



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

UNIVERSITE IBN KHALDOUN - TIARET

MEMOIRE

Présenté à:

FACULTÉ MATHÉMATIQUES ET INFORMATIQUE
DÉPARTEMENT D'INFORMATIQUE

Pour l'obtention du diplôme de:

MASTER

Spécialité : Réseaux et Télécommunications

Par :

Djahida TAIBI & Aroua AMMAR

Sur le thème

Étude comparative de deux types de protocoles de couverture dans les réseaux de capteur sans fil

Soutenu publiquement le 11/ 07 / 2023 à Tiaret devant le jury composé de :

Mr BENGHENI Abdelmalek	Grade MCB Université Ibn Khaldoun	Président
Mr BOUALEM Adda	Grade MCA Université Ibn Khaldoun	Encadreur
Mr BEKKAR Khaled	Grade MAA Université Ibn Khaldoun	Examinateur

2022 -2023

REMERCIEMENTS

- ♣ Nous tenons à remercier Dieu le tout puissant, qui nous a donné la volonté, la santé et la patience tout au long de nos études pour atteindre ce stade.

- ♣ Nous remercions très vivement notre encadreur Mr: Adda BOUALEM pour son aide, ses conseils, et surtout pour sa patience.

- ♣ Nos remerciements sont aussi exprimés aux membres du Jury, qui feront l'honneur d'évaluer et de juger notre modeste travail.

- ♣ Nous remercions aussi tous ceux qui nous ont aidé de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

DÉDICACES

Je dédie ce modeste travail :

- ♣ A mes chers parents pour leur patience, leur soutien, et leurs sacrifices que dieu les protège.

- ♣ à toute ma famille qui a toujours été là pour me soutenir et m'aider à surmonter les difficultés.

- ♣ A ma chère sœur : SIHEM. .

- ♣ A mes chers frères : MOHAMED et AYMEN. .

- ♣ A mon binôme AROUA, qui a contribué à la réalisation de ce modeste travail

- ♣ A mes chères amies.

- ♣ Je le dédie à tout ce qui m'a donné leur moindre coup de pousser pour le réaliser.

DÉDICACES

Je dédie ce mémoire

- ♣ A ma chère mère, A mon cher père, Qui n'ont jamais cessé, de formuler des prières à mon égard, de me soutenir et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs.

- ♣ A mes frères , Ibrahim, Oussama , Anes, Mohamed. .

- ♣ A mes belles soeurs , Kadidja, Asmaa.

- ♣ A ma chère binome , Taibi Djahida pour sa entente et sa sympathie.

- ♣ A mes chères amies pour leur aides et support dans les moments difficiles .

- ♣ A toute ma famille.

Résumé

Dans ce mémoire de fin d'études, nous avons met l'accent sur le problème de la couverture dans les réseaux de capteurs sans fil (RCSF), et présenter un état de l'art, un peu détaillé sur les solutions proposées dans la littérature, se focaliser sur la comparaison de deux stratégies de couverture dans les RCSF en termes de la stratégie utilisée, environnement de déploiement (déterministe ou incertain), la garantie de la connectivité. Cette comparaison est basée sur plusieurs scénarios de simulation par Matlab. Nous avons terminé par une conclusion résumant ce mémoire .

Mots-clés : Réseaux de capteurs sans fil, Couverture, types de couverture, Connectivité.

Abstract

In this work, we focus on the problem of coverage in wireless of coverage in wireless sensor networks (WSNs), and present a state of the art, somewhat state of the art, a little detailed on the solutions proposed in the literature, focus on the focus on the comparison of two coverage strategies in WSNs in terms of in terms of; the strategy used, deployment environment (deterministic or uncertain), connectivity guarantee, energy efficiency. This comparison is based on the simulation step by Matlab. We have finished this thesis with a conclusion summarizing our work.

Keywords: Wireless Sensor Networks, Coverage, Connectivity.

المخلص

في هذه لمذكرة ، ركزنا على مشكلة التغطية في شبكات الاستشعار اللاسلكية كما قدمنا حالة من المراجعات المفصلة عن الحلول المقترحة في الأدبيات المختصة في مجال شبكات الاستشعار ، كما قمنا بالتركيز على مقارنة نمونذجين باستعمال المحاكاة بواسطة ماطلاب قصد إيجاد نقاط ضعف و نقاط قوة كل من النموذجين من أجل إقتراح نموذج مهجن قد أنهينا هذه المذكرة بخاتمة تلخص محتوى عملنا.

