

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université de Mohamed El Bachir El Ibrahimi de Borj Bou Arréridj
Faculté des Mathématiques et d'Informatique
Département d'informatique



MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme
Master en informatique
Spécialité : Réseau et multimédia

THÈME

Optimisation de la localisation des nœuds dans les réseaux
de capture sans fil en utilisant l'algorithme d'optimisation
par essaim de criquets

Présenté par :

Abed Abdelatif

Ounough Redha

Soutenu publiquement le : 20/06/2023

Devant le jury composé de :

Président : Fares Nour Elhouda

Examineur : Boumaza Farid

Encadreur : Benmessahel Ilyas

2022/2023

Dédicace

À mes chers parents, frères et sœurs, amis, enseignants et tous ceux qui m'ont soutenu, merci du fond du cœur pour votre encouragement et votre précieuse contribution à la réalisation de ce mémoire. Votre présence été d'une valeur inestimable pour moi. Je vous suis profondément reconnaissant d'avoir fait partie de ce parcours et de m'avoir soutenu à chaque étape.

Abdelatif

À mes chères âmes qui sont les plus précieuses pour moi dans ce monde, et qui ont sacrifié pour assurer ma réussite dans mes études, ma chère mère et ma chère grand-mère, À tous mes chers proches, pour leur soutien constant et le soutien moral qu'ils ont apporté, à toute ma famille, pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire, à mes amis et camarades, ainsi qu'à tous ceux qui m'ont aidé lors de mon voyage éducatif.

Redha

Remerciement

En premier lieu nous remercions le grand dieu, pour nous avoir donner la force, le courage et la patience pour pouvoir accomplir ce travail et terminer nos études.

Nous adressons nos sincères remerciement à nos chères parents pour nous avoir donner leur soutien encouragement pour terminer ce travail. Nous exprimons tous nos remerciements à notre cher encadrant Ilyas Benmessahel pour tous ses efforts, ses conseils, son aide et sa disponibilité tout au long de l'année.

Nous adressons aussi nos profondes gratitude aux messieurs les membres de jury d'avoir accepter d'évaluer notre travail.

Nous exprimons nos profonde gratitude à tout celles et ceux qui nous ont apporté leur soutiens, leur amitié et leur expérience tout au long de ce travail.

Résumé

La présence de trous de couverture dans les réseaux de capteurs sans fil affaiblit les performances du réseau et affecte considérablement la couverture et d'autres aspects. Par conséquent, la détection et la correction de ces lacunes sont considérées comme des conditions nécessaires pour maintenir la stabilité du réseau et garantir la qualité de service. Dans cette thèse, nous proposons une méthode de détection et de correction des trous de couverture dans les réseaux de capteurs sans fil, qui se déroule en deux phases. La phase de détection des trous de couverture est réalisée en utilisant la méthode de triangulation, où les trous sont identifiés en analysant les zones non couvertes de manière appropriée. La deuxième phase consiste à corriger les trous en utilisant l'algorithme de l'essaim de criquet, afin d'améliorer les positions des nœuds pour couvrir ces trous. L'amélioration des positions des nœuds repose sur deux phases, la phase individuelle qui se concentre sur l'amélioration des positions des nœuds individuellement, et la phase sociale qui se base sur l'interaction et la communication entre les nœuds pour améliorer leurs positions. Les expériences de simulation et les études comparatives ont montré que notre approche est très compétitive, car elle augmente le taux de couverture et réalise des gains en termes de précision et de temps d'exécution.

Mots-clés : réseau de capture sans fil, couverture, optimisation, trous de couverture, algorithme OEC.

Abstract

The presence of coverage holes in wireless sensor networks weakens the network's performance and significantly affects coverage and other aspects. Therefore, detecting and correcting these vulnerabilities as soon as they appear is considered essential to maintain network stability and ensure quality of service. In this thesis, we propose a method for detecting and correcting coverage holes in wireless sensor networks, which is done in two phases. The coverage hole detection phase is performed using the triangulation method, where the holes are identified by appropriately analyzing the uncovered areas. The second phase involves correcting the holes using the locust swarm algorithm to improve the node positions for covering these holes. Improving node positions relies on two phases : an individual phase that focuses on improving node positions individually, and a social phase that is based on interaction and communication between the nodes to enhance their positions. Simulation experiments and comparative studies have shown that our approach is highly competitive, as it increases coverage ratio and achieves gains in accuracy and execution time.

Key words : wireless sensor network, coverage, optimization, coverage holes, OEC algorithm.

ملخص

يعمل وجود ثقبو التغطية في شبكات المستشعرات اللاسلكية على تضعيف أداء الشبكة ويؤثر بشكل كبير على التغطية وغيرها من الجوانب. لذا، يُعتبر اكتشاف هذه الثغرات فور ظهورها وتصحيحها شرطاً ضرورياً للحفاظ على استقرار الشبكة وضمان جودة الخدمة. في هذه الأطروحة، نقترح طريقة لاكتشاف وتصحيح ثقبو التغطية في شبكات المستشعرات اللاسلكية، ويتم ذلك في مرحلتين، حيث تتم مرحلة الكشف عن ثقبو التغطية باستخدام طريقة التثليث، ويتم تحديد الثقبو عن طريق تحليل المناطق غير المغطاة بشكل مناسب. أما المرحلة الثانية، فتتمثل في تصحيح الثقبو باستخدام خوارزمية سرب الجراد، وذلك لتحسين مواضع العقد لتغطية هذه الثقبو. يعتمد تحسين مواضع العقد على مرحلتين، المرحلة الفردية التي تركز على تحسين مواضع العقد بشكل منفرد، والمرحلة الاجتماعية التي تستند إلى التفاعل والتواصل بين العقد لتحسين مواضعها. أظهرت التجارب المحاكاة والدراسات المقارنة أن نهجنا يعتبر تنافسياً للغاية، حيث يزيد نسبة التغطية ويحقق مكاسب في الدقة ووقت التنفيذ.

الكلمات المفتاحية: شبكة استشعار لاسلكية، تغطية، تحسين، ثغرات التغطية، خوارزمية
.OEC

Table des matières

Liste des figures	xi
Liste des Algorithmes	xiii
Liste des abréviations	xiii
1 État de l’art sur les capteurs sans fils	3
1.1 Introduction	3
1.2 Définition d’un capteur sans fils (RCSF)	3
1.3 Architecture des capteurs	4
1.3.1 Architecture matériel	4
1.3.2 Architecture logiciel	6
1.4 Caractéristiques principales d’un capteur	7
1.5 Les réseaux de capteurs sans fil	8
1.5.1 Définition d’un réseau de capteurs sans fil	8
1.5.2 Architecture d’un réseau de capteur sans fils	8
1.5.3 Les catégories des réseaux sans fils	9
1.6 Caractéristiques spécifiques des RCSF	10
1.6.1 Caractéristiques liées aux noeuds capteurs	11
1.6.2 Caractéristiques liées au réseau	11
1.7 Contraintes de conception des RCSF	13
1.7.1 La tolérance aux pannes	13
1.7.2 Les coûts de production	13
1.7.3 L’extensibilité (passage à l’échelle)	13
1.7.4 L’environnement de déploiement	13

1.7.5	La consommation d'énergie	14
1.8	Classification des RCSFs	14
1.8.1	RCSF statique et mobile	14
1.8.2	RCSF déterministe et non déterministe	14
1.8.3	Station de base unique et station de base multiple RCSF	15
1.8.4	Station de base statique et station de base mobile RCSF	15
1.8.5	RCSF à un et à plusieurs sauts	15
1.8.6	RCSF auto-reconfigurable et non auto-configurable	15
1.8.7	RCSF homogène et hétérogène	15
1.9	Domaines d'applications des réseaux de capteurs sans fil	16
1.9.1	Application militaire :	16
1.9.2	Applications agricoles	17
1.9.3	Application médicale	18
1.9.4	Applications environnementales	18
1.10	Conclusion	19
2	Présentation sur les problèmes et les approches de détection et optimisation des trous	20
2.1	Introduction	20
2.2	Trou de couverture dans les RCSFs	21
2.3	Couverture dans les RCSFs	21
2.4	Critères de classifications de la couverture	21
2.4.1	Classifications selon les méthodes de déploiement des capteurs	21
2.4.2	Classifications selon L'énergie	21
2.4.3	Classifications selon La connectivité	22
2.4.4	Classifications selon La communication	22
2.5	Types de couverture	22
2.5.1	Couverture de zone	22
2.5.2	Couverture de point	23
2.5.3	Couverture de barrière	23
2.6	Gestion de l'ordonnancement dans les RCSFs	24
2.6.1	Approche centralisée	24
2.6.2	Approche hiérarchique	24

2.6.3	Approches localisées	25
2.7	Étude des travaux et méthodologies de résolutions la détection et optimisation des trous de couverture	25
2.8	L'application des algorithmes bio-inspirés pour la détection et optimisation des trous	26
2.8.1	Algorithme OLG (Optimisation du Loup Gris)	26
2.8.2	Algorithme OEP(l'optimisation par Essaim de Particulaire, PSO en anglais) :	27
2.8.3	Algorithme AG (Algorithme Génétique)	27
2.8.4	Algorithme OEC (Optimisation par Essaim de Criquet)	27
2.9	Conclusion	28
3	Proposition d'une approche de détection et optimisation des trous de couverture dans les RCSF	29
3.1	Introduction	29
3.2	Motivation	29
3.3	Notre contribution	30
3.3.1	phase détection des trous de couverture	30
3.3.2	Phase d'optimisation des trous de couverture (algorithme OEC)	34
3.3.3	Méthodologies de OEC	38
3.4	Correction des trous de couverture avec l'algorithme OEC	39
3.5	Organigramme de notre contribution	41
3.6	Conclusion	42
4	Simulation	43
4.1	Introduction	43
4.2	Langage de programmation utilisé	43
4.3	Simulation	44
4.4	Critères de simulation	44
4.5	Paramètres de simulation	45
4.6	Résultats de simulation	45
4.6.1	Emplacement initial des nœuds de capteur	45
4.6.2	Tracer le triangle de Delaunay et la détection de trous	46

4.6.3	Emplacement optimale	47
4.7	Conclusion	48
	Références	49

Table des figures

1.1	capteurs sans fils [1]	4
1.2	architecture matérielle d'une capture sans fil [2]	6
1.3	Rayons de communication et de détection d'un capteur [3]	8
1.4	Architecture d'un réseau de capteurs sans fil	9
1.5	Les catégories des réseaux sans fils [4]	9
1.6	Domaines d'applications des réseaux de capteurs sans fil [5]	16
1.7	Les RCSFs dans le domaine militaire [6]	17
1.8	Application agricole de RCSF [7]	17
1.9	Les RCSFs pour les applications sanitaires	18
1.10	Applications environnementales des RCSFs	19
2.1	Exemple de couverture d'une zone [8]	22
2.2	Exemple de couverture de points [8]	23
2.3	La couverture de barrière [8]	23
2.4	Trois approches algorithmiques pour l'ordonnancement d'activités [8]	24
2.5	Hierarchie sociale des loups gris [9]	26
3.1	Delaunay triangle [10]	31
3.2	Les différentes distributions de la phase solitaire OEC.(a Distribution après 50 itérations et b après 100 itérations) [11]	36
3.3	Fonctionnement de la phase sociale [11]	38
3.4	Mappage d'une représentation individuelle OEC à un réseau de capture sans fil	41
3.5	Méthodologies de détection et d'optimisation des trous par OEC	42
4.1	interface matlab	44
4.2	fonction pour placement initiale des noeuds	45

4.3	Déploiement aléatoire de 10 noeuds (OEC)	46
4.4	Détection des trous par delaunay (OEC)	46
4.5	Optimisation avec OEP	47
4.6	Optimisation avec OEC	47
4.7	fonction d'optimisation	47
4.8	Résultat OEP	48
4.9	Résultat OEC	48
4.10	Taux de couverture	48
4.11	Tempe d'exécution	48

List of Algorithms

1 Algorithme OEC 39

Liste des abréviations

RCSF : Reseau de Capture Sans Fil

WSN : Wireless Sensor Networks

OEC : Optimisation par Essaim de Criquet

OEP : Optimisation par Essaim de Particulaire

RF : Radio Fréquences

IR : Infrarouge

OLG : Optimisation du Loup Gris

AG : Algorithme Génétique

AE : Algorithme Evolutionnaire

Rc : Rayon de Communication

Rs : Rayon de Sensation

SB : Station de Base

Introduction générale

Contexte

Au cours des dernières années, le développement des réseaux sans fil a gagné en popularité dans les communautés scientifiques et industrielles. Grâce aux avancées récentes dans les domaines des technologies de communication sans fil, cette technologie est devenue un acteur majeur dans l'architecture des réseaux actuels, grâce à ses avantages divers. Cela inclut les RCSF ou en anglais, Wireless Sensor Networks (WSN). Ce sont des ensembles de capteurs qui communiquent entre eux via des liens sans fil et se déploient pour couvrir une zone d'intérêt spécifique.

Objectifs

La couverture dans les RCSF peut être considérée comme la qualité de service fournie par les différents capteurs du réseau, représentant leur capacité à surveiller une zone spécifique. Il est important que le réseau maintienne sa connectivité pour permettre à tout capteur du réseau de transmettre les données collectées à la station de base pour traitement. En raison du déploiement aléatoire des capteurs, des défaillances dans les appareils ou des obstacles environnementaux (bâtiments, lacs, etc.) rendent difficile d'obtenir une couverture à 100% du réseau et de maintenir ce taux tout au long de la durée de vie du réseau. Des lacunes de couverture peuvent se former dans le réseau, laissant des zones non couvertes et entraînant parfois la création de groupes d'appareils isolés. Cela affecte la couverture du réseau et peut également entraîner des échecs d'algorithmes de routage. Par conséquent, il est nécessaire de détecter les lacunes de couverture dès qu'elles apparaissent afin de prendre les mesures nécessaires. Il est également important de placer les nœuds de manière optimale pour obtenir une bonne couver-

ture de la zone sans augmenter le nombre de nœuds. De nombreux efforts ont été déployés à cet égard pour proposer des solutions de détection et de correction des trous de couverture dans les RCSF.

