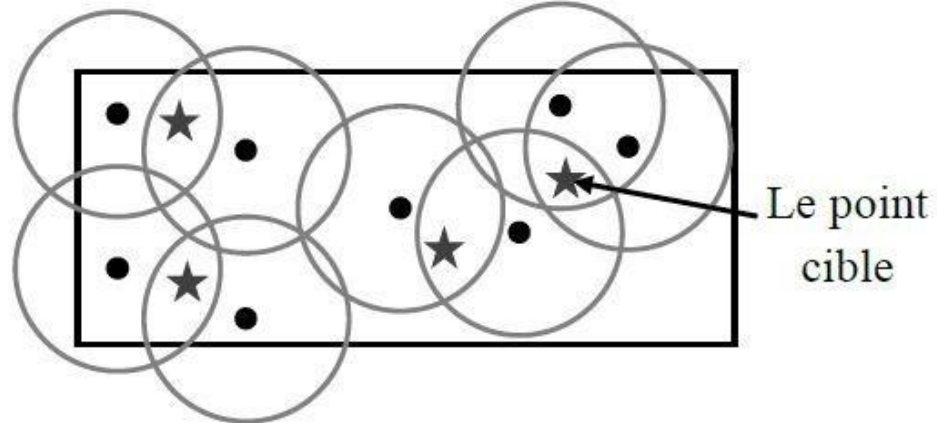


Figure 1.9 : Couverture de points

1.10.3 Couverture d'une frontière

Ce type est principalement utilisé pour la détection d'intrusion dans un réseau. Un exemple est illustré dans la figure suivante :

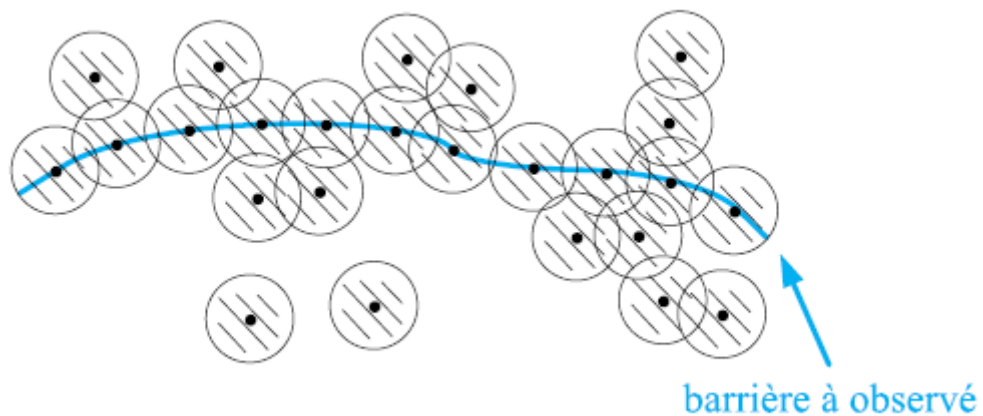


Figure 1.10 : Couverture d'une frontière

1.11 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons vu quelques notions générales liées aux réseaux de capteurs sans fil, à savoir : la connectivité, la couverture, les différents types de couverture, le routage...etc.

Ces notions nous permettront de mieux comprendre les nouveaux concepts qu'on abordera dans le deuxième chapitre ; qui s'accroissent particulièrement sur la problématique de la détection des trous de couverture dans les réseaux de capteurs sans fil mais aussi leurs corrections.

**Chapitre II : Techniques et mécanismes de
correction de trous de couverture dans les
RCSFs**

2.1 Introduction

Les applications des RCSFs nécessitent un déploiement des capteurs sur toute la surface de la zone d'intérêt afin de collecter les informations nécessaires au fonctionnement du réseau. Une connectivité et une couverture fiables ne peuvent être garanties que si la zone est entièrement surveillée par les capteurs déployés et que la zone d'intérêt ne contient pas de trous de couverture.

Dans ce chapitre, nous présenterons la notion de trous de couverture, la problématique liée à la présence d'un trou de couverture dans la région d'intérêt, ainsi que quelques approches proposées dans la littérature pour la détection et la correction de ces trous.

2.2 Définition d'un trou de couverture

Les trous de couverture représentent des zones (ou régions) plus ou moins grandes à l'intérieur de la région d'intérêt qui ne sont surveillées par aucun des capteurs déployés [15]. Les trous de couverture peuvent être classés en deux catégories [16].

- Trous accessibles : sont constitués de trous qui peuvent être corrigés (par exemple, les trous causés par l'épuisement de l'énergie des capteurs), Ces trous peuvent être corrigés, et doivent l'être dès qu'ils apparaissent.
- Trous non accessibles : sont constitués des trous qui ne peuvent pas être réparés (par exemple, les trous causés par la présence d'obstacles tels que des rivières, des bâtiments, etc.).

2.3 Problématique

L'existence de trous de couverture dans un réseau de capteurs sans fil a de graves conséquences sur les performances et la qualité du réseau, ils peuvent affecter à la fois la couverture et la connectivité. Ces trous apparaissent lorsqu'une zone n'est couverte par aucun nœud capteur ou lorsqu'un ou plusieurs nœuds ne fonctionnent plus. Un trou doit avant tout être détecté, c'est l'objectif des algorithmes de détection de trous, ensuite, une fois qu'un trou de couverture a été identifié, il est nécessaire de le réparer à l'aide de nœuds capteurs supplémentaires. Un certain nombre d'approches ont été proposées pour combler les trous de couverture dans les RCSFs, la clé pour déterminer l'emplacement optimal de nouveaux nœuds est d'avoir un chevauchement minimum entre les surfaces de couverture des nouveaux nœuds placés dans la zone détectée et les surfaces de couverture des nœuds existants dans le réseau.

2.4 La détection de trous de couverture

L'objectif principal des algorithmes de détection de trous de couverture est d'assurer le bon fonctionnement du réseau de capteur, en veillant à détecter les trous de couverture dès leur apparition. Parmi ces algorithmes nous citons NBR [17] et DBN-CH [18]

2.4.1 NBR (Network Boundary Recognition)

Cet algorithme est basé sur une méthode statistique qui ne nécessite pas d'informations sur la localisation des capteurs pour déterminer la limite du trou [17].

Les auteurs dans [17] se sont basés sur une technique de clustering des graphes afin de reconnaître la limite du trou, cette technique nécessite la division du réseau en clusters (petits réseaux) et identifier les nœuds situés à la frontière de chaque cluster. Les auteurs ont fusionné les clusters adjacents afin de trouver les nœuds frontières, ils ont considéré chaque nœud non fusionné à deux clusters ou plus comme nœud limite du trou. L'inconvénient de cet algorithme est la détection des nœuds à l'intérieur du réseau qui seront considérés comme nœuds limites.

La figure 2.1 et figure 2.2 montrent un réseau avec n nœuds, les nœuds limites sont colorés avec une couleur foncée, le trou n'a pas de forme fixe ça peut être un cercle ou un carrée ou tout autre forme.