الكلمات المفتاحية : شبكات الاستشعار اللاسلكية ، التغطية ، الاتصال بين عقد

الاستشعار

Liste de Figures

1.1	Classification des réseaux de capteurs sans fil [1].	6
1.2	Des exemples de capteurs [2].	8
1.3	Architecture d'un nœud de capteur [2].	8
1.4	Le rayon de communication et Le rayon de détection d'un nœud de capteur [3].	9
1.5	Architecture d'un réseau de capteurs sans fil [1].	10
1.6	Collecte des données à la demande [1].	10
1.7	Collecte des données suite à un événement [1].	11
2.1	Type de couverture dans RCSF [4].	17
2.2	Couverture des cibles: un réseau avec 6 nœuds de capteurs et 5 cibles [5].	17
2.3	Couverture d'une zone [6].	18
2.4	(a)couverture de barrière faible (b) couverture de barrière forte (c) couverture de barrière hybride (d) Couverture de barrière dans les réseaux de capteurs directionnels [6]	19
2.5	Diagramme de Voronoï [7]	21
2.6	Triangulation de Delaunay [7].	22
2.7	Domaines impliqués dans la solution de couverture [8].	23
2.8	Nos stratégies proposés selon notre classification pour traiter le problème de couverture [9].	25
3.1	L'organigramme du Protocole à base de Diagramme de Voronoï.	28
3.2	L'organigramme de triangulation de Delaunay[1].	33
4.1	Présentation du Simulateur MATLAB.	40
4.2	Unité d'interface Graphique (GUI) du MATLAB.	41
4.3	Menu Principale de la simulation.	41
4.4	fonction pour placement initiale des nœuds.	42
4.5	Déploiement Initiale (placement initiale des nœuds).	42
4.6	Tracer le Diagramme de Delaunay	43
4.7	Simulation du protocole à base de Diagramme de Delaunay (étape de couverture)	44
4.8	Taux de couverture en fonction de nombre d'itérations)	45
4.9	Déférentes scénarios de Couverture de AoI par l'implémentation de la stratégie de couverture à base de Diagramme de Voronoï	46
4.10	Taux de Couverture de la zone d'intérêt par l'implémentation de la stratégie de couverture à base de Diagramme de Voronoï	46
4.11	Taux de couverture moyenne de la stratégie à base de Diagramme de Delaunay	47
4.12	la comparaison globale de taux de couverture en fonction de nombre d'itérations.	48

Liste de Tables

2.1	Une comparaison entre différents modèles de couverture de cible déterministes/incertains proposés dans la littérature [5]. .	18
2.2	Étude comparative entre les différentes recherches sur la couverture de barrière en fonction du type de barrière K et de la stratégie objective [10].	19
2.3	Une Comparaison entres quelques stratégies de couverture à base déploiement [5]	22
2.4	Une comparaison entre différents modèles déterministes/incertains proposés dans la littérature [11].	23
4.1	Comparaison entre un Protocole à base de Diagramme de Delaunay et un protocole à base de Diagramme de Voronoï . .	48

Sommaire

Introduction générale	2
1 Généralités sur les réseaux de capteurs sans fil	5
1.1 Introduction	5
1.2 Réseau sans fil	5
1.2.1 Définition	5
1.2.2 Les catégories des réseaux sans fils :	5
1.3 Définition d'un capteur	7
1.4 L'architecture d'un nœud de capteur :	8
1.5 Caractéristiques principales d'un capteur :	9
1.6 Réseaux de capteurs sans fil (RCSF)	10
1.6.1 Définition :	10
1.6.2 Les contraintes liées aux réseaux de capteurs:	11
1.6.3 Mécanisme utilisé dans les RCSF :	12
1.6.4 Classification des RCFs :	12
2 État de L'art sur La couverture de zone et la connectivité	16
2.1 La couverture	16
2.1.1 Définition de la couverture	16
2.1.2 Types de couverture	17
2.2 Définition de la connectivité :	19
2.3 Types de connectivité dans les RCSF	20
2.4 Relation entre la couverture et la connectivité	20
2.5 Classification des solutions de la couverture	20
2.5.1 Solutions basées sur des approches protocolaires :	20
2.5.2 Solutions basées sur des méthodes géométriques :	21
2.5.3 Classification par stratégies de couverture :	22
2.5.4 Classification par algorithme de couverture :	23
3 Conception et Réalisation	28
3.1 Principe générale de fonctionnement d'un protocole à base du diagramme de Voronoï	28
3.1.1 Motivation et Objectif	32
3.1.2 Fonctionnement	32
3.2 Principe générale de fonctionnement d'un protocole de couverture à base de triangulation de Delaunay	33
3.2.1 Motivation et Objectif	37
3.2.2 Fonctionnement	37
3.3 Conclusion	37
4 Simulation et Comparaison	39
4.1 Choix de MATLAB	40
4.2 Simulation et analyse de résultats	41

4.2.1	Protocole 1: La stratégie de couverture à base de diagramme de Delaunay	42
4.2.2	Analyse des résultats	44
4.2.3	Protocole 2: Stratégie de Couverture à base de diagramme de Voronoï	45
4.2.4	Analyse de résultats	47
	Conclusions et Perspectives	51

Liste des Abréviations

AD HOC	Advanced Developers Hands-On Conference
AGP	Art Gallery Problem
AoI	Area of Interest (Zone d'intérêt)
CCP	Configurable Coverage Protocol
DCovPDS	Distributed Coverage Preserving based on Dominating Set
CCE-FP	Fibonacci tiles strategy for optimal coverage in IoT network
C-DV-CDS	Clustering, Voronoi Diagram, Connected Dominating Sets
EAAC	Evidential Approach for Area Coverage
ESSPIBC-TTT	Energetic Sleep Scheduling strategy for k Barriers Coverage in WSN
EE-AC-DR	Dijkstra front-back algorithm for Data Routing-scheduling via Efficient- Energy Area Coverage
FDCDAC	A new fuzzy/evidential approach to address the area coverage problem in mobile wireless sensor networks
FPA-AC	Fuzzy/Possibility Approach for Area Coverage in wireless sensor network
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
MANET	Mobile Ad hoc NETWORK
NS-2	Network Simulateur 2
OGDC	Optimal Geographical Density Control
OPNET	OptimumNETWORK performance
PEAS	Probing Environment and Adaptive Sleeping
PPOCEC	Partial Paving strategy
RCSF	Réseau de Capteurs Sans Fil
SCR-CADS	Surface Coverage Rely Connected Area Dominating Set
SDDP	Semi Deterministic Deployment Protocol
SRDP	Semi Random Deployment Protocol
TA	spider web strategy
WLAN	Wireless Local Area Network
WMAN	Wireless Metropolitan Area Network
WPAN	Wireless Personal Area Network
WSN	Wireless Sensor Network
WWAN	Wireless Wide Area Network

Introduction générale

Introduction générale

Introduction

Au cours des dernières décennies, et en raison du grand développement scientifique et technologique, les réseaux de capteurs sans fil (RCSF) ont attiré l'attention du monde entier, ce qui a incité les gens à les utiliser dans diverses applications qui aident au développement de la vie humaine . . . , comme le réseau de transports publics, la gestion routière, la gestion des déchets, la gestion des infrastructures d'eau et d'énergie, les communications et l'éclairage, qui représentent 19 de la consommation mondiale d'électricité, et plus de 10 milliards d'euros sont dépensés chaque année pour faire fonctionner les poteaux d'éclairage, et le montant n'est pas négligeable.