Méthodologie et résultats

Dans ce contexte, nous proposons une contribution de détection et de correction des trous de couverture dans les réseaux de capteurs sans fil. Notre algorithme s'appuie sur la technique de triangulation pour détecter les trous résultant du déploiement aléatoire des capteurs et pour couvrir ces trous à l'aide de l'algorithme OEC qui ajuste l'emplacement des capteurs pour améliorer la couverture du réseau sans fil. Notre contribution est mise en œuvre en deux étapes : la première étape consiste à détecter les trous, et la deuxième étape consiste à les corriger.

Structure du rapport

Notre thèse est organisée comme suit :

1. Le premier chapitre présente en détail les réseaux de capteurs sans fil : leur conception, leurs caractéristiques principales, leurs contraintes de conception et leurs domaines d'application.
2. Le deuxième chapitre étudie le problème de la couverture et les différents types de couverture, ainsi que les mécanismes de planification des activités, avec une description de certains protocoles de détection et de correction des trous de couverture dans les réseaux de capteurs sans fil proposés dans la littérature.
3. Le troisième chapitre est consacré à une description détaillée de notre contribution de détection et de correction des trous de couverture dans les réseaux de capteurs sans fil.
4. Le quatrième chapitre est dédié à la simulation de notre contribution proposée, avec la présentation des résultats de comparaison avec l'algorithme OEP.
5. Enfin, nous concluons notre travail par une synthèse générale résumant les points clés abordés et les perspectives que nous espérons réaliser à l'avenir.

Chapitre 1

État de l'art sur les capteurs sans fils

1.1 Introduction

L'évolution technologique des dernières décennies a permis l'émergence d'une symbiose parfaite entre l'informatique et l'électronique. Cette coexistence a permis un développement étonnant des technologies de communication à travers des réseaux sans fil et mobiles équipés de capteurs miniatures en permanence, qui permettent de collecter des données à partir de capteurs sans fil déployés dans un environnement donné. Ces capteurs transmettent des informations à un ou plusieurs nœuds de collecte, qui sont responsables de la collecte, du traitement et de l'analyse des données.

Ces réseaux sont de plus en plus utilisés dans une variété d'applications, notamment dans les domaines de l'environnement, de la surveillance de la santé, de la sécurité et de l'industrie. Leur utilisation présente de nombreux avantages, notamment une grande flexibilité, une facilité de déploiement et une faible consommation d'énergie.

Dans ce chapitre, nous allons explorer les généralités et les principes des RCSFs.

1.2 Définition d'un capteur sans fils (RCSF)

La Figure 1.1 représente un capteur, qu'est un petit appareil autonome capable d'effectuer des mesures simples sur son environnement immédiat, telles que la température, la vibration, la pression, etc. Chaque capteur remplit trois fonctions principales : la collecte d'informations,

le traitement des données et la communication vers un ou plusieurs points de collecte, appelés stations de base (SB) [12].

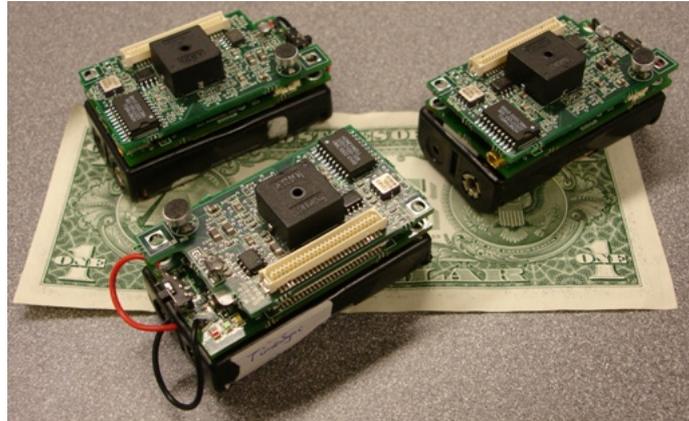


FIGURE 1.1 – capteurs sans fils [1]

1.3 Architecture des capteurs

1.3.1 Architecture matériel

1.3.1.1 Selon le type d'application

L'architecture des capteurs sans fil est particulièrement importante car elle définit comment les capteurs communiquent avec les dispositifs de collecte de données ou les réseaux sans fil, comment ils sont alimentés et comment ils sont gérés. Selon [1] un capteur contient quatre unités de base : l'unité de captage, l'unité de traitement, l'unité de transmission, et l'unité de contrôle d'énergie.

Unité de captage

C'est la partie principale du système qui mesure la grandeur physique ou la quantité que nous souhaitons surveiller. Par exemple, dans le cas d'un capteur de température, le capteur mesure la température ambiante et la convertit en un signal électrique analogique ou numérique. Cette unité peut incorporer d'un jusqu' à plusieurs capteurs plus une unité ADC (Analog to Digital Converters) qui a pour rôle de transformer et de communiquer les données analogiques en données numériques compréhensibles pour l'unité de traitement.

Unité de traitement

Composée d'un processeur et d'une mémoire intégrant un système d'exploitation spécifique. l'unité de traitement dans les capteurs sans fil est l'élément clé qui permet au capteur de collecter, de traiter et de transmettre des données, et elle est souvent conçue pour être compacte et économe en énergie afin de répondre aux exigences des applications sans fil.

Unité de communication

Cette unité assure la connexion entre les nœuds du réseau, généralement équipés d'une radio ainsi que d'une antenne. Cette unité est responsable d'effectuer toutes les émissions et réceptions des données sur un medium sans fil, elle peut être de type optique (comme dans les nœuds Smart Dust), ou de type radiofréquence. Le module radio c'est le module qui consomme le plus d'énergie.

Unité d'énergie

Unité d'énergie dans les capteurs sans fil est l'élément qui fournit l'énergie nécessaire pour alimenter le capteur. Elle peut être constituée d'une batterie, d'une pile ou d'une source d'énergie renouvelable telle qu'un panneau solaire, en fonction de la conception et de l'application spécifiques du capteur.

L'unité d'énergie doit être conçue pour être suffisamment petite et légère pour être intégrée dans le capteur et pour répondre aux exigences des applications sans fil, qui sont souvent caractérisées par une autonomie énergétique limitée

1.3.1.2 Selon le besoin d'application

En fonction des besoins de l'application du réseau de capteurs le nœud capteur peut intégrer d'autres unités telles que :

Système de localisation

Le nœud de système de localisation peut être utilisé pour déterminer la position géographique des différents nœuds dans le réseau de capteurs. Cela peut être utile pour des applications telles que la surveillance de la circulation, la surveillance de l'environnement.

Mobilisateur

Le nœud de système de localisation peut également être utilisé pour suivre les déplacements des différents nœuds dans le réseau de capteurs. Cela peut être utile pour des applications telles que la navigation dans des environnements inconnus, la surveillance de la sécurité.

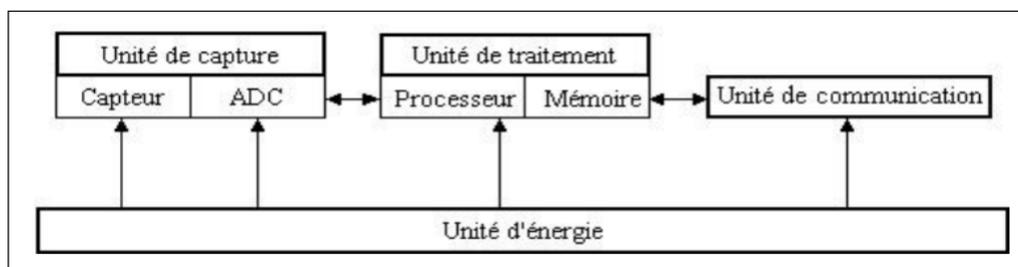


FIGURE 1.2 – architecture matérielle d'une capture sans fil [2]

1.3.2 Architecture logiciel

Les systèmes d'exploitation pour les capteurs sont des systèmes d'exploitation optimisés pour les petits appareils électroniques qui doivent fonctionner sur des ressources limitées, telles que la mémoire, la puissance de traitement et l'énergie. nous allons présenter différents système d'exploitation couramment utilisés lors de la programmation de capteurs : TinyOs, MANTIS OS et Free RTOS [13].

TinyOS :

TinyOS est un système d'exploitation de source ouverte conçu pour les appareils électroniques de petite taille tels que les capteurs sans fil. Il est optimisé pour une faible consommation d'énergie et prend en charge les protocoles de communication sans fil tels que Zigbee et Bluetooth Low Energy.

MANTIS OS :

MANTIS OS est compatible avec différentes plateformes, notamment MicaZ et TelosB. Les applications sont programmées en langage C sur MANTIS OS. Le système se compose principalement de trois composants essentiels : la couche DEV, qui offre un accès aux périphériques d'entrée-sortie ; la couche Net, qui gère, entre autres, la pile de communication ; et la couche COM, qui permet d'accéder aux communications telles que le port série ou la RF. Ces

composants jouent des rôles clés dans le fonctionnement et la gestion des fonctionnalités du système MANTIS OS.

FreeRTOS :

FreeRTOS est un système d'exploitation temps réel conçu pour les systèmes embarqués. Il offre un ordonnancement des tâches à intervalles réguliers ou en réponse à des événements asynchrones. Chaque tâche représente un processus distinct avec son propre contexte d'exécution, ce qui permet d'avoir plusieurs tâches au sein d'une application, chacune ayant une priorité préalablement définie.

La communication entre les tâches est réalisée à l'aide de files, de sémaphores ou de mutex, permettant ainsi le partage de ressources communes. Ces mécanismes facilitent la coordination et la synchronisation entre les différentes tâches, garantissant un fonctionnement efficace et fiable du système.

1.4 Caractéristiques principales d'un capteur

Le fonctionnement d'un capteur repose sur deux entités fondamentales :

L'unité d'acquisition : qui constitue le cœur physique du capteur et permet de réaliser la mesure.

L'unité de communication : qui assure la transmission des données mesurées vers d'autres dispositifs électroniques.

Chaque capteur est doté d'un rayon de communication (R_c) et d'un rayon de sensation (R_s). La Figure 1.3 illustre les zones définies par ces deux rayons pour le capteur. La zone de communication correspond à la région où le capteur peut échanger des données avec d'autres capteurs. Par ailleurs, la zone de sensation (ou de détection) représente la zone dans laquelle le capteur est capable de détecter l'événement en question [3].

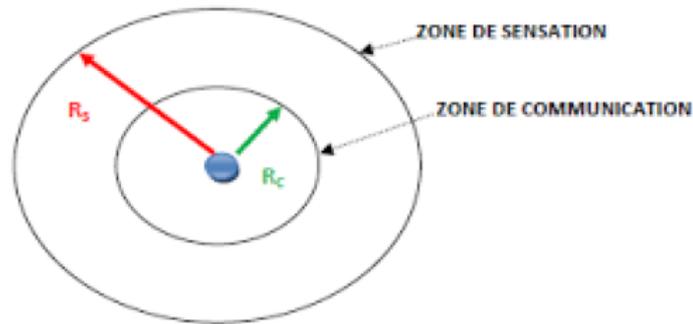


FIGURE 1.3 – Rayons de communication et de détection d’un capteur [3]

1.5 Les réseaux de capteurs sans fil

1.5.1 Définition d’un réseau de capteurs sans fil

Un réseau de capteur sans fil est un type particulier de réseau Ad hoc Mobile d’un grand nombre de nœuds qui est conçu pour collecter des données provenant de l’environnement physique, telles que la température, l’humidité, la pression, la luminosité, etc. Les capteurs dans RCSF sont placés dans des zones spécifiques pour surveiller les paramètres environnementaux et transmettre les données collectées à une station de base via des communications sans fil. Les données peuvent ensuite être analysées pour diverses applications telles que la surveillance de l’environnement, l’agriculture de précision, la gestion de l’eau, la sécurité industrielle, etc [14].

1.5.2 Architecture d’un réseau de capteur sans fils

La figure 1.4 représente l’architecture du RCSF est composée de plusieurs nœuds capteurs connectés entre eux par des liaisons sans fil de type Radiofréquences (RF), acoustique, optique ou Infrarouge(IR). Les nœuds capteurs sont déployés de manière aléatoire ou déterministe dans une zone d’intérêt appelée champ de capture pour collecter des données du monde physique. Ils ont des ressources limitées en termes d’énergie, de portée de capture et de communication, de bande passante, de vitesse de traitement et de capacité de stockage. Les données collectées sont acheminées à un ou plusieurs nœuds collecteurs appelés puits, qui sont souvent plus puissants que les nœuds capteurs ordinaires. Les puits peuvent utiliser localement les données provenant des nœuds capteurs ou les relayer à un centre de décision distant via une liaison haut débit. La

station de base ou le puits est la passerelle entre le réseau de capteurs et l'utilisateur final, qui peut surveiller et commander l'environnement à distance via l'Internet ou un satellite [15].

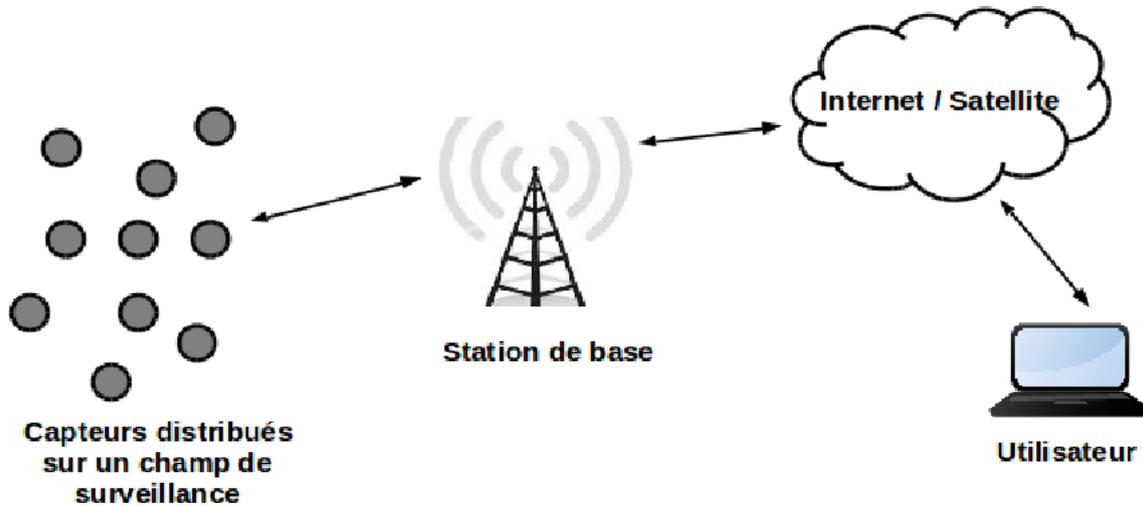


FIGURE 1.4 – Architecture d'un réseau de capteurs sans fil

1.5.3 Les catégories des réseaux sans fils

Selon [4][16] et comme illustre dans la figure 1.5, les réseaux sans fil peuvent être classés en fonction de leur infrastructure et de leur zone de couverture.