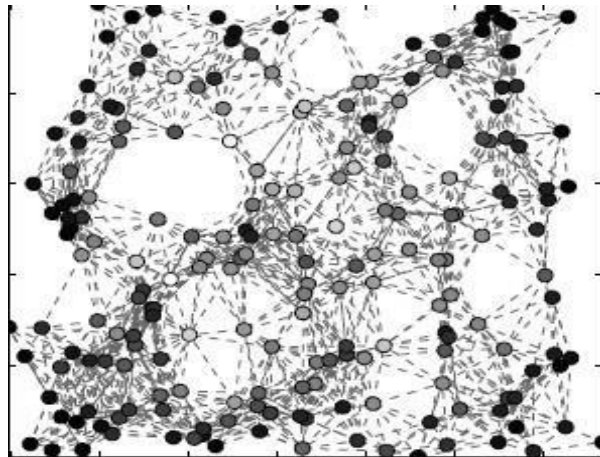


Figure2.1 : L'algorithme NBR : Exemple 1

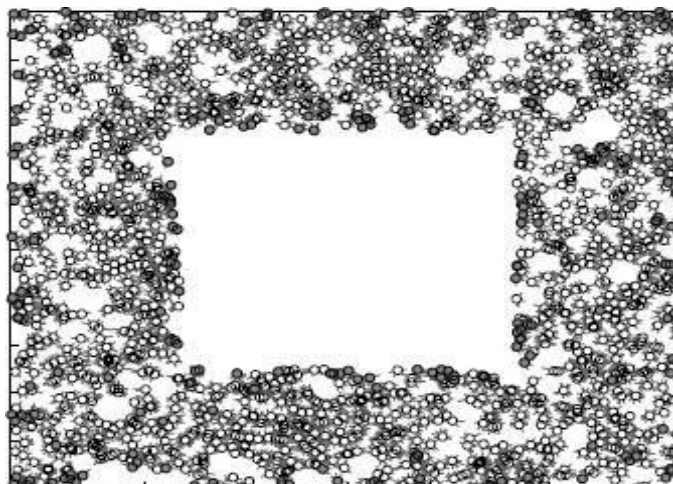


Figure2.2 : L'algorithme NBR: Exemple 2

2.4.2 DBN-CH (Detecting Boundary Nodes and Coverage Holes)

Dans la méthode proposée dans [18], le déploiement se fait de manière aléatoire, chaque nœud a un identifiant unique et connaît son propre emplacement et l'emplacement de ses voisins à 1 saut et ses voisins à 2 sauts, tous les nœuds peuvent communiquer directement avec les nœuds voisins appartenant à leur portée de communication, le rayon de détection R_s et le rayon de communication R_c sont égaux. La solution proposée est réalisée en deux étapes, à savoir la détection des nœuds restreints et l'identification des trous de couverture. En première étape, chaque nœud peut détecter de manière autonome s'il s'agit d'un nœud limite, en fonction de l'algorithme DSCS (Distributed Sector Coverage Scan). Dans la deuxième étape, Basée sur l'algorithme DW (Directional Walk), les nœuds restreints peuvent être regroupés en fonction des trous de couverture et des restrictions externes du RCSF qu'ils forment.

Le principe de fonctionnement du DSCS est le suivant : la zone de détection de chaque nœud est divisée en plusieurs secteurs, si tous les secteurs de la zone de détection d'un nœud sont couverts, donc le nœud n'est pas un nœud limite, sinon le nœud est traité comme un nœud limite. L'algorithme DW est basé sur l'algorithme DSCS, Il consiste à détecter les trous de couverture en reliant les nœuds limites qui entourent le même trou de couverture et en regroupant les nœuds sur la limite extérieure du RCSF. L'algorithme proposé peut localiser efficacement les trous de couverture et assurer une transmission de données efficace tout en prolongeant la durée de vie du RCSF.

2.5 La correction de trous de couverture

Les algorithmes de correction de trous de couverture sont nombreux, dans ce qui suit nous allons nous focaliser sur quatre algorithmes.

2.5.1 BCP (Boundary Critical Points)

Le protocole proposé dans [14] est basé sur l'approche topologique, il est utilisé pour la correction de trous de couverture dans un réseau de capteur, l'avantage de ce protocole par rapport à 3HA et HACH est qu'il détecte d'abord les trous puis il les corrige,

Ce protocole se déroule en huit étapes expliquées ci-dessous :

Étape 1 : Choisir un nœud capteur S du réseau, et sélectionner l'ensemble de ses voisins $N_s(S)$.

Étape 2 : Créer une liste des voisins du nœud S en les triant dans le sens des aiguilles d'une montre.

Étape 3 : Créer une liste pour les points d'intersection (p_i) entre le nœud S et chacun de ses voisins.

Étape 4 : Vérifier si chaque point de la liste (p_i) est un point critique aux limites (b_i) (n'est couvert par aucun nœud capteur) ou non, et supprimer les points critiques non limitrophes.

Étape 5 : Mettre à jour la liste des points critiques aux limites (b_i) dans le sens des aiguilles d'une montre

Étape 6 : Continuer cette procédure pour tous les nœuds du réseau.

Étape 7 : Relier les (b_i) voisins pour détecter le trou (voir Figure 2.3) .

Étape 8 : Corriger les trous, en ajoutant de nouveaux nœuds, la bissectrice perpendiculaire est utilisée pour trouver les positions de placement de ce dernier. Le calcul de l'emplacement est classé en deux modes :

Deux points critiques adjacents :

- Trouver une position N sur la bissectrice de B_j et B_i Telle que Nb_j et Nb_i sont égaux aux rayons de détection R_s (voir Figure 2.4(a)).
- Multipoints critiques adjacents : trouver une position N sur la bissectrice de la ligne du point de départ au point d'arrivée, de telle sorte que la maximal Nb_j est égal aux rayons de détection R_s (voir Figure 2.4(b)).

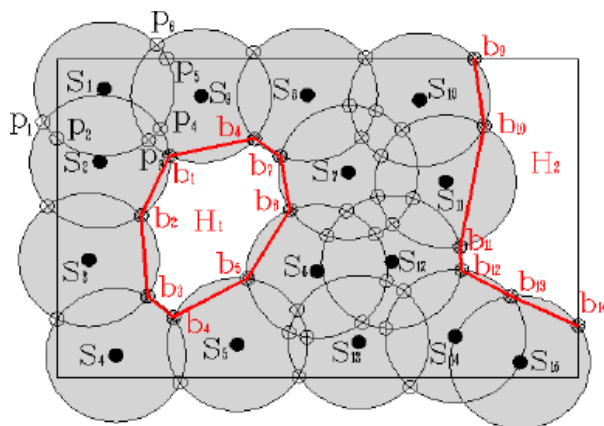


Figure 2.3 L'algorithme BCP : les points d'intersection et les points critiques

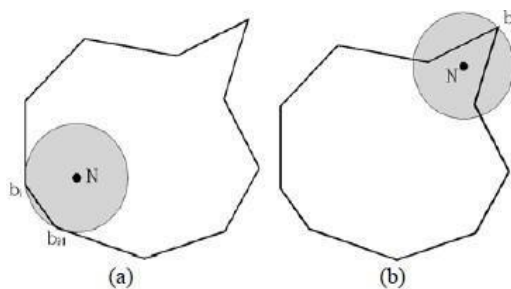


Figure 2.4 : L'algorithme BCP : Emplacement des nouveaux nœuds capteurs :

- (a) Points critiques adjacents,
- (b). Multipoints critiques adjacents

2.5.2 CHDR (Coverage Hole Detection and Repair Algorithm)

Les auteurs dans [19] ont proposé une solution qui est basée sur une méthode de détection et de correction des trous de couverture dans les RCSFs. Après l'étude et l'analyse de la situation, les zones contenant des trous de couverture seront trouvées grâce aux nœuds limites autour des trous (points d'intersection limite). Sur cette base, la zone polygonale formée par les nœuds limites est traitée par triangulation.