Cela nous a amené à envisager d'utiliser des réseaux de capteurs sans fil pour assurer un éclairage complet avec un nombre raisonnable de lampadaires, réduisant ainsi leur coût. Le problème principal dans les réseaux de capteurs est le problème de couverture, qui reflète la qualité de la surveillance ou du suivi des réseaux de capteurs par les capteurs. Les nœuds doivent donc être idéalement positionnés pour obtenir une bonne couverture de la zone sans avoir à augmenter le nombre de nœuds.

Plusieurs solutions de couverture existent dans la littérature, elles sont basées sur différentes méthodes, notamment les solutions basées sur les approches protocolaires qui utilisent les techniques d'ordonnement d'activité, les solutions basées sur les méthodes géométriques qui utilisent des calculs et notions géométrique, et les solutions basées sur des méthodes analytiques qui utilisent des concepts de la recherche opérationnelle.

Dans ce mémoire, une classification des types de la couverture de zone dans les réseaux de capteurs est proposée et une étude de l'état de l'art est effectuée. Le problème de la couverture dans une zone d'intérêt avec un déploiement aléatoire est rigoureusement analysé par une étude comparative et le nombre minimum de nœuds de capteurs et leur emplacement pour une couverture complète sont déterminés. Des simulations numériques montrent que le réseau de capteurs optimisé a une meilleure efficacité énergétique que le déploiement aléatoire standard des nœuds de capteurs dans des stratégies à base de diagrammes de Voronoï et de diagramme de Delaunay. Il est démontré que le RCSF optimisé continue d'offrir une meilleure couverture de la région même lorsque les nœuds de capteurs commencent à épuiser au fil du temps. Ce mémoire est divisé en 4 chapitres :

- **Chapitre: 1** est consacré aux généralités sur les réseaux de capteur sans fil.
- **Chapitre: 2** présente Un État de L'art sur La couverture de zone et la connectivité.

- **Chapitre: 3** est dédié à la description détaillée de la solution proposée pour maintenir la couverture dans les réseaux de capteurs sans fil.
- **Le dernier chapitre (Chapitre 4):** Pour mettre en œuvre la proposition nous avons utilisé le langage de simulation MATLAB, Des résultats de simulation, comparant notre proposition avec d'autres solutions existantes. Enfin nous terminons ce mémoire avec une conclusion générale en concluant le travail réalisé dans le cadre de notre projet fin d'étude.

Chapitre 1

Généralités sur les réseaux de capteur sans fil

Chapitre 1

Généralités sur les réseaux de capteurs sans fil

1.1 Introduction

Depuis quelques décennies, il est devenu crucial d'observer et de contrôler des phénomènes physiques tels que la température, la luminosité et le niveau de pollution de l'air, en raison de leurs nombreuses applications industrielles et scientifiques. Les nœuds utilisés à cet effet doivent être autonomes, de petite taille et peuvent être déployés de manière dense et aléatoire dans la zone surveillée. Grâce aux avancées technologiques telles que la miniaturisation des composants électroniques, la réduction des coûts de fabrication, l'amélioration des performances et des capacités de stockage d'énergie et de calcul, ainsi que les progrès récents dans les technologies sans fil, de nouveaux produits exploitant des réseaux de capteurs sans fil sont désormais utilisés pour collecter ces données environnementales. Dans ce chapitre, notre objectif est de fournir une vue d'ensemble des réseaux sans fil, en commençant par la description d'un nœud de capteur et de ses composants, puis en définissant les réseaux de capteurs sans fil, leurs caractéristiques, leur architecture de communication, ainsi que les problèmes rencontrés dans ces réseaux.

1.2 Réseau sans fil

1.2.1 Définition

Un réseau sans fil est un système de communication qui relie différents dispositifs ou systèmes en utilisant des ondes radio. Il permet l'interconnexion des nœuds et peut être associé à un réseau de télécommunication. La norme la plus couramment utilisée pour les réseaux sans fil est l'IEEE 802.11. Cependant, les ondes radio ont une portée géographique limitée en raison de la faible puissance d'émission des équipements actuels. C'est pourquoi les réseaux sans fil se sont principalement développés en tant que réseaux internes, utilisés à l'intérieur d'un bâtiment, que ce soit pour des besoins d'entreprise ou domestiques[12].