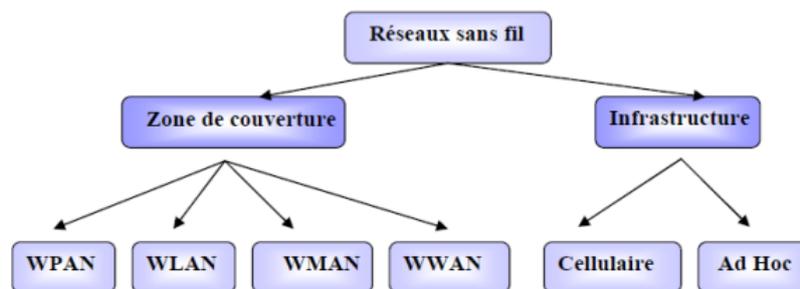


FIGURE 1.5 – Les catégories des réseaux sans fils [4]

1.5.3.1 Selon l'infrastructure

Réseaux ad hoc :

Également appelés réseaux sans fil spontanés, ils ne nécessitent pas d'infrastructure fixe et sont formés à la volée entre des appareils mobiles.

Un réseau cellulaire :

Est un réseau de communication sans fil qui est constitué de nombreuses cellules (zones géographiques) desservies par des antennes-relais. Les téléphones mobiles communiquent avec ces antennes pour transmettre des données ou des appels, et les antennes sont reliées entre elles pour former un réseau.

1.5.3.2 Selon la zone de couverture

Les réseaux personnels sans fil (WPAN - Wireless Personal Area Networks) :

Ces réseaux sont conçus pour connecter des appareils personnels tels que des téléphones portables, des ordinateurs portables et des tablettes.

Les réseaux locaux sans fil (WLAN - Wireless Local Area Networks) :

Ces réseaux sont conçus pour couvrir une zone géographique plus large, comme un bureau, une maison ou un campus.

Les réseaux métropolitains sans fil (WMAN - Wireless Metropolitan Area Networks) :

Ces réseaux sont conçus pour couvrir une zone géographique plus grande, comme une ville ou une région métropolitaine.

Les réseaux de large zone sans fil (WWAN - Wireless Wide Area Networks) :

Ces réseaux sont conçus pour couvrir une zone géographique encore plus grande, comme un pays ou un continent.

1.6 Caractéristiques spécifiques des RCSF

Les réseaux de capteurs ont des caractéristiques de base intrinsèques qui peuvent être divisées : au niveau des nœuds de capteurs et au niveau du réseau formé par ces nœuds de capteurs [17].

1.6.1 Caractéristiques liées aux nœuds capteurs

Les nœuds capteurs sont généralement de petite taille, et sont équipés de capteurs qui leur permettent de mesurer des phénomènes physiques tels que la température, l'humidité, la pression, etc. Et ils présentent des caractéristiques spécifiques qui les différencient des autres types de nœuds de réseau. Voici quelques unes de ces caractéristiques :

1.6.1.1 Energie

L'énergie est une caractéristique importante des nœuds capteurs dans les réseaux de capteurs. En effet, les nœuds capteurs ont une alimentation limitée, généralement fournie par des batteries, et doivent donc gérer leur consommation d'énergie de manière efficace pour prolonger leur durée de vie .

1.6.1.2 Portée de transmission

La portée de transmission dépend de plusieurs facteurs, tels que la puissance de transmission, la sensibilité du récepteur, les obstacles physiques tels que les murs, les bâtiments, les arbres, etc. Les nœuds capteurs ont généralement une portée de transmission limitée en raison de leur faible puissance de transmission et de leur petite taille. En outre, la portée de transmission peut varier en fonction de l'environnement dans lequel les nœuds capteurs sont déployés.

1.6.1.3 Puissance de stockage et de traitement

La puissance de stockage des nœuds capteurs détermine la quantité de données que les nœuds peuvent stocker localement avant de les transmettre. La puissance de traitement des nœuds capteurs détermine la capacité des nœuds à traiter les données collectées localement avant de les transmettre. Les nœuds capteurs ont généralement une puissance de stockage et de traitement limitée en raison de leur petite taille et de leur faible consommation d'énergie.

1.6.2 Caractéristiques liées au réseau

Il existe plusieurs caractéristiques qui sont-elles liées au réseau telles la communication inter-nœuds, la bande passante, la densité, le déploiement, le type de réseau et la topologie dynamique.

1.6.2.1 Communication inter-nœuds

Les communications inter-nœuds capteurs ne sont pas fiables et l'exécution des processus implantés dans les nœuds est asynchrone ce qui rend la conception d'un système distribué très difficile à réaliser.

1.6.2.2 Bande passante

Cela fait référence à la quantité de données qui peuvent être transmises à travers le réseau en un temps donné. La bande passante utilisée dans les réseaux de capteurs sans fil est généralement très réduite.

1.6.2.3 Densité

Généralement, le type de l'application envisagée influe sur le choix de la densité à prendre. Et pour obtenir des résultats de mesure de bonne qualité, on privilégie souvent le facteur nombre de nœuds plutôt que le facteur qualité des nœuds capteurs.

1.6.2.4 Déploiement

Déploiement fait référence à la manière dont le réseau est Les nœuds capteurs déployé, peuvent être déployés d'une manière aléatoire ou déterministe.

1.6.2.5 Type de réseau

Le type de réseau influe sur le choix du type des protocoles et services à mettre en place. Le réseau de capture sans fil peut être de type ad hoc ou de type infrastructure.

1.6.2.6 Topologie dynamique

Le réseau de capture sans fil est constitué d'un ensemble de nœuds qui peuvent se déplacer librement, et cette dynamique est l'un des aspects les plus originaux des réseaux de capteurs sans fil, Car le changement topologique du réseau peut engendrer des problèmes de connectivité du réseau et donc son inaccessibilité.

1.7 Contraintes de conception des RCSF

Les RCSF présentent plusieurs contraintes de conception liées à leur environnement d'opération. Ces contraintes peuvent influencer la manière dont les RCSF sont conçus, déployés et exploités. Les principales contraintes de conception des RCSF sont les suivantes [18] :

1.7.1 La tolérance aux pannes

La tolérance aux pannes est une autre contrainte importante de conception pour les RCSF. Les nœuds capteurs dans les RCSF peuvent être sujets à des défaillances en raison de problèmes tels que l'épuisement de la batterie, des erreurs de transmission, des interférences, etc. La tolérance aux pannes est la capacité du RCSF à continuer à fonctionner malgré ces défaillances.

1.7.2 Les coûts de production

La conception des RCSF doit prendre en compte une variété de contraintes de coûts pour assurer leur viabilité économique. Le prix d'un nœud est critique afin de pouvoir concurrencer un réseau de surveillance traditionnel.

1.7.3 L'extensibilité (passage à l'échelle)

L'extensibilité, ou la capacité de passage à l'échelle, est une contrainte importante dans la conception des RCSF. Elle se réfère à la capacité du système à fonctionner efficacement même lorsque le nombre de nœuds capteurs et d'autres composants du système augmente considérablement. L'extensibilité est cruciale car les RCSF doivent être capables de surveiller et de contrôler des réacteurs de plus en plus grands et complexes, et cela nécessite un nombre croissant de capteurs et de dispositifs de contrôle.

1.7.4 L'environnement de déploiement

Les RCSF sont souvent déployés dans des environnements extrêmement difficiles, tels que des réacteurs nucléaires, des champs de pétrole et de gaz, des mines, des usines chimiques et des environnements militaires. Ces environnements présentent de nombreux défis pour les systèmes de capteurs, notamment des températures extrêmes, des vibrations, des perturbations électromagnétiques, des interférences radio et des conditions d'éclairage variables. Pour garan-

tir un bon fonctionnement dans ces environnements difficiles, les ingénieurs de conception des RCSF doivent prendre en compte plusieurs facteurs. Tout d'abord, ils doivent sélectionner des capteurs et des composants qui sont robustes et durables, capables de résister aux conditions environnementales les plus difficiles. Ils doivent également tenir compte de la consommation d'énergie, car l'alimentation électrique peut être limitée dans les environnements extrêmes.

1.7.5 La consommation d'énergie

La consommation d'énergie est une contrainte majeure dans la conception des RCSF. La plupart des nœuds capteurs dans un RCSF fonctionnent sur des batteries et ont des ressources limitées en termes de puissance de traitement, de mémoire et de bande passante. Par conséquent, la gestion efficace de l'énergie est cruciale pour prolonger la durée de vie de la batterie et assurer une utilisation efficace du réseau.

1.8 Classification des RCSFs

Les Réseaux de Capteurs Sans Fil sont hautement spécialisés selon leur application et sont déployés en fonction des exigences de celle-ci. Ainsi, les caractéristiques d'un RCSF seront différentes de celles d'un autre RCSF. Quelle que soit l'application, on peut généralement classer les Réseaux de Capteurs Sans Fil en différentes catégories [19].

1.8.1 RCSF statique et mobile

Nous pouvons distinguer deux grandes catégories de réseaux : réseaux statiques et réseaux dynamiques ou mobiles (static and mobile networks). Dans la première catégorie tous les nœuds de capteurs sont fixes sans mouvement. Mais il y a certaines applications nécessitent des nœuds de capteurs mobiles.

1.8.2 RCSF déterministe et non déterministe

Dans un déploiement déterministe, les positions des nœuds capteurs sont soigneusement planifiées et prédéterminées avant l'installation du réseau. Mais dans un déploiement non déterministe, les positions des nœuds capteurs sont choisies de manière aléatoire en raison de

plusieurs facteurs tels qu'un environnement difficile ou des conditions de fonctionnement hostiles.

1.8.3 Station de base unique et station de base multiple RCSF

Une station de base unique dans un réseau de capture sans fil est une configuration où une seule station de base est utilisée pour recevoir les données de plusieurs capteurs sans fil. Par contre, dans le cas d'une station de base multiple RCSF, plus de station de base est utilisée et un nœud capteur peut transférer des données vers la station de base la plus proche.

1.8.4 Station de base statique et station de base mobile RCSF

Semblable aux nœuds de capteurs, même les stations de base peuvent être statiques ou mobiles. Une station de base statique est une station de base qui est fixe et ne peut pas être déplacée une fois qu'elle est installée. Autre côté, une station de base mobile est une station de base se déplace autour de la région de détection de sorte que la charge des nœuds de capteur soit équilibrée.

1.8.5 RCSF à un et à plusieurs sauts

Dans un RCSF à un seul saut, les nœuds capteurs communiquent directement avec la station de base. Dans un RCSF à plusieurs sauts, les nœuds capteurs transmettent leurs données à d'autres nœuds capteurs, qui les transmettent à leur tour à la station de base.

1.8.6 RCSF auto-reconfigurable et non auto-configurable

Dans un RCSF non auto - configurable, les réseaux de capteurs ne peuvent pas s'organiser en réseau et s'appuient sur une unité de contrôle pour collecter des informations. La plupart des RCSF est capable de s'adapter automatiquement aux changements de l'environnement en réorganisant les capteurs(auto - configurable).

1.8.7 RCSF homogène et hétérogène

Un réseau de capture sans fil homogène est constitué de capteurs identiques, tous les nœuds de capteurs ont une consommation d'énergie, une puissance de calcul et des capacités de sto-

ckage similaires. Dans le cas d'un RCSF hétérogène, est constitué de capteurs différents, qui ont des capacités et des caractéristiques différentes.

1.9 Domaines d'applications des réseaux de capteurs sans fil

Selon [20], les réseaux de capteurs sans fil RCSF ont de nombreuses applications dans de nombreux domaines. Dans la figure 1.6, Voici quelques exemples de domaines d'applications des RCSF.



FIGURE 1.6 – Domaines d'applications des réseaux de capteurs sans fil [5]

1.9.1 Application militaire :

Les RCSF ont été développés en grande partie à des fins militaires en raison de leur capacité à être déployés rapidement avec un coût réduit, leur auto-organisation et leur tolérance aux pannes. Les militaires peuvent déployer ces réseaux pour surveiller des secteurs stratégiques ou complexes d'accès, pour détecter des agents chimiques, biologiques ou de radiation, ou pour collecter des informations sur les mouvements ennemis. Des tests concluants ont été menés par l'armée américaine dans le désert de Californie et d'autres endroits pour évaluer l'efficacité de ces réseaux dans des opérations militaires. La figure 1.7 illustre cela.

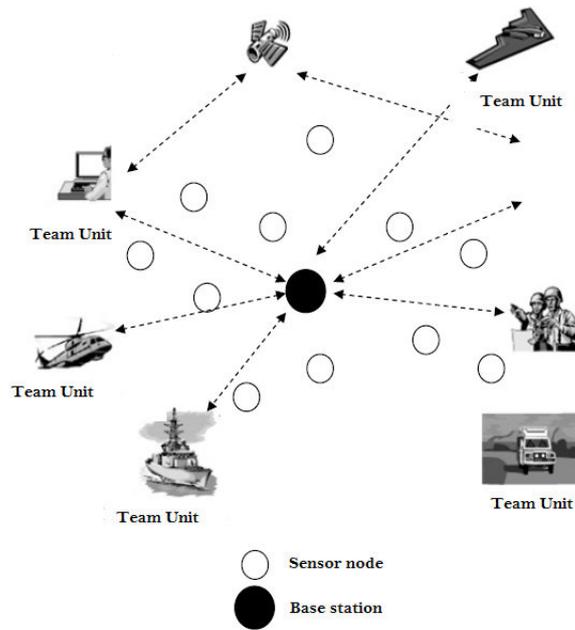


FIGURE 1.7 – Les RCSFs dans le domaine militaire [6]

1.9.2 Applications agricoles

Les capteurs peuvent être utilisés pour détecter les changements climatiques et réagir en conséquence dans l'agriculture. Par exemple, dans le processus d'irrigation, les capteurs peuvent détecter les zones sèches dans un champ agricole et ajuster la quantité d'eau délivrée à ces zones en temps réel, ce qui peut aider à économiser de l'eau et à améliorer la croissance des cultures, figure 1.8. De plus, les capteurs peuvent également aider à surveiller les conditions météorologiques et les prévisions à court terme, permettant ainsi aux agriculteurs de prendre des décisions plus éclairées sur la gestion de leurs cultures et de leurs ressources en eau.