Sur la figure 2.5, les points A, B, C, D, E, F, G représentent les capteurs, et a, b, c, d, e, f, g représentent les points d'intersection limite, la surface du polygone est divisée en triangles, et les points o, p, q, r, s sont les centres des triangles comme le montre la figure 2.5.

Les auteurs dans [19] ont proposé de sélectionner le nœud inactif le plus proche des centres comme tête de cluster de la zone de trou de couverture.

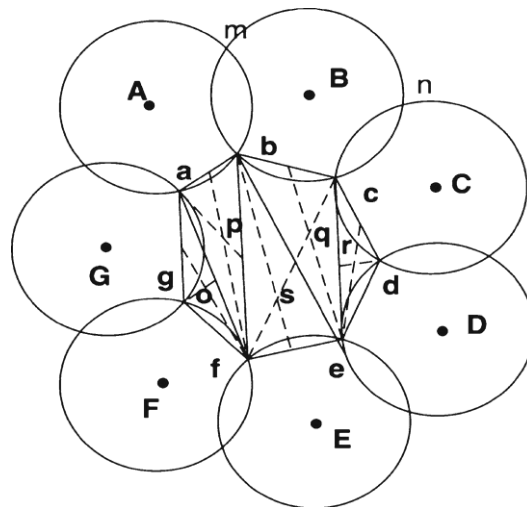


Figure 2.5 : Exemple présentatif de la méthode CHDR

2.5.3 HACH (Healing Algorithm of Coverage)

Les auteurs dans [20] ont proposé un algorithme sous le nom de HACH pour la correction des trous de couverture dans les RCSFs. Avant la correction de ces trous, il faut d'abord les détecter, un algorithme de détection de trous est déjà proposé par les mêmes auteurs dans [21] et l'exécution de cet algorithme consiste à détecter tous les nœuds frontières en vérifiant leurs points d'intersection avec d'autres nœuds. Si un point d'intersection n'est pas couvert alors il est considéré comme point limite. Dans l'algorithme de correction HACH, le déploiement se fait aléatoirement, chaque nœud connaît ses coordonnées et celles de son voisin. L'idée de l'algorithme est de trouver le centre O d'un cercle passant par deux points limites avec un rayon de détection R_s . Si le cercle passe par ces deux points, la zone autour d'eux sera couverte. Le point central de ce nouveau cercle sera la meilleure position pour placer le nouveau capteur.

Chaque nœud de frontière utilise deux points pour trouver le point central O.

Il est nécessaire de refaire cette exécution jusqu'à ce qu'aucun autre point limite ne soit trouvé, cet algorithme minimise le nombre de nœuds nécessaires pour la correction des trous de couverture.

2.5.4 TELPAC (Time and Energy efficient protocol for Location and Patching Coverage holes)

TELPAC [16] comprend le positionnement de la limite du trou et la détermination de la position de correction. Dans cette méthode, le déploiement se fait de manière aléatoire, les contraintes externes du réseau de capteurs sont connues, le trou de couverture est une courbe fermée, et chaque capteur connaît son propre emplacement et l'emplacement de ses voisins à un saut, et tous les capteurs ont la même portée de détection R_s et la même portée de communication R_c , telle que $R_c \geq 2 * R_s$. Afin de déterminer les limites des trous de couverture, TELPAC met en œuvre un processus qui se déroule en deux étapes : La première est la détection des capteurs découverts : chaque capteur vérifiera si son cercle de détection contient des arcs découverts. La deuxième étape consiste à déterminer la limite du trou. Des messages circulent autour du capteur découvert pour collecter des informations sur la limite du trou à l'aide de polygones.

Pour la correction des trous, TELPAC détermine les emplacements où déployer de nouveaux capteurs par la détermination d'un ensemble d'hexagones, l'idée principale est de minimiser le nombre d'hexagones de correction. Le protocole proposé est efficace en terme de temps et d'énergie mais les capteurs de correction peuvent être situés en dehors des trous de couverture ou très proches des capteurs existants.

2.6 Comparaison de quelques approches de correction des trous de couverture

Les protocoles de correction de trous de couverture que nous avons présentés dans ce chapitre sont classifiés selon les critères. Suivants :

2.6.1 Connaissance des positions

Chaque nœud capteur connaît ses coordonnées géographiques obtenues par un GPS, mais ce critère rend les capteurs plus coûteux et consomme plus d'énergie.

2.6.2 Découverte des voisins

Ce critère augmente la consommation d'énergie du capteur dans les réseaux denses, mais cette phase est nécessaire pour le bon fonctionnement de certains protocoles.

2.6.3 Détection des trous

Cette étape consiste à détecter les limites des trous de couverture dans les réseaux de capteur sans fil.

2.6.4 Homogénéité

La majorité des protocoles traitent le cas des capteurs homogènes, ce qui veut dire que les capteurs sont uniformes sans irrégularités.

2.6.5 Type de protocole

Il existe trois types de protocole : centralisés, hiérarchiques et distribués. Dans le cas centralisé, c'est la station de base qui s'occupe de recueillir les informations des nœuds et décide l'état de chacun d'entre eux, alors que dans un protocole hiérarchique, le statut est déterminé au sein des sous-structures. Tandis que dans le cas distribué, chaque capteur collecte les informations de ses voisins et détermine son statut de manière autonome.

Protocoles Critères	Connaissance des positions	Découvertes des voisins	Détection de trous	Homogénéité	Type de protocole
BCP	Non	Non	Oui	Homogène	Distribué
CHDR	Oui	Oui	Oui	Homogène	Distribué
HACH	Oui	Non	Oui	Homogène	Distribué
TELPAC	Oui	Oui	Oui	Homogène	Distribué

Tableau 2.1 : Tableau Comparatif des protocoles étudiés

2.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté la notion de détection et de correction de trous de couverture dans les réseaux de capteurs sans fil, nous avons également présenté quelques algorithmes de détection. et de correction de trous de couverture dans les RCSFs. Enfin, nous les avons comparées selon les différents critères retenus. Le chapitre suivant sera consacré à la description détaillée de l'algorithme BCP.

**Chapitre III : Implémentation de l'algorithme BCP
et évaluation de Performance**

3.1 Introduction

Après avoir étudié le problème de couverture dans les RCSFs et en particulier, celui de la détection et de la correction des trous. Nous présenterons dans ce chapitre un algorithme de réparation des trous de couverture. Cet algorithme se base sur l'approche topologique, il est utilisé pour la correction de trous de couverture dans un réseau de capteurs. Nous commençons par la présentation d'un certain nombre d'hypothèses ainsi que quelques définitions liées à l'algorithme BCP. Ensuite, nous détaillerons les différentes étapes de cet algorithme ainsi que les critères et métriques de simulation utilisés.