1.2.2 Les catégories des réseaux sans fils :

Les réseaux sans fil peuvent avoir une classification selon deux critères. Le premier est la zone de couverture du réseau. Au vu de ce critère il existe quatre catégories : les réseaux personnels, les réseaux locaux, le réseau métropolitain

et les réseaux étendus. Le second critère est l'infrastructure ainsi que le modèle adopté. Par rapport à ce critère on peut diviser les réseaux sans fils en : réseaux avec infrastructures et réseaux sans infrastructure[13], comme on le voit dans l'illustration de la figure suivante (FIGURE 1.1):

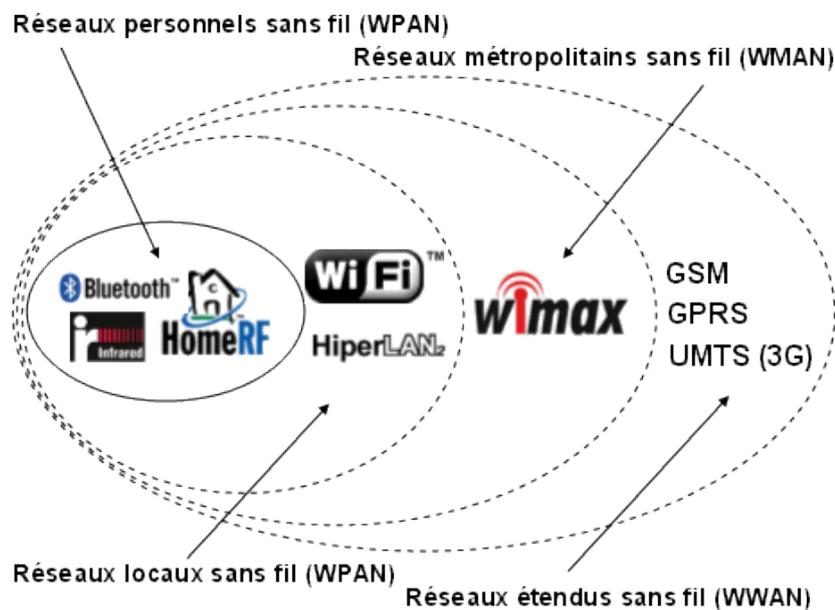


FIGURE 1.1: Classification des réseaux de capteurs sans fil [1].

- Selon la zone de couverture

- Réseaux personnels sans fil (WPAN) :

Les réseaux personnels sans fil, également connus sous le nom de Wireless Personal Area Network (WPAN), sont des réseaux sans fil à très courte portée, généralement d'environ une dizaine de mètres. Ils sont principalement utilisés pour permettre la communication entre différents appareils portés par une personne. Ils sont également utilisés pour connecter des équipements informatiques sans nécessiter de câbles. Plusieurs technologies sont disponibles pour mettre en place de tels réseaux, telles que Bluetooth, HomeRF, ZigBee, et les liaisons infrarouges...

- Réseaux locaux sans fil (WLAN) :

Depuis le développement des normes qui offrent un haut débit, les réseaux locaux sans fil ou Wireless Local Area Network (WLAN) sont généralement utilisés à l'intérieur d'une entreprise, d'une université, mais également chez les particuliers.

- Les réseaux métropolitains sans fil (WMAN) :

Un réseau WMAN (Wireless Metropolitan Area Network) est un réseau sans fil qui s'étend sur une ville, offrant une connectivité à tous les résidents. Sa portée peut dépasser les 50 km. Cette technologie est principalement destinée aux opérateurs de télécommunication. Elle permet de fournir une connectivité étendue à grande échelle, couvrant une zone métropolitaine, afin de répondre aux besoins de communication à large bande des utilisateurs dans les zones urbaines. Les réseaux WMAN jouent

un rôle essentiel pour assurer la connectivité haut débit pour les services tels que l'accès à Internet, la téléphonie mobile et d'autres applications nécessitant une large bande passante dans les environnements urbains denses.

– **Les réseaux métropolitains sans fil (WWAN) :**

Les réseaux sans fil (WWAN pour Wireless Wide Area Network). Cette catégorie possède assez peu de technologies à l'heure actuelle. Les seules technologies de WWAN disponibles sont des technologies utilisant les satellites géostationnaires ou en orbite basse pour relayer l'information entre plusieurs points du globe.

• **Selon l'infrastructure**

Les environnements mobiles sont constitués de sites mobiles et permettent aux utilisateurs d'accéder à l'information où qu'ils se trouvent géographiquement. Les réseaux mobiles ou sans fil peuvent être divisés en deux catégories : les réseaux avec infrastructure et les réseaux sans infrastructure.

– **Réseaux cellulaires (avec infrastructure) :** Ce type de réseaux se compose des éléments suivants:

- * Les "sites fixes" du réseau filaire.
- * Les "sites mobiles" du réseaux sans fils.

– **Réseaux ad hoc (sans infrastructure):** Un réseau ad hoc, également connu sous le nom de MANET (Mobile Ad hoc Network), est un réseau dont la topologie ne repose sur aucune infrastructure fixe préexistante ni sur une administration centralisée.

1.3 Définition d'un capteur

Les capteurs sont des dispositifs électroniques de taille extrêmement réduite avec des ressources très limitées, autonomes, capable de mesurer une valeur physique environnementale (température, lumière, pression, etc.) et de la communiquer à un centre de contrôle via une station de base[14].

FIGURE 1.2 cite quelques exemples de capteurs existents dans le monde réel.



FIGURE 1.2: Des exemples de capteurs [2].

1.4 L'architecture d'un nœud de capteur :

Un capteur est constitué de quatre éléments essentiels : une unité d'acquisition, de traitement, de communication et une unité de contrôle d'énergie, généralement alimentée par une batterie [5].

FIGURE 1.3 présente une représentation générale de l'architecture typique d'un nœud capteur, montrant les différents composants d'un capteur.