FIGURE 1.8 – Application agricole de RCSF [7]

1.9.3 Application médicale

Les réseaux de capteurs ont en effet le potentiel de révolutionner le domaine de la médecine en permettant une surveillance continue et précise des fonctions vitales du corps humain. Les micro-capteurs peuvent être implantés ou ingérés pour collecter des données en temps réel sur des paramètres physiologiques tels que la glycémie, la tension artérielle, la fréquence cardiaque, la température corporelle, etc. Ces données peuvent être transmises sans fil à des dispositifs de surveillance portables ou à des centres de données pour analyse. Les professionnels de santé peuvent ainsi surveiller en temps réel l'état de santé du patient et être alertés en cas d'anomalies ou de situations critiques nécessitant une intervention immédiate..La figure 1.9 illustre cela.



FIGURE 1.9 – Les RCSFs pour les applications sanitaires

1.9.4 Applications environnementales

les réseaux de capteurs sont des outils puissants pour la surveillance environnementale, car ils permettent de collecter des données précises et en temps réel sur les changements environnementaux. Ces données peuvent être utilisées pour prendre des décisions éclairées en matière de gestion environnementale, de planification urbaine et de développement durable. Les réseaux de capteurs peuvent aider à prévenir les catastrophes environnementales, à protéger les écosystèmes fragiles et à promouvoir une gestion plus efficace et durable des ressources naturelles



FIGURE 1.10 – Applications environnementales des RCSFs

1.10 Conclusion

Les RCSF sont une technologie prometteuse qui offre de nombreuses possibilités dans de nombreux domaines d'application. Cette nouvelle technologie suscite un intérêt croissant en raison de sa diversité d'applications dans les domaines de la santé, de l'environnement, de l'industrie et même du sport. Dans ce premier chapitre, nous avons présenté les réseaux de capteurs sans fil de manière générale, en mettant en évidence leur structure et leurs différentes applications.

Dans le chapitre suivant, nous discuterons de la couverture dans les RCSF (Réseaux de Capteurs Sans Fil) et de leurs types, ainsi que des critères de classification qui leur sont propres. Ensuite, nous présenterons les algorithmes proposés dans la littérature pour résoudre les problèmes liés à la couverture.

Chapitre 2

Présentation sur les problèmes et les approches de détection et optimisation des trous

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 aux fonctionnements du réseau. En cas d'ayant des trous de couverture le réseau sera à un faible couverture et connectivité. Pour corriger les trous de couverture était nécessaire de développera des algorithmes de correction des trous.

Dans la première partie de ce chapitre, nous allons définirons la notion de trous de couverture, les types des couvertures ainsi que l'ordonnancement des activités des capteurs, la suite du chapitre se concentrera sur l'examen de divers protocoles présentés dans la littérature qui traitent de la détection et de la correction des trous de couverture dans les réseaux de capteurs sans fil.

2.2 Trou de couverture dans les RCSFs

Un trou de couverture (en anglais "coverage hole") dans un RCSF se réfère à une zone géographique où les capteurs ne sont pas en mesure de collecter et de transmettre des données à SB. Les trous de couverture peuvent être classés en deux catégories. Le premier (appelé trou patchable) se compose de trous qui peuvent être colmatés en déployant de nouveaux capteurs (par exemple, les trous causés par des attaques adverses ou l'épuisement de l'énergie), et le second (appelé trou non patchable) se compose des trous qui ne peuvent pas être colmatés (par exemple, les trous causés par la présence d'obstacles tels que des rivières, des bâtiments, etc.) [21].

2.3 Couverture dans les RCSFs

L'un des objectifs majeurs des RCSF est d'assurer une couverture totale et efficace d'une zone d'intérêt donnée. Pour qu'une zone soit considérée comme couverte complètement, il est nécessaire que chaque point de la zone d'intérêt soit couvert par au moins un capteur actif à une distance euclidienne inférieure à son rayon de capture [22].

2.4 Critères de classifications de la couverture

Selon [8], les problèmes de la couverture dans les réseaux de capture sans fil on pou classifiées selon les critères suivants :

2.4.1 Classifications selon les méthodes de déploiement des capteurs

La méthode de déploiement des capteurs diffère selon les conditions de l'environnement dans la zone d'intérêt. Pour les environnements difficiles ou inaccessibles il faut utiliser le déploiement aléatoire, et le déploiement déterministe pour les environnements accessibles et connus, ou les positions de capteurs peuvent être déterminé précisément.

2.4.2 Classifications selon L'énergie

En général, les capteurs qui ont une petite taille sont déployés dans des environnements difficiles, avec des dimensions réduites, et leur source d'énergie est une batterie qui est limitée

et (presque) impossible à recharger.

2.4.3 Classifications selon La connectivité

La connectivité d'un RCSF fait référence à la propriété du réseau d'avoir au moins un chemin entre chaque capteur et la station de base. Cette connectivité est essentielle pour garantir que toutes les informations collectées par les capteurs soient transmises à la station de base en tout temps. En d'autres termes, chaque nœud du réseau doit être joignable à partir de SB.

2.4.4 Classifications selon La communication

Chaque capteur a un rayon de capture et de communication. Si tous les capteurs ont les mêmes rayons de capture et de communication, le réseau est dit homogène. Si ce n'est pas le cas, le réseau est dit hétérogène.

2.5 Types de couverture

Il existe trois types de couverture [23] [24] :

2.5.1 Couverture de zone

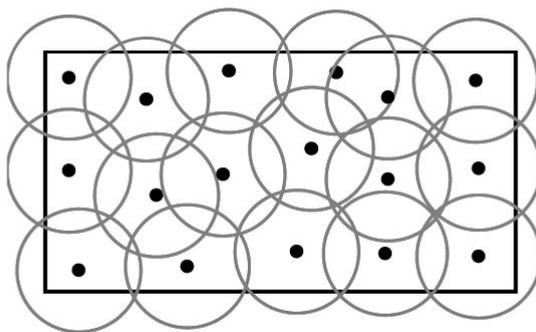


FIGURE 2.1 – Exemple de couverture d'une zone [8]

La couverture de zone (également appelée couverture de surface) a pour objectif de couvrir une région complète.

La figure (2.1) représente un ensemble de capteurs déployés dans une zone rectangulaire où chaque point est couvert par au moins un capteur.

2.5.2 Couverture de point

La couverture de point (également appelée couverture de cibles) a pour objectif de couvrir des points spécifiques dans une région. La figure (2.2) montre un exemple où un ensemble de capteurs est déployé pour couvrir un ensemble de points spécifiques (représentés par des étoiles) dans une zone donnée.

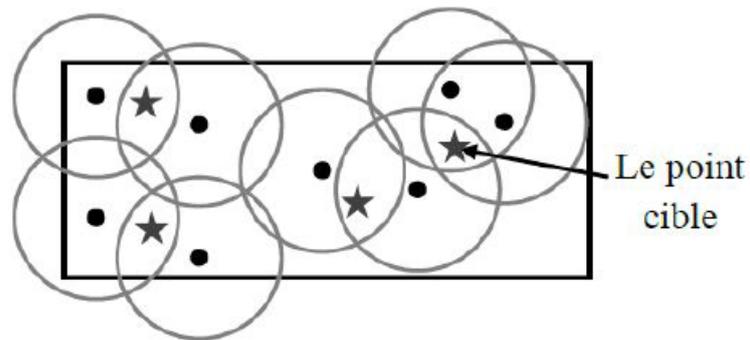


FIGURE 2.2 – Exemple de couverture de points [8]

2.5.3 Couverture de barrière

La couverture de barrière est utilisée pour réduire la pénétration non détectée à travers une barrière (réseau de capteurs) vers une zone protégée, comme illustré sur la figure (2.3).

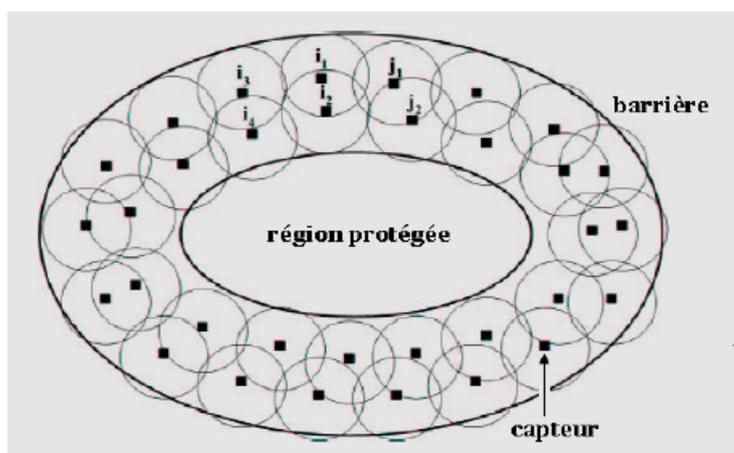


FIGURE 2.3 – La couverture de barrière [8]

2.6 Gestion de l'ordonnement dans les RCSFs

On distingue des approches centralisées, hiérarchiques et des approches localisées, par conséquent totalement décentralisées [23].

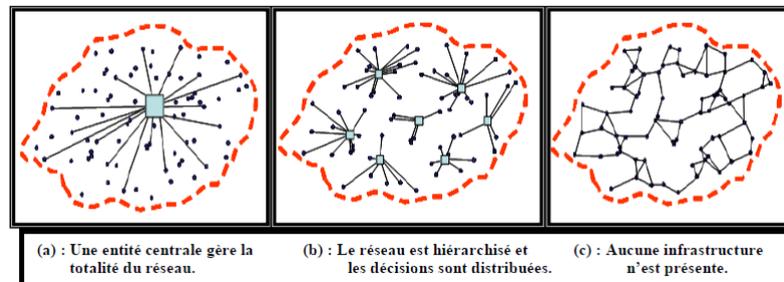


FIGURE 2.4 – Trois approches algorithmiques pour l'ordonnement d'activités [8]

2.6.1 Approche centralisée

Les approches centralisées impliquent la présence d'un nœud central (représentée par un carré sur la figure 2.4 (a)) qui coordonne l'ensemble du réseau. Ce nœud central peut être chargé de collecter des données auprès des capteurs et de les transmettre à une station de base ou à un système de surveillance. L'ordonnement des transmissions est également effectué par le nœud central, qui peut utiliser des algorithmes de planification pour optimiser l'utilisation du réseau. Ce type d'approche est couramment utilisé dans les applications de domotique, où les capteurs fournissent des informations au contrôleur central qui régule les différents appareils de la maison, ainsi que dans les applications de surveillance de structure, qui détectent toute anomalie dans l'édifice. Toutefois, ces solutions d'ordonnement ne sont adaptées que si l'environnement peut être atteint et qu'une infrastructure existe ou peut être déployée.

2.6.2 Approche hiérarchique

Dans une approche hiérarchique, le réseau est organisé en sous-ensembles, chaque sous-ensemble a un chef qui gère cet ensemble, qu'est sélectionner (les carrés sur la figure 2.4(b)) par exemple. Et peut sélectionner outre chefs à partir de membres de sous-réseau pour équilibrer les ressources disponibles. Dans un ordonnancement hiérarchique, les informations de changement de topologie sont propagées seulement dans sous-structures, qui fait des solutions plus propices

pour augmenter la taille de réseau. Il reste néanmoins problématique de gérer les appartenances à ces sous-ensembles et le passage éventuel de l'un à l'autre.

2.6.3 Approches localisées

Les approches localisées dans les réseaux de capture sans fil ne nécessitent pas d'infrastructure ni de hiérarchisation du réseau (comme illustré dans la figure 2.4(c)). Leur objectif est d'obtenir un comportement global cohérent à partir des comportements individuels. Dans cette approche, chaque nœud prend sa propre décision en se basant uniquement sur l'observation de ses voisins directs. Le comportement de chaque nœud n'est influencé que par celui de ses voisins directs. Ainsi, les changements de topologie du réseau, tels que la mobilité, les pannes ou les changements de statut, ne sont perçus que comme de simples modifications de leurs voisinages. Cela permet d'obtenir des solutions robustes, adaptables et surtout évolutives, ce qui est très important dans les réseaux avec des densités élevées, pouvant aller jusqu'à une centaine de nœuds par zone de communication.

2.7 Étude des travaux et méthodologies de résolutions la détection et optimisation des trous de couverture

La détection des trous de couverture dans les réseaux de capteurs sans fil est un sujet de recherche actif dans la communauté scientifique. Différentes approches ont été proposées pour résoudre ce problème. Parmi ces approches, on peut citer les algorithmes de Bernoulli, les approches basées sur la partition de Voronoi, les approches basées sur les forces virtuelles, les algorithmes de champ potentiel, les algorithmes différenciés de déploiement, Qui ne sont souvent pas des résultats idéaux, lents, coûteux et difficiles à utiliser en même temps contrairement à les approches d'optimisation évolutionnaires et d'intelligence collective. comme modifié l'équation de l'abeille observatrice et de l'abeille exploratrice de l'algorithme de colonie d'abeilles en introduisant de nouveaux paramètres tels que l'oubli et le facteur voisin pour accélérer la vitesse de convergence et la probabilité de mutation pour maximiser le taux de couverture [25].

2.8 L'application des algorithmes bio-inspirés pour la détection et optimisation des trous

Les algorithmes bio-inspirés sont parmi les meilleures méthodes pour résoudre des problèmes d'optimisation tels que la couverture de zone, la couverture d'objectifs et la localisation des nœuds. Comparés aux algorithmes d'optimisation traditionnels, les algorithmes bio-inspirés présentent plusieurs avantages, notamment leur capacité à traiter des problèmes complexes, à s'adapter aux changements de l'environnement et à trouver des solutions robustes. De plus, ces algorithmes sont souvent basés sur des comportements naturels.

2.8.1 Algorithme OLG (Optimisation du Loup Gris)

L'algorithme OLG est une méthode d'optimisation inspirée du comportement social des loups gris. Les loups gris sont des animaux sociaux qui vivent en meute et coopèrent pour chasser leur proie. L'algorithme OLG utilise cette hiérarchie pour diviser les loups en quatre groupes et effectue des opérations de recherche pour trouver la solution optimale à un problème d'optimisation [26].