3.2 Motivation

L'un des objectifs majeurs dans les réseaux de capteurs sans fil (RCSFs) est de garantir une couverture complète et efficace d'une zone d'intérêt donnée. Plusieurs événements peuvent se produire dans les réseaux de capteurs sans fil qui engendrent la formation des trous de couverture. Ces trous peuvent perturber la couverture ou la connectivité existante et nuire aux fonctionnalités des réseaux.

Il est nécessaire de détecter et de corriger les trous de couverture dès leurs apparitions. Plusieurs approches ont été proposées afin de remédier à ce problème. Chacune a ses avantages et ses inconvénients. A cet effet, nous avons repris l'approche de BCP (Boundary Critical Point) dans le but de corriger les trous de couverture dans un RCSF.

3.3 Propriétés du réseau et hypothèses

Dans ce mémoire, nous considérons un réseau de capteurs sans fil de superficie $L * L$ composé de capteur déployés aléatoirement afin de collecter continuellement les événements qui se produisent dans la zone de déploiement. L'algorithme étudié tient compte des hypothèses suivantes

- Tous les nœuds du réseau sont localisés en terme de coordonnées (x,y) .
- Il est supposé l'existence d'au moins une station de base capable de communiquer avec tous les nœuds du réseau.
- Chaque nœud transmet à la station de base son R_s et R_c ainsi que ses coordonnées.

3.4 Fonctionnement général de l'approche

L'approche étudiée se déroule en huit étapes, la première consiste à choisir un nœud S du réseau, et sélectionner l'ensemble de ses voisins $N_s(S)$, la deuxième est dédiée à créer une liste des voisins du nœud S en les triant dans le sens des aiguilles d'une montre, la troisième étape consiste à créer une liste pour les points d'intersection (p_i) entre le nœud S et chacun de ses voisins, l'étape quatre a pour but de vérifier si chaque point de la liste (p_i) est un point critique aux limites (b_i) ou non, et supprimer les points critiques non limitrophes, la cinquième étape permet de mettre à jour la liste des point critique aux limites (b_i) dans le sens des aiguilles d'une montre, la sixième étape c'est la continuité de la procédure pour tous les nœuds du réseau, enfin la septième étape et pour relier les (b_i) voisins pour détecter le trou, la dernière étape consiste à corriger les trous, en ajoutant de nouveaux nœuds.

3.5 Environnement de la simulation

L'algorithme de détection et de correction de trou de couverture dans les réseaux de capteurs sans fil étudié a été mis en œuvre et évalué à l'aide de Matlab R2020a fonctionnant sur un Pc équipé d'un système Windows 64 bits et dual core avec une fréquence de 1.7 GHz et 4Go de RAM. Nous avons choisi comme environnement de simulation MATLAB pour de nombreuses raisons parmi lesquelles nous citons les suivantes [14].

- MATLAB(MATrixLABoraty) est un langage de programmation de calcul scientifique et de visualisation graphique développé par la société The Matlab Works. Il est disponible sur plusieurs plateformes.
- MATLAB dispose d'une large bibliothèque de fonction prédéfinies avec des notations simples et puissante pour optimiser le code des programmeurs.
- MATLAB permet de manipuler des matrices, d'afficher des courbes et des données, de mettre en œuvres des algorithmes, etc.

3.6 Paramètre de simulation

- **Configuration de la simulation**

L'algorithme BCP a été simulé avec MATLAB R2020a pour différents nombres de nœuds déployés de manière aléatoire sur 400m x 400m. Le nombre de nœuds déployés varie de 50 à 500. Pour chaque nœud capteur, la portée de détection est de 50 m, et la portée de communication est le double de la portée de détection, soit 100 m.

Paramètre	Valeur
Le nombre de capteurs	50,250,300,400
Dimension de la région	400 x 400(m ²)
Coordonnées de la station de base	(0,0)
Rayon de détection (R_s)	50m
Rayon de communication (R_c)	100m

Tableau 3.1: Tableau des Paramètres de simulation

3.7 Critères de performance

Les critères considérés pour l'évaluation de performances sont les suivants :

- **Temps d'exécution :** Représente le temps nécessaire pour qu'un algorithme termine son exécution. (Voir figure 3.5, figure 3.6)
- **Nombre de trous :** C'est le nombre de trous détectés par un protocole de détection de trou de couverture après son exécution. (Voir figure3.7).

3.8 Evaluation des performances

- Nous avons réalisé deux types de scénarios

Le scénario 1 : Consiste à effectuer un déploiement complètement aléatoire où les trous sont présents dans plusieurs emplacements avec des tailles et des formes différentes.

Le scénario 2 : Est un déploiement aléatoire mais ciblé, de telle sorte à avoir un seul grand trou au centre de la zone. Ce qui nous facilite le calcul de la surface du trou avant et après la correction.

- Application de correctif en suivant le scénario 1

Nous avons déployé aléatoirement 100 nœuds de capteurs sur toute la surface de la région d'intérêt, ce déploiement a généré la création de plusieurs trous de couverture de différentes formes éparpillés sur toute la région. Ceci est illustré dans la figure 3.1. L'application de l'algorithme BCP pour la détection de ces trous a donné de bons résultats puisque tous les trous présents dans le réseau sont bel et bien détectés quelque soient leurs formes, leur nombre et leurs emplacements, même lorsqu'il s'agit de trous ouverts ou trous non-connectés.