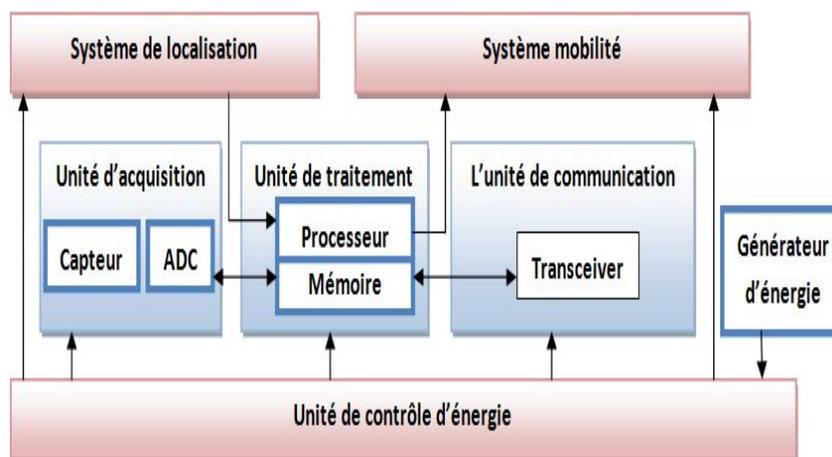


FIGURE 1.3: Architecture d'un nœud de capteur [2].

- **Unité d'acquisition** : comprend un capteur chargé de collecter des mesures numériques des paramètres environnementaux. Ces mesures sont ensuite converties en signaux numériques à l'aide d'un convertisseur analogique/numérique. Ces signaux numériques sont transmis à l'unité de traitement pour être analysés et traités.

- **Unité de traitement** : L'unité principale du capteur est généralement constituée d'un processeur associé à une mémoire vive. Son rôle est de contrôler le bon fonctionnement des autres unités. Dans certains capteurs, elle peut intégrer un système d'exploitation pour assurer le fonctionnement du capteur. De plus, elle peut être couplée à une unité de stockage qui permettra, par exemple, d'enregistrer les informations transmises par l'unité d'acquisition de données.
- **Unité de communication** : est responsable de toutes les communications via un support de communication radio qui relie le nœud au réseau.
- **Unité de contrôle d'énergie** : Un capteur est équipé d'une batterie pour alimenter tous ses composants. Cependant, en raison de sa petite taille, la batterie dont il dispose est limitée et généralement non remplaçable. Ainsi, l'énergie est la ressource la plus précieuse pour un capteur, car elle influence directement sa durée de vie. Cela en fait la contrainte principale à prendre en compte lors de la conception et de l'utilisation d'un capteur.

1.5 Caractéristiques principales d'un capteur :

Deux entités sont fondamentales dans le fonctionnement d'un capteur (FIGURE 1.4):

- **L'unité d'acquisition**: qui est le cœur physique permettant la prise de mesure.
- **L'unité de communication**: qui réalise la transmission de celle-ci vers d'autres dispositifs électroniques[3].

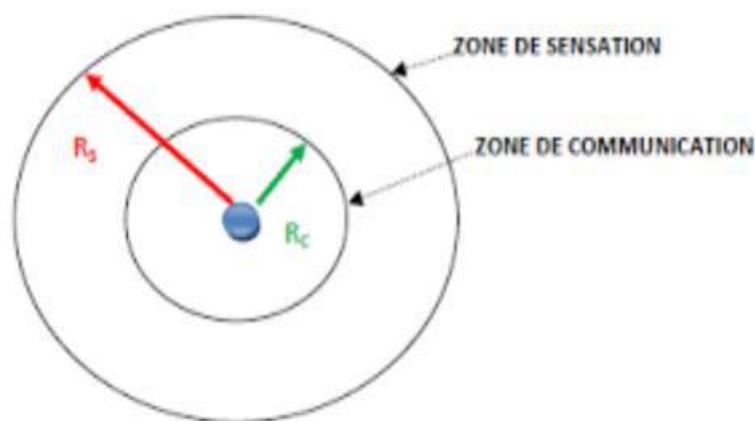


FIGURE 1.4: Le rayon de communication et Le rayon de détection d'un nœud de capteur [3].

1.6 Réseaux de capteurs sans fil (RCSF)

1.6.1 Définition :

Un réseau de capteurs sans fil (RCSF) ou Wireless Sensor Network (WSN) est constitué d'un ensemble de dispositifs très petits, nommés nœuds de capteurs dispersés dans une zone géographique appelée champs de captage, chacun de ces nœuds à la capacité de collecter les données et les router vers la station de base (dit "sink" en anglais ou puits). Ce dernier récupère les informations remontées par les différents capteurs et les transmet au centre de traitement via internet ou par satellite [15].

La FIGURE 1.5 présente l'architecture d'un réseau de capteurs sans fil.

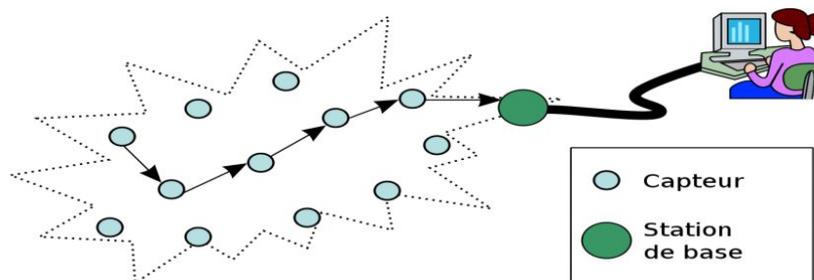


FIGURE 1.5: Architecture d'un réseau de capteurs sans fil [1].

La collecte des données peut se faire de deux façons :

- **A la demande** : si à un moment T on veut savoir l'état de la zone de couverture, le puits émet un broadcast à toute la zone pour que les capteurs envoient leur dernier relevé vers le puits (FIGURE 1.6).