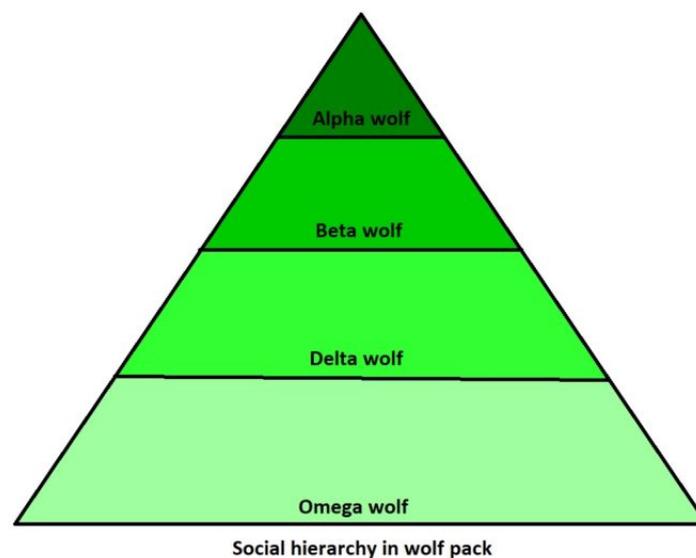


FIGURE 2.5 – Hiérarchie sociale des loups gris [9]

2.8.2 Algorithme OEP(l'optimisation par Essaim de Particulaire, PSO en anglais) :

L'algorithme d'optimisation basé sur l'essaim de particules (PSO) est une méthode d'optimisation heuristique qui s'inspire du comportement de recherche de nourriture des oiseaux. Dans PSO, chaque solution possible est représentée par une particule qui vole dans l'espace de recherche. Chaque particule est guidée par sa propre expérience (meilleure position trouvée par la particule) et par l'expérience du groupe (meilleure position trouvée par l'ensemble des particules). Les particules sont mises à jour itérativement en fonction de ces informations pour trouver la meilleure solution possible [27].

2.8.3 Algorithme AG (Algorithme Génétique)

Un algorithme génétique (GA) est une technique d'optimisation inspirée par la théorie de l'évolution des êtres vivants. Il fonctionne en créant une population initiale de solutions potentielles, puis en appliquant des opérateurs génétiques tels que la sélection, le croisement et la mutation pour produire une nouvelle génération de solutions améliorées. Ce processus est répété jusqu'à ce qu'une solution satisfaisante soit atteinte[28].

2.8.4 Algorithme OEC (Optimisation par Essaim de Criquet)

L'algorithme OEC est un algorithme stochastique récent AE (algorithme évolutionnaire). OEC est un algorithme inspiré de la nature basé sur l'algorithme en essaim. OEC simule le comportement d'un essaim de criquets qui cherche dans l'espace de la nourriture. À la suite de l'interaction des groupes de criquets individuels les uns avec les autres, un essaim de criquets biologiques qui aide à définir la structure de cet algorithme proposé est généré. Le processus de recherche de OEC est guidé par deux étapes, à savoir la phase solitaire et la phase sociale [11].

Et il a une nouvelle version sous le nom OEC (LSO-II en anglais), sortie en 2018, que nous avons utilisée pour optimiser les trous de couverture.

2.9 Conclusion

La couverture d'un réseau de capteurs sans fil peut être considérée comme la capacité du réseau de capteurs sans fil à surveiller un champ d'intérêt particulier. Assurer une couverture suffisante dans un réseau de capteurs est essentiel pour obtenir des données valides. .

Ce chapitre présenté les notions de trous de couverture, couverture et sont classifications, Gestion de l'ordonnancement, étude des travaux et méthodologies de résolutions et l'application des algorithmes bio-inspire pour la détection des trous de couverture.

Dans le chapitre suivant, nous présentons l'algorithme que nous avons utilisé pour mettre en oeuvre notre proposition.

Chapitre 3

Proposition d'une approche de détection et optimisation des trous de couverture dans les RCSF

3.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons nous intéresser à la description de notre contribution visant à détecter et corriger les trous de couverture dans les RCSF avec l'algorithme inspiré d'essaims de criquets.

Ce chapitre commence par la phase de détection des trous de couvertures, suivie de la phase de correction de ces dernières, et se termine par un organigramme représentant notre algorithme.

3.2 Motivation

La couverture complète et efficace d'une zone d'intérêt est un objectif majeur dans les RCSF. Cependant, plusieurs facteurs peuvent provoquer l'apparition de trous de couverture dans ces réseaux, ce qui peut entraîner des perturbations de la couverture ou de la connectivité existante et nuire aux fonctionnalités du réseau. Il est donc essentiel de détecter et de corriger rapidement ces trous de couverture afin d'assurer la pleine opérabilité du RCSF.

Différentes méthodes ont été proposées dans les publications pour traiter ce problème, chacune présentant ses propres avantages et inconvénients. Dans ce cadre, nous présentons une nouvelle méthode pour l'optimisation de la localisation des nœuds dans les RCSF, en proposant notre propre algorithme

3.3 Notre contribution

Notre algorithme se compose de deux phases principales : la phase de détection des trous et la phase de correction de ces derniers. Avant de commencer ces deux phases, nous déployons les nœuds (de manière aléatoire), puis nous utilisons la méthode de triangle de Delaunay pour détecter les trous (phase de détection). Ensuite, nous passons à la phase de correction pour optimiser la couverture de réseau, qui se compose de deux phases distinctes (phase solitaire et phase sociale).

3.3.1 phase détection des trous de couverture

Le processus de détection des trous commence par le calcul des centres de cercles circonscrits et des rayons de chaque triangle à l'aide de la fonction `circumcenter()` qui utilise le triangle de Delaunay comme paramètre. Ensuite, les cercles circonscrits qui se trouvent en dehors de la zone d'intérêt sont supprimés du maillage. Ensuite, pour chaque triangle, l'algorithme vérifie s'il y a un triangle voisin partageant un côté commun et s'il n'y a pas de triangle voisin, il passe au triangle suivant.

Si un triangle voisin est trouvé, les deux triangles sont considérés pour voir s'ils ont un côté commun et la distance entre les points de ce côté commun est calculée. Si la distance entre les deux points est supérieure à deux fois la portée du capteur, alors un trou est détecté dans le maillage triangulaire.

Si un trou est détecté, le triangle correspondant est rempli avec un cercle est dessiné autour du centre du cercle circonscrit avec un rayon égal à la différence entre la portée du capteur et le rayon du cercle circonscrit.

3.3.1.1 triangle de Delaunay

La triangulation de Delaunay est une technique mathématique pour diviser un ensemble de points en un ensemble de triangles non chevauchants et non intersectant. Dans cette triangulation, les sommets de chaque triangle sont des points de données, et les arêtes du triangle ne contiennent aucun autre point de données, c'est-à-dire que le cercle circonscrit de chaque triangle ne contient aucun autre point de données [29].

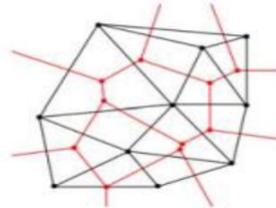


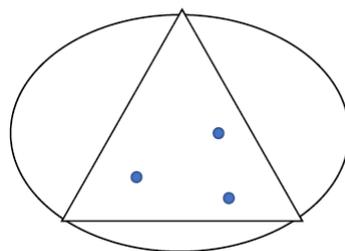
FIGURE 3.1 – Delaunay triangle [10]

L'algorithme commence par ajouter un triangle englobant qui contient tous les points. Ensuite, les points sont ajoutés un à un, et à chaque étape, les triangles qui ont un point dans leur cercle circonscrit sont supprimés et remplacés par de nouveaux triangles créés en reliant le point nouvellement ajouté aux sommets des triangles supprimés. Cette opération est répétée jusqu'à ce que tous les points soient ajoutés et que l'ensemble soit triangulé [10].

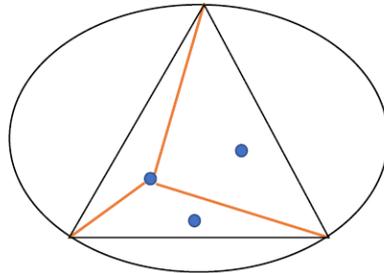
On suppose que l'on a trois points et on cherche leur triangle à l'aide de l'algorithme de Delaunay.



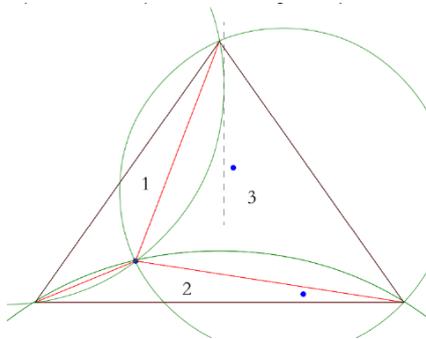
Trouver triangle contenant les 3 points



Par exemple, commençons par le point à gauche qui se trouve dans le cercle. Ainsi, le triangle n'est pas un triangle de Delaunay. Enregistrons ses trois côtés dans le tampon de bord et supprimons le triangle du triangle temporaire.

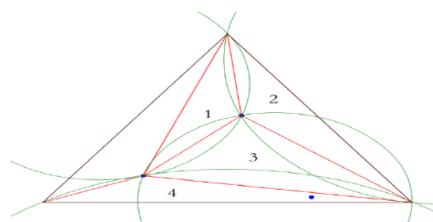


Ensuite, il convient de répéter la traversée des triangles temporaires et de dessiner le cercle circonscrit.



Dans cette étape, le deuxième point est utilisé :

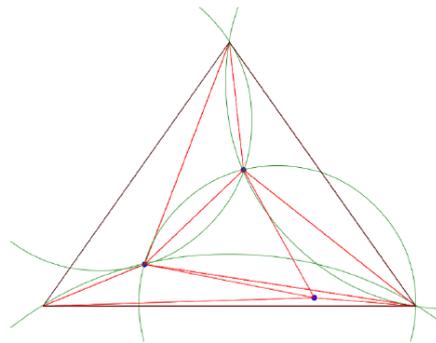
1. Le point se trouve sur le côté droit du cercle circonscrit au triangle 1, ce qui indique que le triangle de gauche est un triangle de Delaunay.
2. Le point est à l'extérieur du cercle circonscrit au triangle 2, qui est un triangle douteux, donc nous le sautons, mais il n'est pas supprimé des triangles temporaires.
3. Le point est à l'intérieur du cercle circonscrit au triangle 3. Nous ajoutons les trois arêtes du triangle au tampon de bord, les combinons pour former trois nouveaux triangles et les ajoutons aux triangles temporaires.



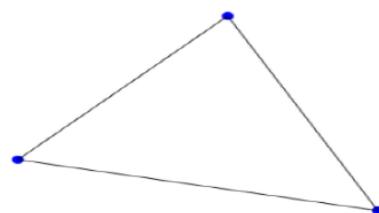
1. Le point est situé sur le côté droit du cercle du triangle 1, donc, le triangle est un triangle de Delaunay, qui est enregistré dans les triangles et supprimé dans les triangles temporaires.
2. Le point est à l'extérieur de cercle de triangle 2, donc, sautez..
3. Le point est à l'intérieur du triangle 3, donc ajouter les trois côtes dans le tampon temporaire et les supprimer de triangles temporaires.
4. Le point est à l'intérieur du triangle 4, donc ajouter les trois côtes dans le tampon temporaire et les supprimer de triangles temporaires.

Supprimez la duplication des six bords dans le tampon temporaire pour obtenir cinq bords. Combinez le point et ces cinq arêtes en cinq triangles et ajoutez-les aux triangles temp.

À ce moment, il y a 6 triangles dans les triangles temporaires



Après avoir parcouru les trois points, le triangle formé par le troisième point ne sera plus circonscrit. À ce moment-là, les triangles et les triangles temporaires sont fusionnés, comprenant le triangle de Delaunay déterminé ainsi que les autres triangles restants. Ensuite, tous les triangles liés aux trois points du super triangle dans le tableau fusionné sont supprimés, les coordonnées du tableau sont limitées et le résultat final est obtenu.



La fonction circumcenter()

C'est une fonction prédéfinie dans MATLAB qui est utilisée pour calculer le centre et le rayon du cercle circonscrit de chaque triangle.

Cercle circonscrit

Un cercle circonscrit est un cercle qui passe par les trois sommets d'un triangle donné.

Triangle voisin

Un triangle voisin fait référence à un triangle qui partage une arête (un côté) avec un autre triangle. Si deux triangles partageant une arête, on dit qu'ils sont des triangles voisins ou adjacents.

3.3.2 Phase d'optimisation des trous de couverture (algorithme OEC)

Selon [30], OEC est définie comme suite :

OEC est un algorithme d'optimisation mondiale basé sur le comportement grégaire observé dans les essais de criquets du désert. Dans OEC, les agents de recherche sont représentés par un ensemble de N criquets individuels $L = \{l_1, l_2, \dots, l_N\}$ (avec N représentant la taille totale de la population), qui interagissent les uns avec les autres tout en se déplaçant dans un espace de solution réalisable à n dimensions. Chaque position individuelle $l_i = [l_{i,1}, l_{i,2}, \dots, l_{i,n}]$ est définie dans un espace borné $S = x \in R^n | lb_d \leq x_d \leq ub_d$ (avec $x = [l_1, l_2, \dots, l_d]$ et où lb_d et $ub_{i,1}$ représentent respectivement les bornes inférieure et supérieure à la d -ème dimension) et représente une solution candidate pour un problème d'optimisation spécifié.

Similaire à d'autres techniques d'optimisation basées sur des essais, OEC comprend un schéma itératif dans lequel les agents de recherche changent de position à chaque génération de l'algorithme au cours de son évolution. Le changement de position appliqué à chaque individu est effectué par un ensemble d'opérateurs inspirés des deux phases comportementales observées chez les criquets du désert : la phase solitaire et la phase sociale.