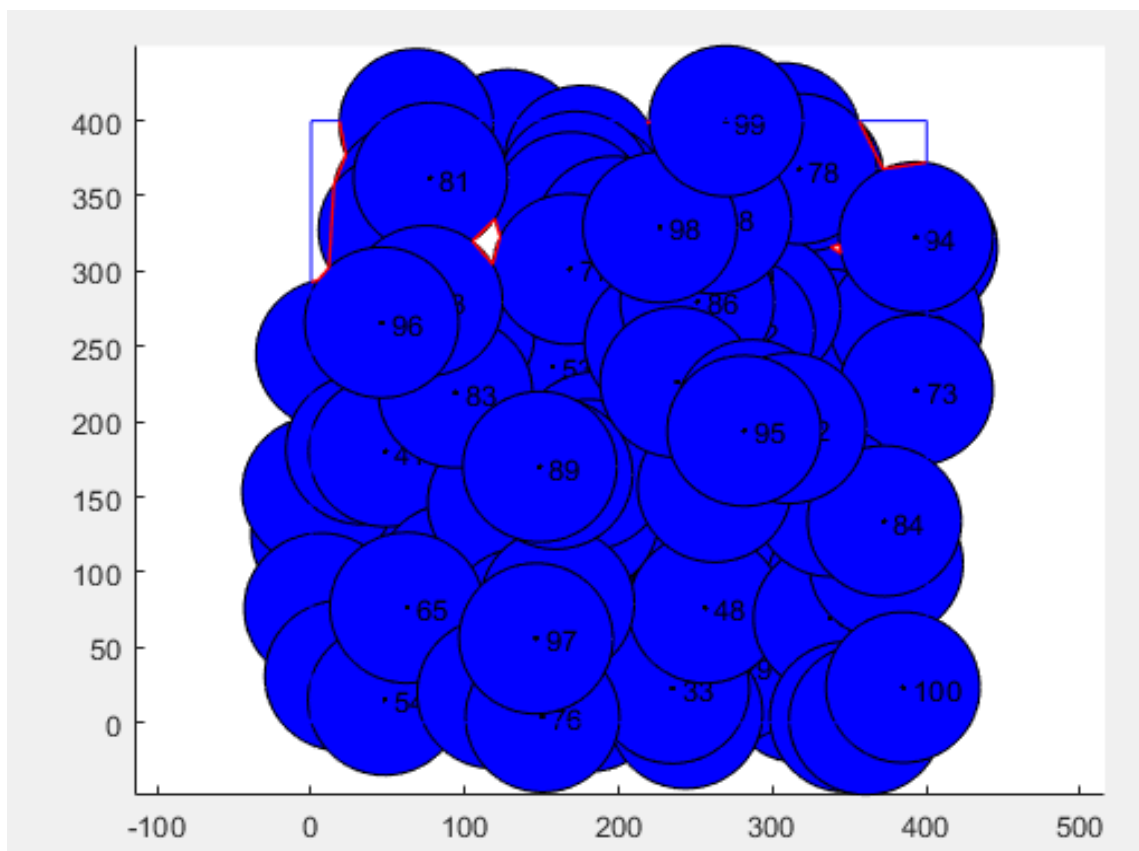


Figure 3.1 : Déploiement avec le scénario 1 avant la phase de correction

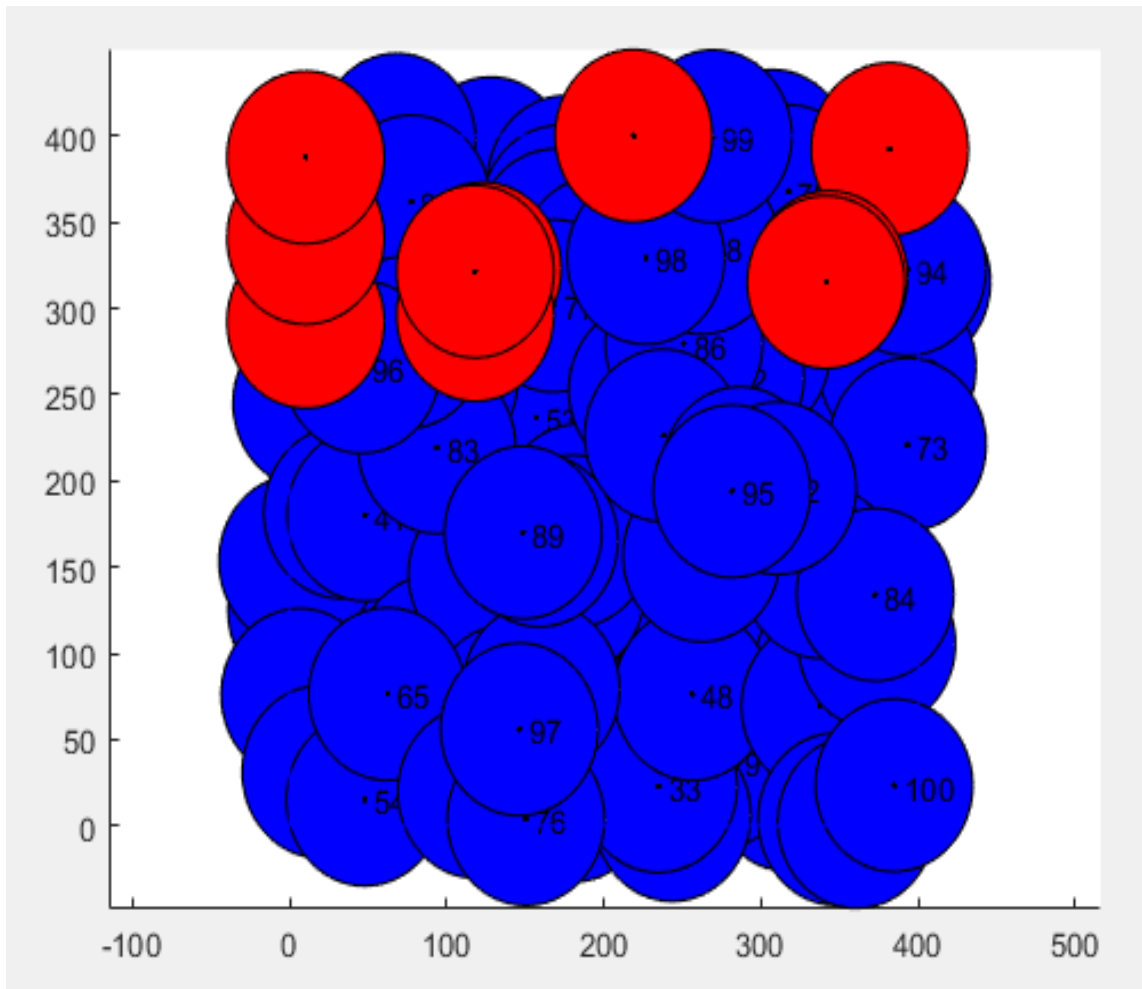


Figure 3.2 : Déploiement avec le scénario 1 après la phase correction

La figure 3.2 met en relief le résultat obtenu après l'application de l'algorithme BCP pour la correction des trous de couverture déjà détectés dans la phase précédente. En effet, la correction des trous a bien réussi puisqu'aucun trou n'est présent après cette phase.

- **Application de correctif en suivant le scenario 2**

Nous avons déployé aléatoirement 300 nœuds capteurs et nous avons créé un seul trou de couverture au centre de la région d'intérêt (voir figure 3.3). Les simulations montrent que l'algorithme BCP réussit également à détecter des trous de grande surface.