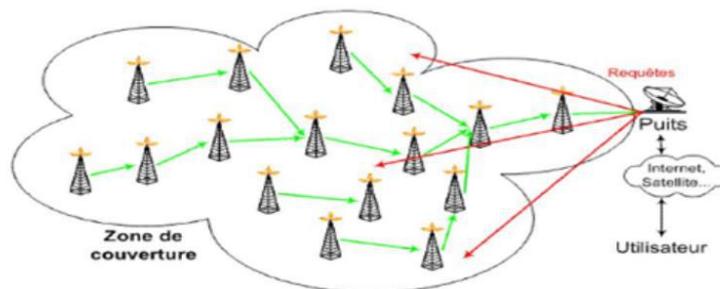


FIGURE 1.6: Collecte des données à la demande [1].

- **Suite à un événement** : si un événement se produit dans un point de la zone de couverture (changement brusque de la température), les capteurs situés à proximité remontent les données relevées au puits (FIGURE 1.7).

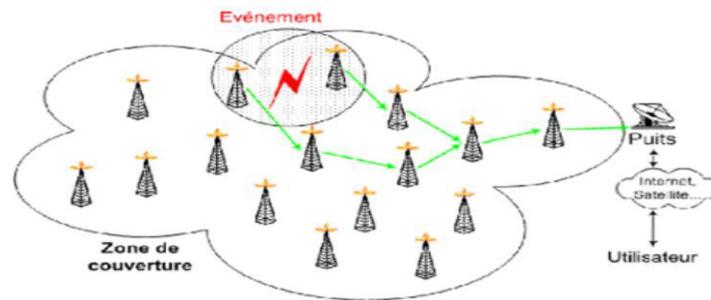


FIGURE 1.7: Collecte des données suite à un événement [1].

1.6.2 Les contraintes liées aux réseaux de capteurs:

- **La durée de vie limitée :** En raison de la contrainte énergétique, les nœuds capteurs opèrent généralement de manière autonome dans des zones géographiques éloignées, sans possibilité pratique de recharge ou de remplacement de leurs batteries[13].
- **Ressources limitées :** En raison de leur petite taille, les nœuds capteurs sont généralement limités en termes de ressources disponibles. Cette contrainte de taille restreint la capacité de traitement et de stockage des nœuds capteurs.
- **Topologie dynamique :** En raison des environnements hostiles dans lesquels les nœuds de capteurs peuvent être déployés, la topologie des réseaux de capteurs subit fréquemment et rapidement des changements. Ces changements peuvent être dus à des défaillances probables des nœuds de capteurs ou à la mobilité des nœuds capteurs et des nœuds destinataires de l'information capturée.
- **Agrégation des données :** Dans les réseaux de capteurs, les données produites par les nœuds de capteurs sont très reliées, ce qui implique l'existence de redondances de données. Une approche répandue consiste agréger les données au niveau des nœuds intermédiaires afin de réduire la consommation d'énergie lors de la transmission de ces données[13].
- **La scalabilité :** Les réseaux de capteurs sont caractérisés par un déploiement massif de capteurs, pouvant aller jusqu'à des milliers, voire des millions de capteurs. Cependant, un défi majeur pour les RCSFs est de maintenir des performances optimales malgré ce nombre élevé de capteurs
- **Bande passante limitée :** En raison de leur capacité limitée, les nœuds de capteurs ne sont pas en mesure de supporter des débits élevés.
- **Sécurité physique limitée:** Cela est dû aux contraintes et limitations physiques qui restreignent le contrôle des données transmises, justifiant ainsi les débits réduits supportés par les nœuds de capteurs[13].

1.6.3 Mécanisme utilisé dans les RCSF :

- **La communication multi-sauts** : utilisée pour les transmissions à longue distance, implique l'utilisation de nœuds intermédiaires pour relayer les paquets de données. Cela peut entraîner une réduction de l'énergie requise pour la transmission. En effet, au lieu d'envoyer directement les paquets sur une longue distance, les nœuds intermédiaires peuvent partager la charge en transmettant les paquets de manière séquentielle, ce qui permet d'économiser l'énergie des nœuds individuels et d'étendre la durée de vie du réseau de capteurs[1].
- **Utilisation efficace d'énergie** : L'utilisation efficace de l'énergie est essentielle pour maintenir le bon fonctionnement du réseau sur une longue durée. Cela implique d'optimiser la consommation d'énergie des nœuds afin de garantir la durabilité opérationnelle du réseau[1].
- **Auto-configuration** : L'auto-configuration est un mécanisme utilisé dans divers aspects des Réseaux de Capteurs Sans Fil (RCSF). Il permet au nœud de capteur de s'ajuster en adaptant ses paramètres de service pour prendre en compte les défaillances des autres nœuds, les obstacles et l'ajout de nouveaux nœuds au réseau[1].
- **Collaboration et traitement dans le réseau** : Selon l'application, il est parfois nécessaire qu'un groupe de nœuds de capteurs collaborent pour détecter un événement ou effectuer un traitement plus complet des informations[16].
- **Minimisation de la consommation énergétique** : La considération des approches des offres de traitement dans le réseau comme l'agrégation de données, qui permettent de réduire la quantité de données transmises. Cela améliore ainsi l'efficacité énergétique du réseau[17].
- **Data-centric** : Dans les applications courantes, les nœuds de capteurs sont souvent déployés de manière redondante pour protéger le réseau contre les défaillances de nœuds. Dans une approche "data-centric" (centrée sur les données), l'identité d'un nœud particulier fournissant des données devient non pertinente le plus important, ce sont les réponses générales que le RCSF offre à l'utilisateur[18].