3.3.2.1 Phase solitaire OEC

Pendant la phase solitaire, les individus se déplacent dans différentes localisations à la recherche de sources alimentaires prometteuses (solutions) tout en évitant de se regrouper avec d'autres individus de la même espèce. Ce schéma est modélisé en prenant en compte les forces d'attraction et de répulsion manifestées entre les individus au sein de la population. Ainsi, pour chaque itération " k ", les forces totales d'attraction et de répulsion (collectivement appelées force sociale) ressenties par un individu spécifique " i " sont données par l'expression suivante :

$$S_i^k = \sum_{j=1, j \neq i}^N S_{ij}^k \quad (3.1)$$

Où S_{ij}^k désigne l'attraction (ou la répulsion) entre l'individu " i " et d'autres individus " j " et est donné par :

$$S_{ij}^k = \rho(l_i^k, l_j^k) s(r_{ij}^k) d_{ij} + rand(1, -1) \quad (3.2)$$

L'opérateur $\rho(l_i^k, l_j^k)$ est connu sous le nom de valeur de dominance entre l_i^k et l_j^k , et la valeur $s(r_{ij}^k)$ représente le facteur social, appelé ainsi. Où $(r_{ij}^k) = l_i^k l_j^k$ désigne la distance euclidienne entre les éléments " i " et " j ". Par conséquent, $d_{ij} = (l_j^k l_i^k) / r_{ij}^k$ représente le vecteur unitaire qui pointe de l_i^k à l_j^k , tandis que $rand(1, 1)$ est un vecteur aléatoire dont les éléments sont tirés d'une distribution uniforme de $[1, 1]$. La valeur $s(r_{ij}^k)$ est donnée par.

$$s(r_{ij}^k) = F * e^{-r_{ij}^k/L} - (e^{r_{ij}^k}) \quad (3.3)$$

Les paramètres F et L désignent respectivement l'amplitude d'attraction/répulsion et l'échelle de longueur. Pour appliquer l'opérateur $\rho(l_i^k, l_j^k)$, on suppose d'abord que chaque individu $l_i^k \in L^k(l_1^k, l_2^k, \dots, l_N^k)$ est classé avec un nombre de 0 (meilleur individu) à $N - 1$ (pire individu) en fonction de leur valeur de condition physique respective. Par conséquent, la valeur de domination peut être donnée comme suit :

$$\rho(l_{ki}, l_{kj}) = \begin{cases} e^{-\left(\frac{\text{rank}(l_i^k)}{N}\right)} & \text{si } \text{rank}(l_i^k) \leq \text{rank}(l_j^k) \\ e^{-\left(\frac{\text{rank}(l_j^k)}{N}\right)} & \text{si } \text{rank}(l_i^k) > \text{rank}(l_j^k) \end{cases} \quad (3.4)$$

En raison de l'influence de la force sociale totale S_i^k , chaque individu "i" manifeste une certaine tendance à se rapprocher (ou à s'éloigner) des autres membres de la population. Dans de telles conditions, la nouvelle position adoptée par l'individu "i" en raison de S_i^k peut être exprimée comme suit :

$$l_i^* = l_i^k + S_i^k \quad (3.5)$$

Le résultat de l'application des opérateurs de mouvement solitaire à chaque individu $l_i^k \in L^k$ est un nouvel ensemble de solutions candidates $L^* = \{l_1^*, l_2^*, \dots, l_N^*\}$, qui représentent les positions prises par chaque individu suite à l'influence exercée par tous les autres membres de l'ensemble.

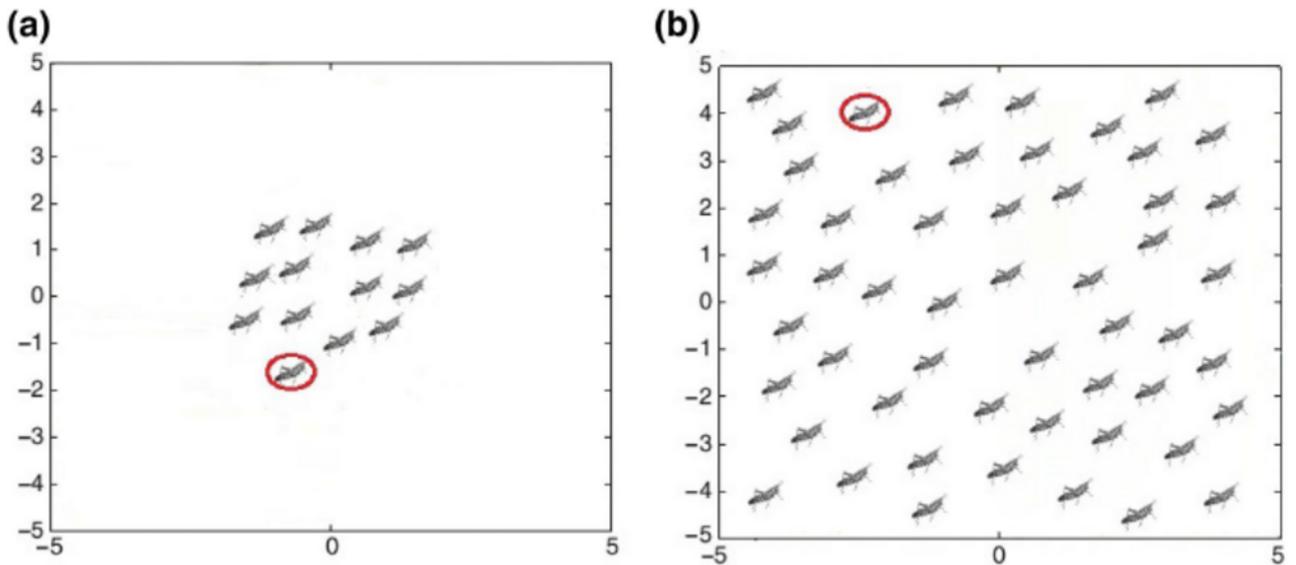


FIGURE 3.2 – Les différentes distributions de la phase solitaire OEC.(a Distribution après 50 itérations et b après 100 itérations) [11]

3.3.2.2 Phase sociale de OEC

La phase sociale du OEC commence par la sélection d'un sous-ensemble de solutions $B^k = \{b_1^k, \dots, b_q^k\}$ qui inclut les q meilleures solutions de l'ensemble total $L^k = \{l_1^k, l_2^k, \dots, l_N^k\}$ (donc, $B^k \subseteq L^k$). Puis on fait un schéma de déplacement qui permet à chaque individu l_i^k d'être attiré dans la direction d'une solution b_j^k sélectionnée au hasard. À cette fin, à chaque solution b_j^k est attribuée une probabilité d'être sélectionnée par un individu donné l_i^k , qui dépend à la fois de la qualité de b_j^k et de la distance séparant les deux individus (l_i^k et b_j^k) comme suit :

$$P_{l_i^k, b_j^k}^k = \frac{A(b_j^k) e^{-\|l_i^k - b_j^k\|}}{\sum_{n=1}^q A(b_n^k) e^{-\|l_i^k - b_n^k\|}} \quad (3.6)$$

Où $\|l_i^k - b_j^k\|$ représente la distance euclidienne entre l'individu « i » (l_i^k) et un membre « j » de l'ensemble des meilleures solutions B^k (b_j^k), tandis que $A(b_j^k)$ désigne l'attractivité de la solution b_j^k telle que donnée par :

$$A(b_j^k) = \frac{f(b_j^k) - f_{worst}(B^k)}{f_{best}(B^k) - f_{worst}(B^k) + \varepsilon} \quad (3.7)$$

Où $f(b_j^k)$ représente la valeur de forme physique (qualité) liée à b_j^k , tandis que $f_{best}(B^k)$ et $f_{worst}(B^k)$ désignent la meilleure et la pire valeur de forme physique parmi les membres de l'ensemble des meilleures solutions B^k . Enfin, ε correspond à une petite valeur (généralement entre $1,0 \times 10^{-4}$ et $1,0 \times 10^{-5}$) utilisée pour éviter une division par zéro. Cela étant dit, dans la phase sociale de OEC, chaque individu l_i^k de la population de la colonie L^k met à jour sa position comme suit :

$$l_i^{k+1} = l_i^k + 2(b_r^k - l_i^k) \cdot rand \quad (3.8)$$

Où b_r^k (avec $r \in [1, \dots, q]$) est une solution choisie au hasard parmi $b_i^k \in B^k$, sélectionnée en appliquant la méthode de sélection à la roulette en fonction de leurs probabilités respectives P_{ij}^k (par rapport à l_i^k et b_j^k), tandis que $rand$ représente un nombre aléatoire tiré dans l'intervalle uniformément distribué $[0, 1]$.

la figure suivant représente la phase sociale dans l'algorithme OEC.

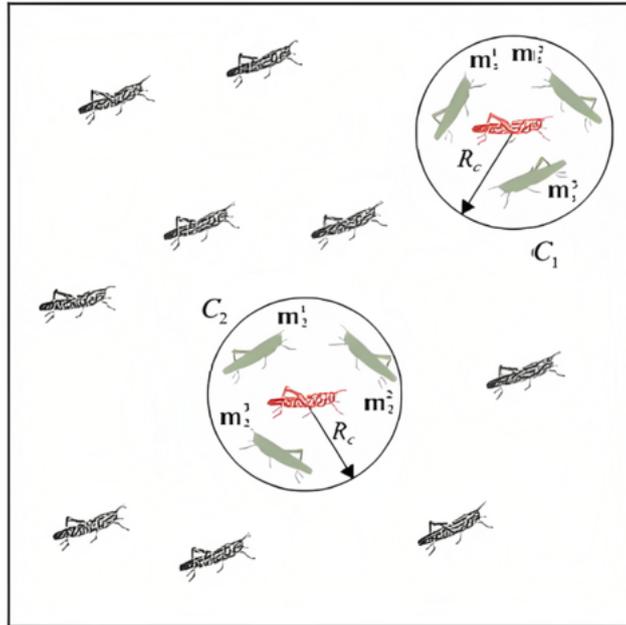


FIGURE 3.3 – Fonctionnement de la phase sociale [11]

A chaque itération " k ", la phase comportementale $P(L^k)$ appliquée à la population L^k est choisie comme suit :

$$P(L^k) = \begin{cases} \text{solitaire} & \text{si } \text{rand} \leq p^k \\ \text{sociale} & \text{si } \text{rand} \geq p^k \end{cases} \quad (3.9)$$

Où rand désigne un nombre aléatoire échantillonné dans l'intervalle uniformément distribué $[0, 1]$, tandis que la valeur p^k , appelée probabilité de comportement, est donnée par :

$$p^k = 1 - \frac{k}{\text{itern}} \quad (3.10)$$

où itern représente le nombre maximum d'itérations considérées dans le processus de recherche.

3.3.3 Méthodologies de OEC

OEC est un algorithme simple avec seulement cinq paramètres ajustables, à savoir la magnitude d'attraction F , la longueur d'attraction L , le nombre de solutions prometteuses g , la taille de la population N et le nombre d'itérations itern . Le fonctionnement de OEC fonctionne

de trois manières, à savoir la procédure d'initialisation, le fonctionnement solitaire et le fonctionnement social.

Initialisation

Cet algorithme commence par créer un ensemble de solutions aléatoires pour explorer l'espace de recherche d'une solution optimale, appelée agents.

Évolution de processus

sont sélectionnés les phases solitaire et sociale à chaque itération selon équation (3.9) jusqu'à ce que le nombre d'itérations $k = itern$ soit atteint. Si la solution optimale n'est pas trouvée, alors la population restante est envoyée pour rechercher une autre solution à proximité des sites sélectionnés comme les meilleurs sites. Les étapes générales de l'algorithme OEC sont présentées dans Algorithme 1 :

Algorithm 1: Algorithme OEC

itern :est le membre d'itération

Initialiser un paramètre réglable de l'essaim de criquets.

for $k = 0 : itern$ **do**

if $rand \leq 1 - (k/itern)$ **then**

 | Calculez l'opération solitaire.

end

else

 | Calculez l'opération sociale

end

end

Result: Retourne la position du meilleur essaim.

3.4 Correction des trous de couverture avec l'algorithme OEC

Le problème de correction des trous doit être abordé de manière appropriée pour l'algorithme OEC. L'étape la plus importante de la correction des trous est de savoir comment coder l'agent OEC pour qu'il soit compatible avec les coordonnées des noeuds.

Les agents et leur initialisation doivent être spécifiés. Une fonction de *fitness* appropriée (fonction de coût) est également nécessaire. Le terme d'agent fait référence à une solution

potentielle qui est un particule dans OEC, un criquet dans un essaim ou un individu dans OEC. Dans cette étude, chaque agent (un individu) est un vecteur initialisé aléatoirement comme suit :

$$\text{individu } [2*n] = \{x_1, x_2, \dots, x_n, y_1, y_2, \dots, y_n\}$$

où n est le nombre total de noeuds d'entrée, x_i est le premier coordonnée du i -ème noeud (capture), y_i est deuxième coordonnée du i -ème noeud. Ce vecteur est représenté par des valeurs allant de 0 à 10.

La fonction de *fitness* fait référence au calcul de l'inverse du taux de couverture de la zone d'intérêt. À chaque itération de l'algorithme, chaque individu est évalué, la fonction de *fitness* évalue l'efficacité d'une seule solution dans une population ou la chance de trouver la meilleure solution et d'atteindre une couverture plus élevée. Généralement, le processus d'optimisation se termine lorsque le critère de terminaison a été atteint, qui est un nombre maximum d'itérations. la fonction de *fitness* utilisées dans cette étude est la suivante :

$$\text{covarea} = \frac{1}{NPC/PTS} \quad (3.11)$$

NPC représente le nombre de points couverts, tandis que *PTS* correspond au nombre total de points dans la zone. Le nombre de points couverts est calculé comme suit : Nous avons déployé 100 000 points dans la zone d'intérêt de manière aléatoire, puis nous vérifions si les points sont couverts à l'aide de la formule suivante

$$\text{dist} = \sqrt{((x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2)} \quad (3.12)$$

Si $\text{dist} \geq \text{Trange}$, on met 1 ; sinon, on met 0. Le nombre des 1 est le résultat de *NPC*. Où *Trange* représente le rayon de communication, $(x_1 - x_2)$ sont les coordonnées d'un nœud de réseau, et $(y_1 - y_2)$ sont les coordonnées d'un point parmi 100 000 points déployés.

La figure 3.4 représente l'individu d'une particule de l'essaim de criquets, composé de deux parties. La première partie x_i correspond aux premières coordonnées des nœuds, tandis que la deuxième partie y_i correspond aux deuxièmes coordonnées des nœuds.