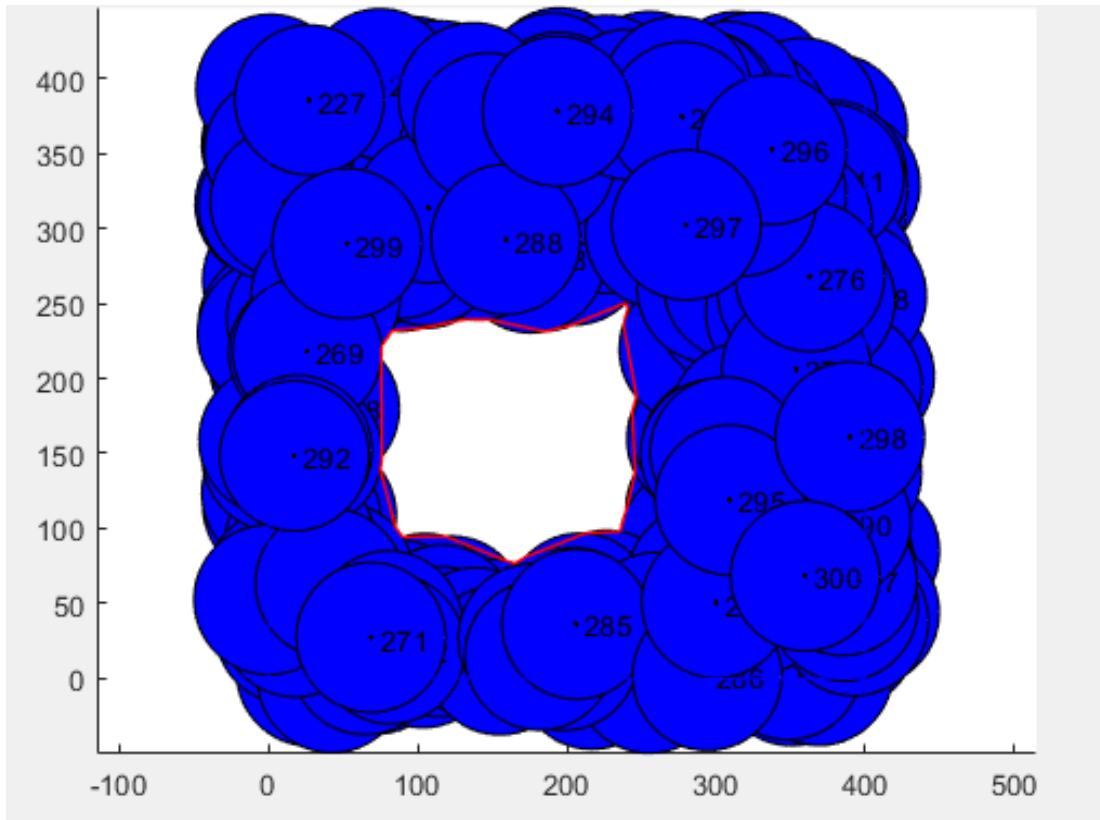


Figure 3.3: Déploiement avec le scenario 2 avant la phase de correction

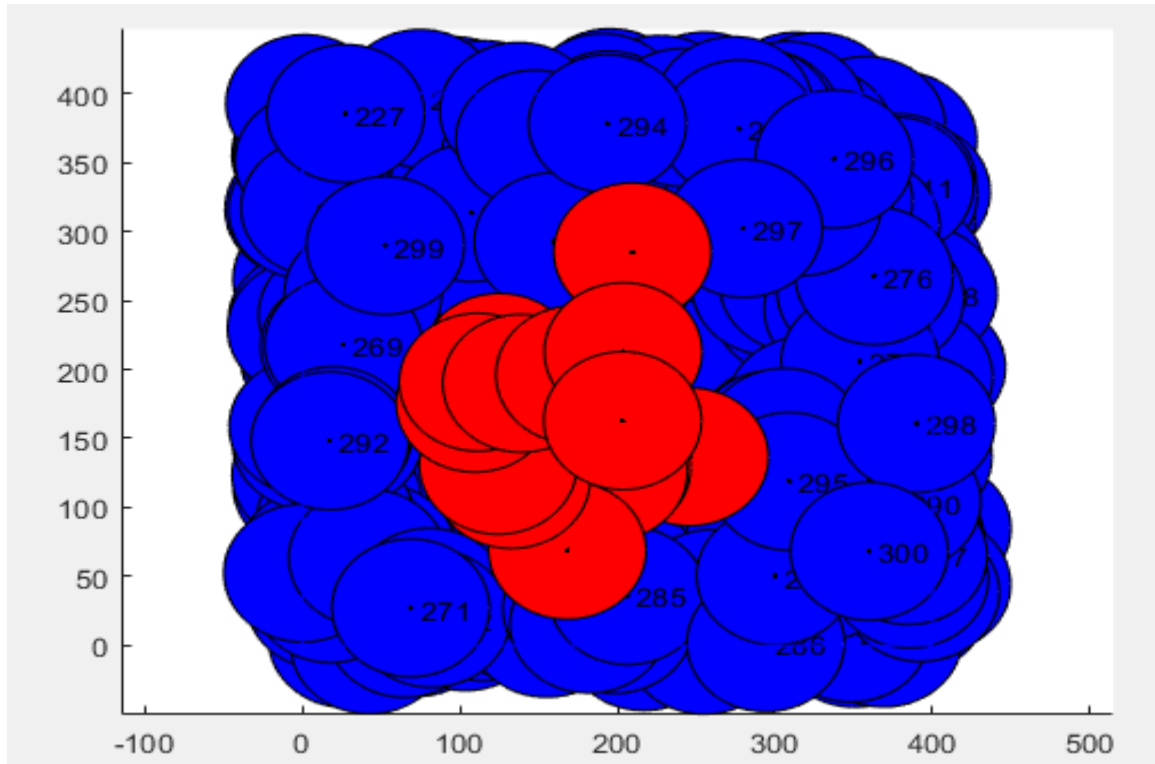


Figure 3.4 : Déploiement avec le scénario 2 après la phase de correction

La figure 3.4 montre le résultat obtenu après l'application de l'algorithme BCP pour la correction des trous de couverture déjà détectés dans la phase précédente, en appliquant le deuxième scénario. La correction des trous a également réussi pour ce scénario, puisqu'aucun nouveau trou n'est apparu après cette phase.

- Temps d'exécution

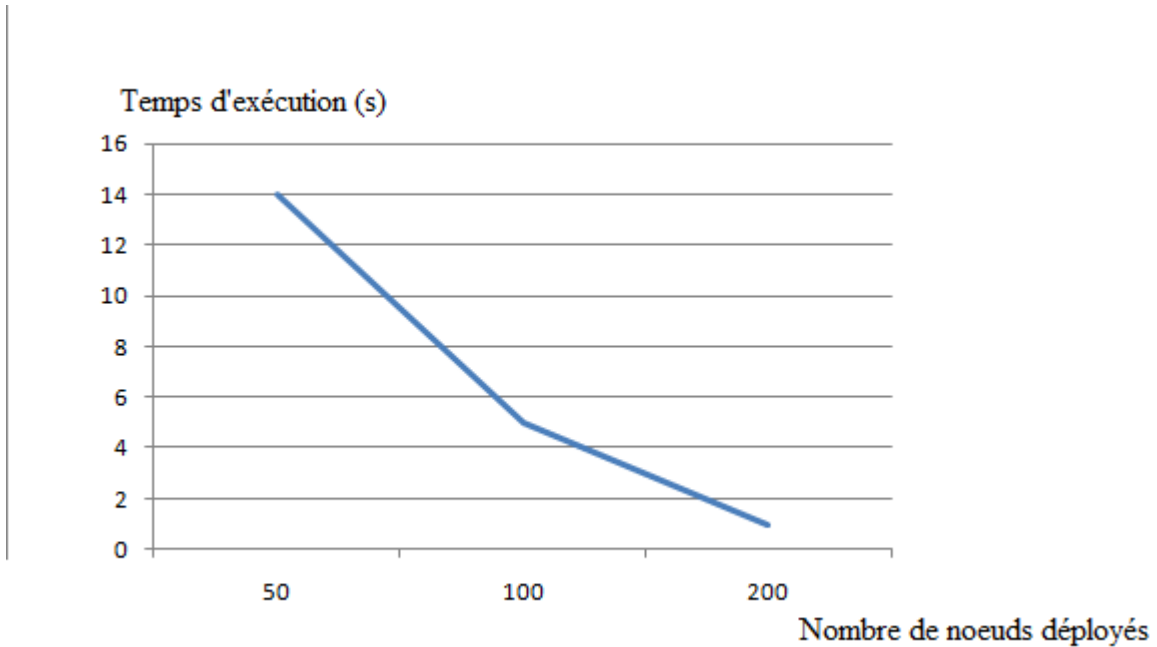


Figure 3.5 : Temps d'exécution Vs nombre de nœuds déployés scenario 1

La figure 3.5 illustre le temps consommé pour que l'algorithme termine son exécution, nous remarquons que plus le nombre de nœuds déployés est grand plus le temps consommé diminue cela est causé par le nombre de trous dans cette région.