1.6.4 Classification des RCFS :

Les réseaux de capteurs sans fil sont conçus de manière très spécifique à chaque application et sont déployés en fonction de ses exigences. Par conséquent, les caractéristiques d'un réseau de capteurs sans fil seront différentes d'un autre. Indépendamment de l'application, ces réseaux peuvent être classés dans les catégories suivantes :

- **RCSF statique et mobile** : Dans diverses situations, les nœuds capteurs demeurent stationnaires, créant ainsi des réseaux statiques. Néanmoins, il existe des applications spécifiques, en particulier dans le domaine des systèmes biologiques, qui nécessitent des nœuds capteurs en mouvement. Ces réseaux sont connus sous le nom de réseaux mobiles. Un exemple concret d'un réseau mobile est l'utilisation de capteurs pour la surveillance des animaux.

- **RCSF déterministe et non déterministe** : Dans les réseaux de capteurs sans fil (RCSF) déterministes, la position de chaque nœud capteur est calculée et fixée à l'avance. Cependant, cette approche de déploiement pré-planifié n'est réalisable que dans un nombre restreint d'applications. Dans la plupart des cas, il est impossible de déterminer la position des nœuds capteurs en raison de divers facteurs tels qu'un environnement hostile ou des conditions de fonctionnement difficiles. Ces réseaux ne sont donc pas déterministes et nécessitent un système de contrôle complexe pour s'adapter aux contraintes environnementales et optimiser leurs performances.
- **Station de base unique et station de base multiple RCSF** : Dans un réseau de capteurs sans fil (RCSF) à une seule station de base, une unique station de base est utilisée et est placée à proximité de la zone des nœuds capteurs. Tous les nœuds capteurs communiquent avec cette station de base. En revanche, dans un RCSF à plusieurs stations de base, plusieurs stations de base sont utilisées et un nœud capteur peut transmettre ses données vers la station de base la plus proche.
- **Station de base statique et station de base mobile RCSF** : Tout comme les nœuds capteurs, les stations de base peuvent également être classées en deux catégories : statiques ou mobiles. Une station de base statique est positionnée de manière fixe, généralement à proximité de la zone de détection. En revanche, une station de base mobile se déplace à travers la région de détection afin d'équilibrer la charge des nœuds capteurs.
- **RCSF à un et à plusieurs sauts** : Dans un RCSF à connectivité directe, les nœuds capteurs sont directement reliés à la station de base, tandis que dans un RCSF à connectivité indirecte, des nœuds homologues et des têtes de cluster sont utilisés comme relais pour transférer les données, ce qui permet de réduire la consommation d'énergie.
- **RCSF auto-reconfigurable et non auto-configurable** : Dans un RCSF non auto-configurable, les réseaux de capteurs ne peuvent pas s'auto-organiser et dépendent d'une unité de contrôle centrale pour collecter les informations. Cependant, dans la plupart des RCSF, les nœuds capteurs sont autonomes et capables d'organiser et de maintenir leur propre connexion, travaillant en collaboration avec d'autres nœuds capteurs pour accomplir leurs tâches.
- **RCSFs homogène et hétérogène** : Dans un RCSF homogène, tous les nœuds capteurs ont des caractéristiques de consommation d'énergie, de puissance de calcul et de capacité de stockage similaires. En revanche, dans un RCSF hétérogène, certains nœuds capteurs ont des besoins plus élevés en puissance de calcul et en énergie, ce qui conduit à une répartition différenciée des tâches de traitement et de communication [3].

Conclusion

Les progrès connus récemment dans le domaine des technologies sans fil, ont permis l'apparition des nouveaux types de réseaux de capteurs. Les

propriétés de ce type de réseaux en termes de flexibilité, coût réduit, et facilité de déploiement offrent de nombreuses possibilités de développement dans divers domaines.

Dans ce chapitre, nous avons évoqué quelques problèmes des réseaux de capteurs sans fil. Cependant, ce domaine tente à développer de nouvelles solutions aux problèmes dont nous avons discutés, en particulier celle de la couverture.

La couverture est l'un des problèmes majeurs des réseaux de capteurs qui a pour objectif de surveiller une zone ou un ensemble de cibles le plus longtemps possible. Il est considérée comme la clé de la majorité des problèmes de réseaux de capteurs, car la couverture avec un nombre de noeuds de capteurs minimal minimise la consommation d'énergie dans le réseau, ce qui couvre les problèmes (la capacité de surveillance, la capacité de communication, la limitation du source d'énergie du noeud de capteur, . . .) . Le chapitre suivant se focalise sur l'un des défis majeurs des réseaux de capteur qui est la couverture.

Chapitre 2

État de L'art sur: La couverture de zone et la connectivité

Chapitre 2

État de L'art sur La couverture de zone et la connectivité

Introduction

Les capteurs sont conçus pour une durée de fonctionnement allant de plusieurs mois à plusieurs années. Par conséquent, il est crucial d'utiliser efficacement la capacité énergétique des capteurs afin de maximiser la durée de vie du réseau. Il est important de noter qu'une fois qu'un nœud capteur a épuisé son énergie, il devient défaillant, ce qui entraîne une probabilité élevée de perte de connectivité dans le réseau.

Dans ce chapitre, les chercheurs abordent les problématiques liés à la couverture et à la connectivité dans les réseaux de capteurs. Nous présenterons également les principales solutions proposées dans la littérature pour résoudre ces problèmes.