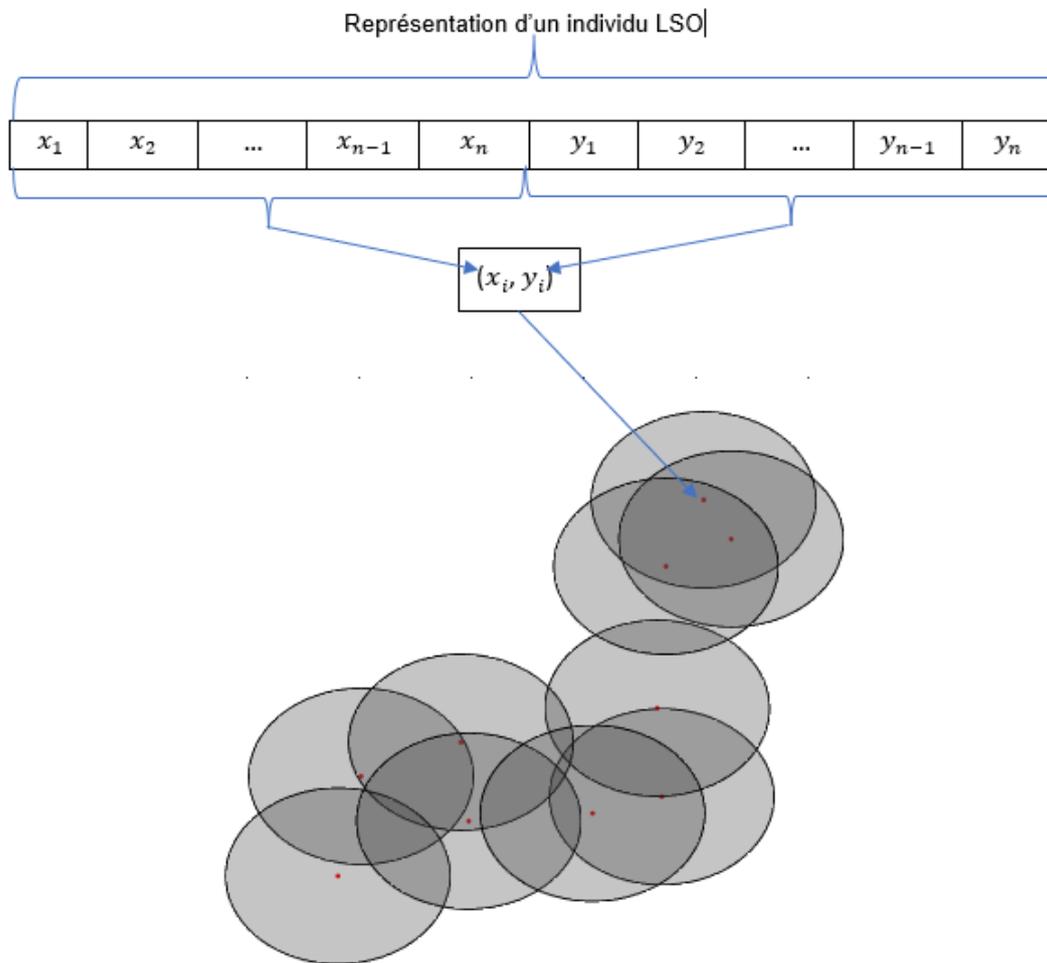


FIGURE 3.4 – Mappage d'une représentation individuelle OEC à un réseau de capture sans fil

3.5 Organigramme de notre contribution

L'organigramme 3.5 représente l'algorithme d'optimisation des trous de couverture avec OEC. Il commence par une initialisation aléatoire des positions des nœuds, puis détecte les trous et commence à les corriger en utilisant l'algorithme OEC, qui s'exécute plusieurs fois jusqu'à ce que le nombre d'itérations spécifié soit atteint. À chaque itération, la valeur de *fitness* est calculée, puis la phase solitaire est exécutée si $rand \leq pk$, sinon la phase sociale est exécutée. Enfin, l'algorithme retourne la meilleure position des nœuds pour couvrir autant que possible la zone d'intérêt.

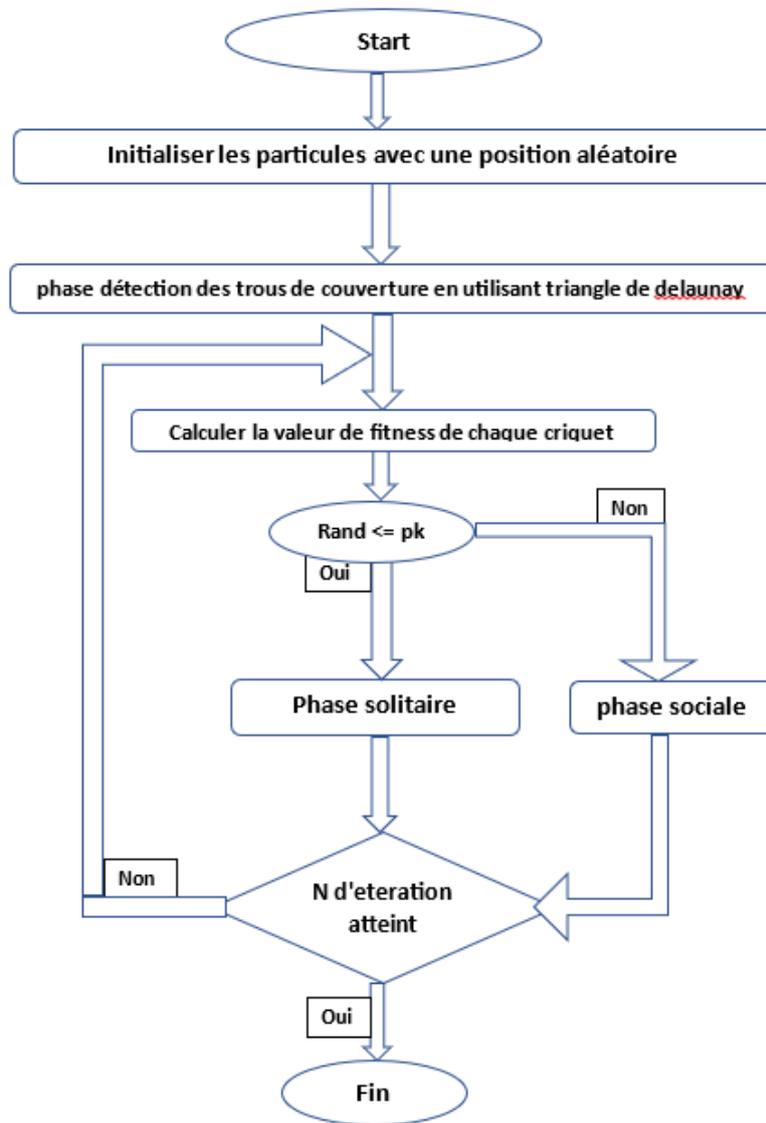


FIGURE 3.5 – Méthodologies de détection et d’optimisation des trous par OEC

3.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté une contribution pour détecter et optimiser les trous de couverture dans les réseaux de capteurs sans fil. Cette approche est basée sur l’algorithme d’optimisation des essaims de criquets (OEC). Nous avons abordé deux phases principales : la phase de détection des trous de couverture, qui repose sur le triangle de Delaunay, et la phase de correction des trous de couverture, qui comprend à son tour deux sous-phases, à savoir la phase solitaire et la phase sociale.

Le prochain chapitre portera sur la simulation de notre approche et sa comparaison avec l’algorithme d’essaim de particules.

Chapitre 4

Simulation

4.1 Introduction

Dans ce dernier chapitre, on va discuter du résultat de notre algorithme. On commence par définir le langage de programmation utilisé et l'environnement de simulation et c'est quoi la simulation, et se termine par une comparaison entre le résultat de notre algorithme et l'algorithme de PSO.

4.2 Langage de programmation utilisé

Pour développer cette approche, nous avons utilisé un ordinateur équipé d'un processeur Intel(R) Core(TM) i7-6500U à 2,50 GHz 2,60 GHz, 8 Go de mémoire et Windows 10 Professionnel 64 bits installé dessus. Pour le langage de programmation et la simulation, nous avons utilisé MATLAB (Matrix Laboratory).

MATLAB est un programme de calcul numérique et de programmation matriciel. Il a été créé par Cliff Mueller en 1984 alors qu'il était professeur de mathématiques à l'Université du Nouveau-Mexique. Müller a développé MATLAB pour faciliter les calculs matriciels et les algorithmes numériques. MATLAB est devenu une plate-forme logicielle puissante avec des fonctionnalités avancées dans des domaines tels que le traitement des images et du signal, les communications, les systèmes de contrôle industriels, la conception de réseaux intelligents, etc. L'environnement MATLAB contient 4 fenêtres avec barre de menu [31].

1. Zone de commandes.
2. Explorateur de fichier.
3. Zone de variables.
4. Historique des commandes.



FIGURE 4.1 – interface matlab

4.3 Simulation

La simulation consiste à la modélisation informatique d'un système quelconque, en offrant une représentation de toutes les entités de ce système, leurs comportements propres. Elle met à la disposition de l'utilisateur un environnement d'expérimentation dont on peut faire varier les paramètres. Il est nécessaire de bien identifier les caractéristiques du système afin de le représenter, le plus finement possible, par des modèles abstraits [32].

4.4 Critères de simulation

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

1. Temps d'exécution : représente le temps nécessaire pour qu'un algorithme termine son exécution.
2. Taux de couverture : le pourcentage de couverture dans la zone d'intérêt

4.5 Paramètres de simulation

paramètre	valeur
nombre de nœuds	10
zone de déploiement de nœuds en mètre	[10,10]
plage de transmission du nœud de capteur en mètre	2
la magnitude d'attraction F	0.4
la longueur d'attraction L	1.4
la taille de la population N	100
le nombre de solutions prometteuses g	20
nombre d'itérations $itern$	100

4.6 Résultats de simulation

4.6.1 Emplacement initial des nœuds de capteur

La première étape de correction des trous de couverture en utilisant l'algorithme d'optimisation par essaims de criquets (OEC) est la dispersion aléatoire des nœuds. Cette étape consiste à répartir les nœuds de manière aléatoire dans la zone à couvrir.

```
16 %% plot the nodes deployment
17 - cnt=1;
18 - for ii=1:N
19 -     for jj=1:N
20 -         if ii~=jj
21 -             nodes.pos(ii,:)
22 -             nodes.distance(ii,jj)=pdist([nodes.pos(ii,:);nodes.pos(jj,:)]);
23 -             if nodes.distance(ii,jj)<Trange || nodes.distance(ii,jj)==Trange
24 -                 nodes.inrange(ii,jj)=1;
25 -             else
26 -                 nodes.inrange(ii,jj)=0;
27 -             end
28 -         end
29 -     end
30 - end
31
32 - figure
33 - F5=plot(nodes.pos(:,1),nodes.pos(:,2),'.','color','r');
34 - hold on
```

FIGURE 4.2 – fonction pour placement initiale des noeuds

Le résultat de cette fonction est présenté dans la figure ci-dessous

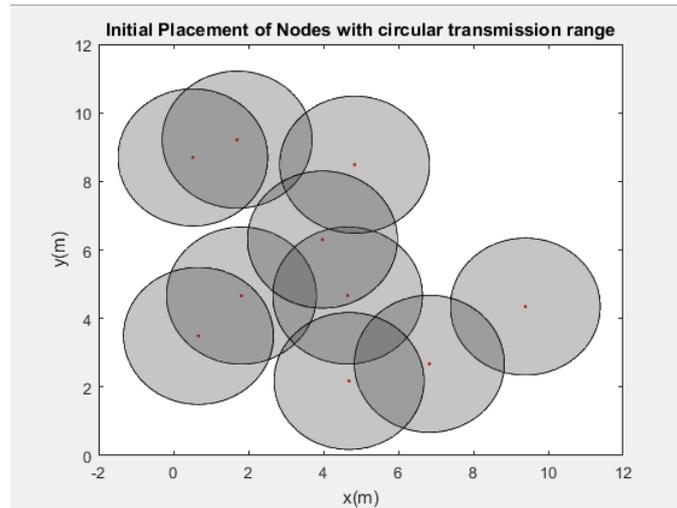


FIGURE 4.3 – Déploiement aléatoire de 10 nœuds (OEC)

4.6.2 Tracer le triangle de Delaunay et la détection de trous

La figure suivante présente la détection des trous d'un déploiement aléatoire de 10 nœuds, les cercles avec la couleur vert représente les différents trous détectés en utilisant triangle de Delaunay.

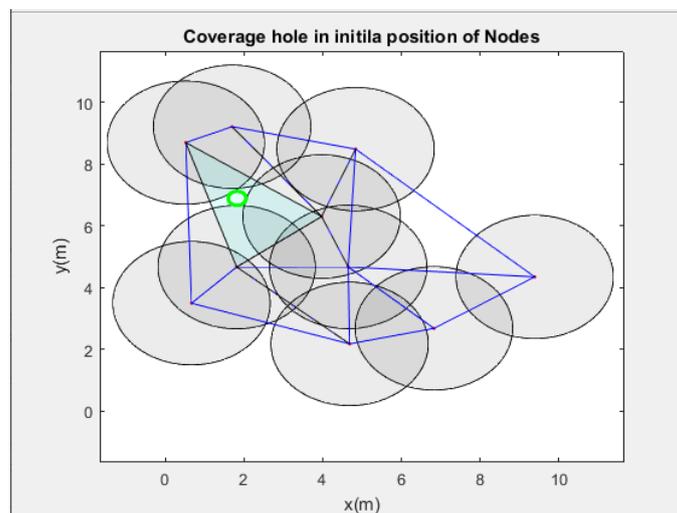


FIGURE 4.4 – Détection des trous par delaunay (OEC)

Après avoir identifié les zones non couvertes, notre programme commence le processus itératif pour placer les nœuds correctement, comme illustré dans la figure 4.6. Et la figure 4.5 représente le processus itératif ou l'amélioration à l'aide l'algorithme d'optimisation de l'essaim de particules.