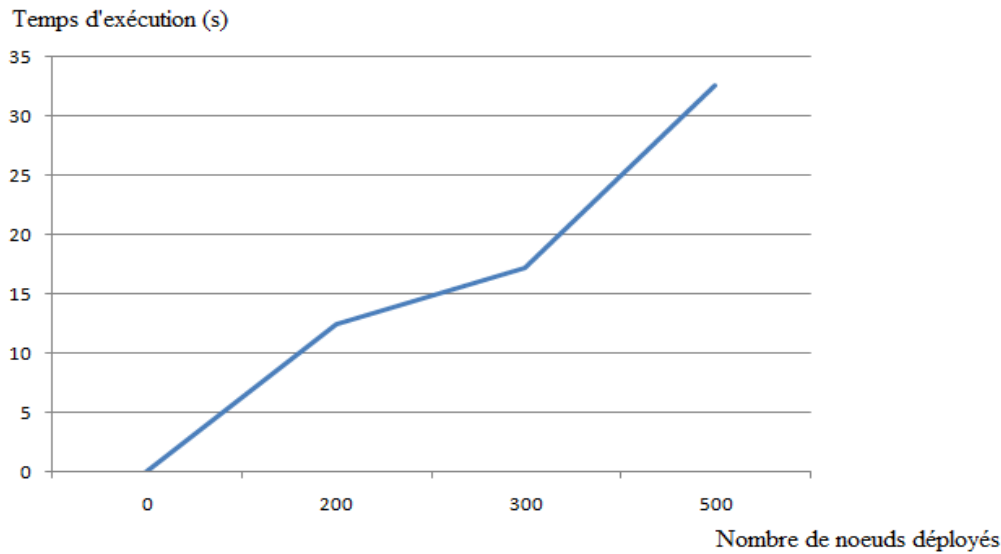


Figure 3.6 : Temps d'exécution Vs nombre de nœuds déployés scenario 2

La figure 3.6 illustre le temps consommé pour que l'algorithme termine son exécution, nous remarquons que plus le nombre de nœuds déployés est grand plus le temps consommé augmente et ce quel que soit le nombre de nœuds déployés pour couvrir le trou.

Remarque : Dans le scénario 1 ou les trous sont aléatoire le temps d'exécution diminue car quand on rajoute plus de nœuds on aura moins de trous ce qui fait que l'exécution est plus rapide, par contre dans le deuxième scénario quel que soit le nombre de capteurs rajouter on aura toujours un trou au milieu c'est pour cela que le temps d'exécution augmente.

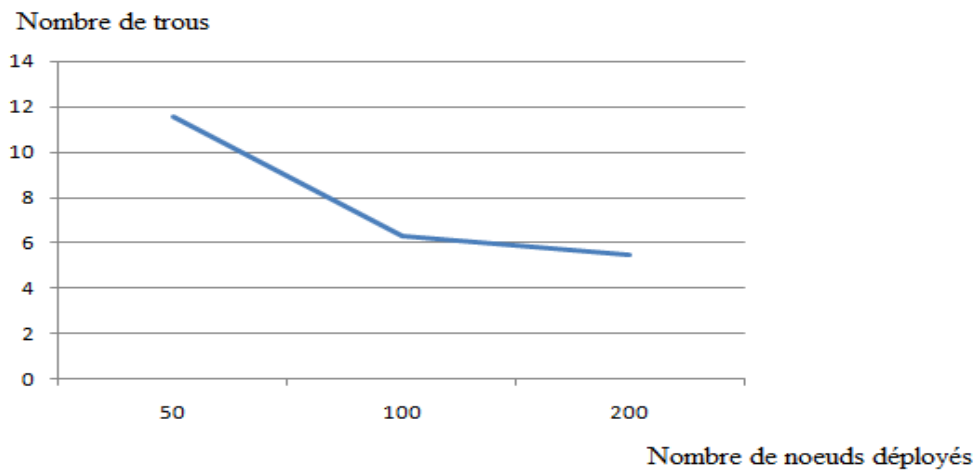


Figure 3.7 Nombre de trous VS Nombre de nœuds déployés

La figure 3.7 représente le nombre de trous détectés en fonction du nombre de nœuds déployés, nous remarquons que plus le nombre de nœuds déployés est grand plus le nombre de trous diminue. Ceci reflète parfaitement la réalité, dans le sens où les trous détectés au premier déploiement avec un petit nombre de nœuds seront couverts par les nouveaux nœuds déployés.

3.9 Discussion

D'après les séries de simulation réalisées nous pouvons nous prononcer par rapport à l'efficacité de l'approche par rapport au temps d'exécution et le nombre de trous détectés dans le réseau.

- l'approche est efficace en terme de temps d'exécution et le nombre de trous détecté dans le réseau.
- Cette approche met plus de capteurs que le nécessaire pour corriger les petits trous.
- Dans le scénario 2, si on prend un très grand trou, même après sa correction on remarque qu'il reste quelques zones non couvertes.
- pour améliorer cette approche nous proposons qu'au lieu de calculer la distance entre le point i et le point $i+2$ on prend le $i+3$ surtout dans les petits trous pour éviter de mettre plus de capteur que le nécessaire,
- nous proposons aussi de relier les (bi) en suivant la courbe du nœud au lieu de les relier par une droite, pour éviter de recouvrir une zone déjà couverte.

3.10 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté l'étude d'une approche centralisée pour la détection et la correction de trous de couverture dans les réseaux de capteurs sans fil. Cette approche se base sur la bissectrice perpendiculaire et les points critiques. Puis nous avons implémenté cette approche. En effet, d'après les séries de simulation réalisées, l'approche BCP est efficace notamment en terme de temps d'exécution et du nombre de trous détecté dans le réseau.

Conclusion générale

Les réseaux de capteurs sans fil (RCSFs) sont une partie intégrante de notre vie, puisqu'ils sont utilisés et appliqués dans différents domaines. Cependant, ils constituent toujours un axe de recherche très fertile et de nombreuses problématiques restent à résoudre, afin de mieux exploiter cette technologie les chercheurs se sont intéressés à plusieurs de ses aspects et ont recensé un certain nombre de problématique. Parmi les problèmes rencontrés dans les RCSFs, Nous nous sommes intéressés dans ce mémoire à la couverture dans les RCSFs, et en particulier à la correction des trous de couverture. Pour mener à bien notre travail nous avons commencé par étudier les réseaux de capteurs sans fil de manière générale, nous avons défini les points essentiels relatifs aux RCSFs, leurs caractéristiques, leurs domaines d'application ainsi que les différents types de couvertures existantes. Par la suite, nous avons présenté quelques algorithmes proposés dans la littérature pour pallier le problème de trous de couverture dans les RCSFs.

Nous avons étudié l'approche de correction des trous de couverture dans les réseaux de capteurs sans fil, elle se base sur l'approche BCP, qui est utilisé pour la correction de trous de couverture dans un réseau de capteur. Afin d'analyser et d'évaluer les performances de cette approche, nous avons utilisé le langage de programmation MATLAB. Les résultats de simulation obtenus ont montré que cet algorithme offre de bonnes performances en termes du temps d'exécution, et le nombre de trous détectés. Nous avons remarqué que le nombre de nœud supplémentaires utilisés par l'approche BCP pour la correction des trous de couverture est très important, i.e. beaucoup de nœuds couvrent la même surface, nous envisageons d'améliorer cette approche pour utiliser moins de nœuds pour la correction des trous de couverture. Comme perspectives de recherche, nous pensons à étudier le comportement de cette approche avec plus de métriques de performances telle que l'énergie, l'approche étudiée est une approche centralisée, il est également intéressé de la décentraliser pour un équilibrage de l'énergie des nœuds.

Bibliographie

- [1] I.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci. Wireless sensor networks A Survey. Computer networks (Elsevier), vol.38, pp.393-422, Mars 2002.
- [2] D. Culler, D. Estrin, and M. Srivastava. Guest editors introduction Overview of sensor networks. Computer, 37(8) :41-49, August 2004. 5, 6
- [3] k.chandri marahman ra survey on sensor network, copyright © 2010 jcit, issn 2078-5828 (print), issn 2218-5224 (online), volume 01, issue 01, manuscript code :100715
- [4] M. Ilyas, I. Mahgoub, L. Kelly. Handbook of sensor networks: Compact wireless and wired Sensing systems. Boca raton, FL, USA : CRC press, Inc, 2004.
- [5] K. Beydoun, Conception d'un protocole de routage hiérarchique pour les réseaux de capteurs, Thèse de Doctorat, U.F.R des Sciences et Techniques de l'université de Franche-Comté, Décembre 2009.
- [6] Y. Yousef, Routage pour la Gestion de l'Energie dans les Réseaux des capteurs Sans Fil, Thèse de doctorat, Université de Haute Alsace, Faculté des Sciences et Techniques, Juillet 2010.
- [7] D.Ibrahima, 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, juillet 2014.
- [8] M. Zhang, Optimisation de la couverture de communications et de mesure dans les réseaux de capteur, thèse, université de reims champagne ardenne école doctorale sciences technologie santé (547),2015.
- [9] T. Kone. Conception de l'architecture d'un réseau de capteurs sans fil de grande dimension, thèse de doctorat, Option : En Automatique, Traitement du Signal et des Images, Génie Informatique, Université Henri Poincaré, Nancy I, France, 2011
- [10] F. Mourchid. Nouveau modèle pour le positionnement des senseurs avec contraintes de localisation, option : génie informatique et génie logiciel, école polytechnique de Montréal, canada, 2010
- [11] A. Dabba, Couverture de frontières dans les réseaux de capteurs sans fil, thèse, Option : Cloud Computing, Université A.Mira-Bejaia, Algerie 2014.

- [12] M. T. Thai, Y. Li, M. Cardei, w. wu. Energy-efficient target coverage in wireless sensor networks, INFOCOM 24th annual joint conference of the IEEE computer and communications societies, vol. 3, pp. 1976-1984, 2005.
- [13] M. Potkonjak, S. Meguerdichian, F. Koushanfar, M.Srivastava. Coverage problems in Wireless ad-hoc sensor networks, IEEE infocom 2001, Vol. 3, pp. 1380-1387, Avril 2001.
- [14] Z. Kang, H. Yu, Q. Xiong. Detection and recovery of coverage holes in wireless sensor networks. Journal of network, Vol. 8, No. 4, Avril 2013.
- [15] P. Singh, Y. Ch. Chen. Sensing coverage hole identification and coverage hole healing methods for wireless sensor networks, Wireless networks, 2019.
- [16] L.Nguyen, K.Nguyend, H.Vuc, J. Yusheng. TELPAC: A time and energy efficient protocol for locating and patching coverage hole WSNs, journal of network an computer applications, pp. 1-16, Japan 2019.
- [17] G. Destino, G. T. Freitas de abreu. Network boundary recognition via graph-theory, in Proceeding of the 5th workshop on positioning, Navigation and communication, pp. 271-275, 2008.
- [18] L.H Zhao, W. Liu, H.Lei, R. Zhang, Q. Tan. Detecting boundary nodes and coverage holes in wireless sensor networks, key laboratory of instrumentation science & dynamic measurement, Ministry of education, North University of china, Shanxi, Taiyuan 030051, China, 2016.
- [19] X.Feng, X.Zhang, J. Zhang, A.A.Muhdhar. A coverage hole detection and repair algorithm in wireless sensor networks, Cluster Computing 22: S123473-12480, 2019
- [20] L. Aliouane, M. Benchaiba. HACH: Healing algorithm of coverage hole in a wireless sensor network, International conference on next generation mobile application, Services and technologies, Algeria, 2014.
- [21] L. Aliouane, M. Benchaiba. Distributed coverage hole boundary detection in wireless sensor networks, Accepted in international conference of advanced networking. Distributed systems and applications INDS, Algeria, 2014.

Résumé

Les trous de couverture dans les réseaux de capteurs sans fil altèrent les performances du réseau, ils ont des répercussions considérables sur la connectivité, la couverture, etc. Par conséquent, la détection de ces trous dès leurs apparitions et leurs corrections est une condition très importante pour le maintien de l'équilibre du réseau. Dans ce mémoire, nous avons étudié l'approche BCP, cette approche se déroule en huit étapes, la première consiste à choisir un nœud S du réseau, et sélectionner ses voisins, la deuxième étape est dédiée à la création d'une liste contenant les voisins du nœud S, la troisième consiste à mettre les points d'intersection (p_i) dans une liste, l'étape quatre a pour but la vérification des points de la liste (p_i) s'ils sont des points limites (b_i) ou non, et supprimer les points critiques non limite, la cinquième étape permet de mettre à jour les points limite (b_i), la sixième étape consiste à faire la même procédure pour tous les nœuds du réseau, enfin la septième étape a pour but de relier les (b_i) voisins pour la détection de trous, la dernière étape consiste à corriger les trous, en ajoutant de nouveaux nœuds. La simulation réalisée a montré que l'approche étudiée est efficace en terme de temps d'exécution et le nombre de trous détectés dans le réseau.

Mots-clés : réseaux de capteurs sans fil, couverture, trous.

Abstract

Coverage gaps in wireless sensor networks affect the performance of the network and have a significant impact on connectivity, coverage, etc. Therefore, the detection of these holes and their correction is a very important condition for maintaining the balance of the network. In this dissertation, we have studied the BCP approach, this approach takes place in eight steps, the first is to choose a node S of the network, and selected its neighbors, the second step is dedicated to the creation of a list containing the neighbors of the node S, the third is to put the points of intersection (p_i) in a list, step four is to check the points of the list (p_i) if they are boundary points (b_i) or not, The fifth step allows to update the limit points (b_i), the sixth step consists in doing the same procedure for all the nodes of the network, finally the seventh step has for goal to connect the (b_i) neighbors for the detection of holes, the last step consists in correcting the holes, by adding new nodes. The simulation performed showed that the studied approach is efficient in terms of execution time and the number of holes detected in the network.

Keywords: wireless sensor networks, coverage, holes.