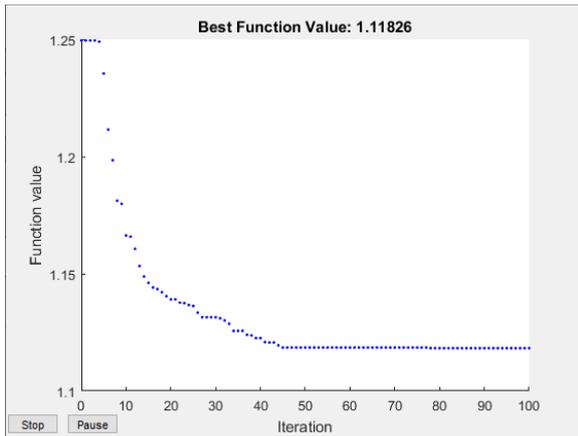


FIGURE 4.5 – Optimisation avec OEP

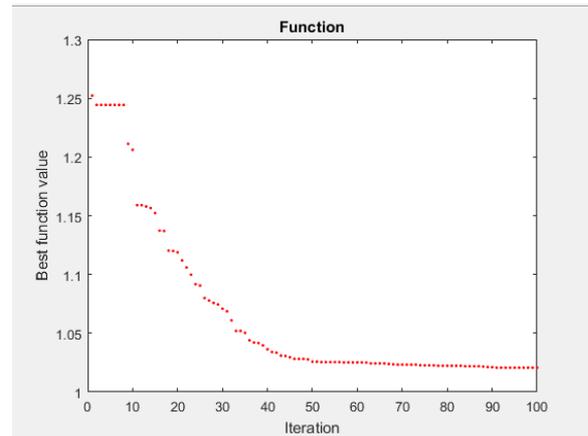


FIGURE 4.6 – Optimisation avec OEC

4.6.3 Emplacement optimale

Notre programme optimise la position des nœuds pour couvrir les trous selon la fonction suivante

```

65  %% LSO optimize position of rest wsn nodes to cover the hole
66  nvars = 2*(N);
67  fun=@(x) objf(x,Trange,area);
68  lb=zeros(nvars,1);
69  ub=area(1).*ones(nvars,1);
70  [x] = locust(fun,nvars,N);
71  finalPos = reshape(x,[numel(x)/2,2]);
72  % plot the final tuned Node' pos
73  figure
74  plot(finalPos(:,1),finalPos(:,2),'o','color','r');
75  hold on
76  for ii=1:N % plot the circular transmission range
77      [finalcircle.x(ii,:),finalcircle.y(ii,:)] = circle(finalPos(ii,1),finalPos(ii,2),Trange);
78      fill(finalcircle.x(ii,:),finalcircle.y(ii,:),[0.25,0.25,0.25]);
79      alpha 0.3
80      hold on
81  end
82  axis on
83  xlabel('x(m)')
84  ylabel('y(m)')
85  title('Optimized location of Nodes with circular transmission range')

```

FIGURE 4.7 – fonction d'optimisation

La figure 4.9, représente les résultats de notre algorithme appliqué à 10 nœuds sans fil répartis de manière aléatoire sur une surface de 10x10. Les résultats ont été satisfaisants, car la zone d'intérêt a été presque entièrement couverte, avec un taux de couverture de 97,39 %, en un temps total de 286,86 seconde.

Quant au figure 4.8, il représente les résultats de l'optimisation de la couverture de 10 nœuds répartis de manière aléatoire sur une surface de 10x10. Dans ce cas, la couverture a atteint un taux de 89 % en un temps total de 376,41 seconde.

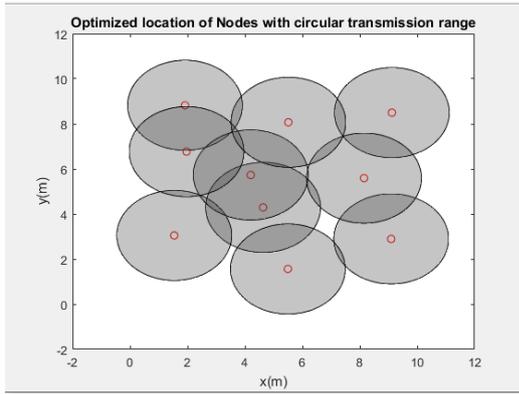


FIGURE 4.8 – Résultat OEP

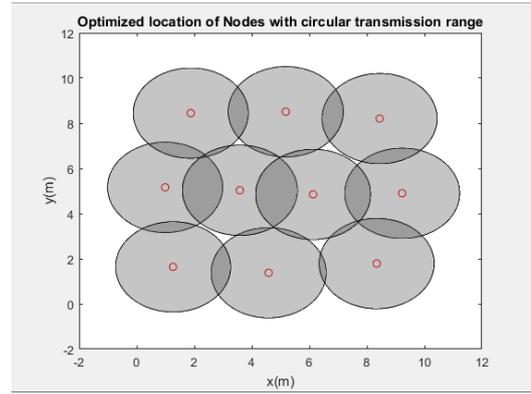


FIGURE 4.9 – Résultat OEC

Selon les résultats obtenus, on peut conclure que l’algorithme OEC est un bon choix pour optimiser la couverture des zones dans les réseaux de capture sans fil. La capacité à atteindre un taux de couverture plus élevé tout en réduisant la durée d’optimisation reflète l’efficacité et l’efficacité élevées de cet algorithme.

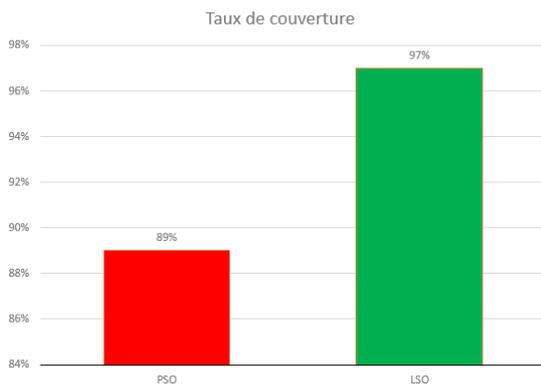


FIGURE 4.10 – Taux de couverture

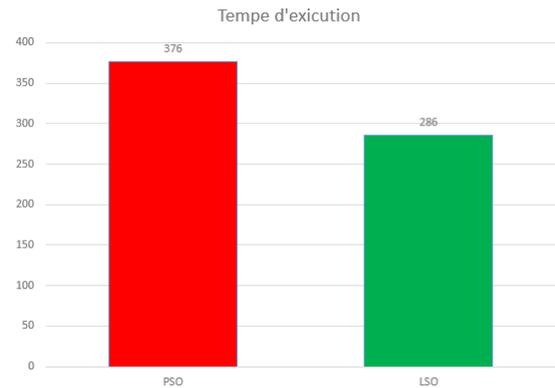


FIGURE 4.11 – Tempe d'exécution

4.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons réalisé des simulations de l’algorithme essaim de Criquet et analysé les résultats obtenus. Ces simulations visaient à améliorer les emplacements de couverture dans les réseaux de capture sans fil. Les résultats obtenus avec l’algorithme essaim de Criquet étaient satisfaisants, avec un taux de couverture élevé. Nous avons comparé les performances de l’algorithme OEC avec celles de l’algorithme OEP sur deux aspects principaux : le taux de couverture et la durée d’amélioration.

Nous avons constaté que l’algorithme OEC surpassait l’algorithme OEP en termes d’amélioration des emplacements de nœuds.

Conclusion générale

Les RCSF font partie intégrante de notre quotidien, étant utilisés et appliqués dans divers domaines. Néanmoins, ils représentent encore un domaine de recherche très fertile, avec de nombreux problèmes à résoudre afin d'exploiter au mieux cette technologie. Parmi les problématiques rencontrées dans les RCSF, on peut citer la couverture, la communication, la connectivité, le routage, etc. Dans ce mémoire, notre intérêt se porte sur la couverture dans les RCSF, et plus particulièrement sur la détection et la correction des zones non couvertes.

Nous proposons une simulation basée sur l'algorithme OEC et la triangulation pour détecter tout d'abord les trous de couverture obtenus en déployant aléatoirement les nœuds de capture, et pour améliorer leurs positions afin de couvrir ces zones. Cependant, ce travail ne s'arrête pas là, et peut être poursuivi par d'autres réflexions. En termes de perspectives de recherche, nous envisageons d'étudier le comportement de notre contribution avec d'autres mesures de performance telles que l'énergie, ainsi que de comparer notre approche à celles utilisant des nœuds hétérogènes.

Références

- [1] M. HAMID and R. ROUAM, “Optimisation de déploiement et de localisation de cible dans les réseaux de capteurs sans fil,” Ph.D. dissertation, Université Akli Mohand Oulhadje-Bouira, 2019.
- [2] M. Sofiane and N. Bouabdallah, “La consommation d’énergie dans les réseaux de capteurs sans fil,” *Rapport de recherche, Institut De formation supérieure en informatique et communication IFSIC, Rennes*, vol. 17, 2008.
- [3] K. T. Chahrazad and W. BENHADDOUCHE, “Implémentation et test d’un protocole de prévention de l’attaque clone dans un réseau de capteurs sans fil,” *Master en Informatique, Option : Réseaux et systèmes distribués (RSD)*, 2014.
- [4] Ah B Khy, “<https://word-view.officeapps.live.com/wv/WordViewer/request.pdf>,” <https://fr.scribd.com/doc/253482895/https-word-view-officeapps-live-com-wv-WordViewer-request-pdf#>, Consulté le 20 avril 2023.
- [5] A. Jorio, “Le clustering basé sur la classification spectrale pour l’optimisation d’énergie dans les réseaux de capteurs sans fil homogènes,” 2015.
- [6] A. Ezzati *et al.*, “Etude et développement d’un protocole symétrique pour sécuriser les communications des rcsf,” Ph.D. dissertation, Faculté des Sciences et Technique de Settat, 2015.
- [7] Les Echos, “Weenat assiste les agriculteurs avec ses mini-stations météo,” <https://www.lesechos.fr/pme-regions/innovateurs/weenat-assiste-les-agriculteurs-avec-ses-mini-stations-meteo-1128775>, Consulté le 15 avril 2023.

- [8] B. Massine and I. Dalile, “Etude et évaluation des performances des algorithmes de couverture minimale dans un réseau de capteurs sans fil,” 2012.
- [9] Baeldung. (Date de publication) Grey wolf optimization. <https://www.baeldung.com/cs/grey-wolf-optimization>. Consulté le 20 avril 2023. [Online]. Available : <https://www.baeldung.com/cs/grey-wolf-optimization>
- [10] Techno-Science, “Triangulation de Delaunay,” <https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Triangulation-de-Delaunay.html>, Consulté le 2 juin 2023.
- [11] I. Benmessahel, K. Xie, M. Chellal, and T. Semong, “A new evolutionary neural networks based on intrusion detection systems using locust swarm optimization,” *Evolutionary Intelligence*, vol. 12, pp. 131–146, 2019.
- [12] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, “Wireless sensor networks : a survey,” *Computer networks*, vol. 38, no. 4, pp. 393–422, 2002.
- [13] T. C. Yasmine and R. F. Mélissa, “Déploiement d’un réseau de capteurs sans fil en technologie zigbee,” Ph.D. dissertation, Université Mouloud Mammeri, 2015.
- [14] M. Ilyas and I. Mahgoub, *Handbook of sensor networks : compact wireless and wired sensing systems*. CRC press, 2004.
- [15] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, “A survey on sensor networks,” *IEEE Communications magazine*, vol. 40, no. 8, pp. 102–114, 2002.
- [16] Clicours, “Les catégories de réseaux sans fils : la technologie WiFi,” <https://www.clicours.com/les-categorie-de-reseaux-sans-fils-la-technologie-wifi/>, Consulté le 20 avril 2023.
- [17] “Un protocole de session dans les réseaux de capteurs sans fils,” Ph.D. dissertation.
- [18] Y. Challal, “Réseaux de capteurs sans fils,” *Cours, Systèmes Intelligents pour le Transport, Université de Technologie de Compiègne, France*, vol. 17, 2008.
- [19] Electronics Hub, “Wireless Sensor Networks (WSN),” <https://www.electronicshub.org/wireless-sensor-networks-wsn/>, Consulté le 22 avril 2023.
- [20] S. Maarouf and S. Ouadah, “Implémentation et évaluation des schémas de routage sur une plateforme réelle de réseaux de capteurs sans fil.” Ph.D. dissertation, 2014.

- [21] P. Le Nguyen, K. Nguyen, H. Vu, and Y. Ji, “Telpac : A time and energy efficient protocol for locating and patching coverage holes in wsns,” *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 147, p. 102439, 2019.
- [22] J. BEAUDAUX, “Partitionnement logique dans les réseaux de capteurs sans fil,” *Mémoire de Master, Université de Strasbourg, Laboratoire des Sciences de l’Image de l’Informatique et de la Télédétection*, 2010.
- [23] M. Kerkar *et al.*, “Le traitement du problème de la couverture dans les réseaux de capteurs sans fil,” Ph.D. dissertation, Université de Béjaia, 2008.
- [24] S. Meguerdichian, F. Koushanfar, M. Potkonjak, and M. B. Srivastava, “Coverage problems in wireless ad-hoc sensor networks,” in *Proceedings IEEE INFOCOM 2001. Conference on computer communications. Twentieth annual joint conference of the IEEE computer and communications society (Cat. No. 01CH37213)*, vol. 3. IEEE, 2001, pp. 1380–1387.
- [25] S. Mnasri, N. Nasri, and T. Val, “Contribution au déploiement optimisé des réseaux de capteurs sans fil,” 2014.
- [26] H. Rezaei, O. Bozorg-Haddad, and X. Chu, “Grey wolf optimization (gwo) algorithm,” *Advanced optimization by nature-inspired algorithms*, pp. 81–91, 2018.
- [27] C. Vimalarani, R. Subramanian, and S. Sivanandam, “An enhanced pso-based clustering energy optimization algorithm for wireless sensor network,” *The Scientific World Journal*, vol. 2016, 2016.
- [28] S. K. Gupta, P. Kuila, and P. K. Jana, “Genetic algorithm approach for k-coverage and m-connected node placement in target based wireless sensor networks,” *Computers & Electrical Engineering*, vol. 56, pp. 544–556, 2016.
- [29] ichi.pro, “Triangulation de Delaunay,” <https://ichi.pro/fr/triangulation-de-delaunay-37978362731949>, Consulté le 22 avril 2023.
- [30] O. Camarena, E. Cuevas, M. Pérez-Cisneros, F. Fausto, A. González, and A. Valdivia, “Ls-ii : an improved locust search algorithm for solving optimization problems,” *Mathematical problems in engineering*, vol. 2018, pp. 1–15, 2018.

- [31] Z. Fan and W. Zhao, "Network coverage optimization strategy in wireless sensor networks based on particle swarm optimization," 2011.
- [32] Lemagit, "Semulation," <https://whatis.techtarget.com/fr/definition/MATLAB>, Consulté le 28 avril 2023.