2.1 La couverture

2.1.1 Définition de la couverture

La couverture RCSF est généralement considérée comme une mesure de performance très importante. Il reflète la façon dont une zone donnée est surveillée (contrôlée), c'est-à-dire comment chaque point de la zone surveillée est observé et suivi par tous les nœuds de capteurs. Par conséquent, le concept de couverture dans RCSF peut être considéré comme une mesure de la qualité de service. En fait, certaines applications peuvent nécessiter un haut degré de couverture pour accomplir pleinement leurs tâches. Tels que la surveillance des zones clés, l'agriculture intelligente, etc, Par conséquent, pour ces applications, il est nécessaire de s'assurer que si un événement se produit en tout point de la zone surveillée du capteur, il sera détecté par au moins un capteur donné. Des applications telles que la surveillance des animaux et la mesure de la température intérieure nécessitent une couverture plus faible. D'autres applications, telles que la détection d'intrusion, ajustent souvent dynamiquement la couverture en fonction de la zone de détection en alerte. Par conséquent, les exigences de couverture pour une zone donnée varient selon les exigences de l'application et doivent être prises en compte lors de la conception et du déploiement de certaines applications WSN[19].

2.1.2 Types de couverture

Il existe quelques propositions montrant les types de couverture en fonction de leur classification.

FIGURE 2.1 représente le .

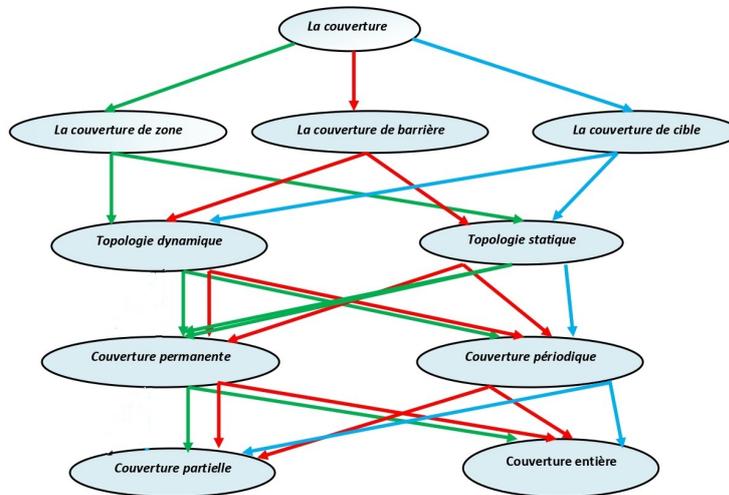


FIGURE 2.1: Type de couverture dans RCSF [4].

- **Couverture de cible** L'objectif principal de ce type de problèmes est de couvrir un ensemble des cibles spécifiques dont la situation géographique est connue[20].

La FIGURE 2.2 représente un exemple de couverture d'un réseau avec 6 nœuds de capteurs et 5 cibles.

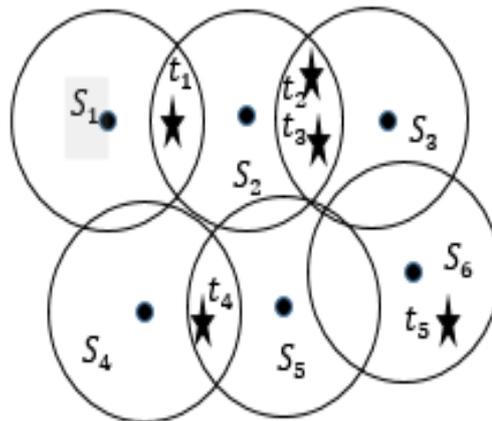


FIGURE 2.2: Couverture des cibles: un réseau avec 6 nœuds de capteurs et 5 cibles [5].

Propriétés du réseau				Déploiement			
Ref	Modèle	Connectivité	Couverture de cible	Durée de vie	Type	Technique	Espace ciblé
[19]	Incertain	k-path	K-couverture	à base des noeuds	Noeuds de capteurs hétérogène approximation linéaire pour le modèle non linéaire, programme non linéaire à variables entières topologie en étoile centrale	(1)	2-D
[21]	déterministe	k-path	k-couverture	à base des noeuds	Algorithme génétique, Calcul du nombre minimum de positions potentielles	(1)	2-D
[22]	déterministe	k-path	k-couverture	a base de réseaux	Modèle mathématique basé sur la programmation linéaire avec des variables entières mixtes.	(2)	2-D
[23]	déterministe	k-path	k-couverture	à base du réseau	-Algorithme aléatoire optimal $(1 - 1/\pi)$ - Algorithme déterministe d'approximation $(1 - 1/\pi)$ - Algorithme d'approximation déterministe avec un ratio d'approximation presque Δ , technique de coloration	(2)	2-D
[24]	déterministe	k-path	k-couverture	à base des noeuds de manière aléatoire	L'approche heuristique génère l'ensemble de couverture.	(1)	2-D
[25]	incertain	k-path	k-couverture	à base des noeuds	Algorithme d'apprentissage adaptatif (ALAA) dans la méthode de planification, apprentissage automatique.	(2)	2-D

TABLE 2.1: Une comparaison entre différents modèles de couverture de cible déterministes/incertains proposés dans la littérature [5].

Les mentions (1) et (2) dans la colonne 7 indiquent respectivement que la population de nœuds supplémentaires (redondants) ou de nœuds mobiles est utilisée dans la littérature proposée.

- **Couverture de zone:**

Le problème de couverture de zone est approfondi dans les RCSE, où l'objectif premier du réseau de capteurs est de couvrir une zone géographique (voire une région)[20].

FIGURE 2.3 montre un exemple de déploiement aléatoire de capteurs pour couvrir une zone carrée.

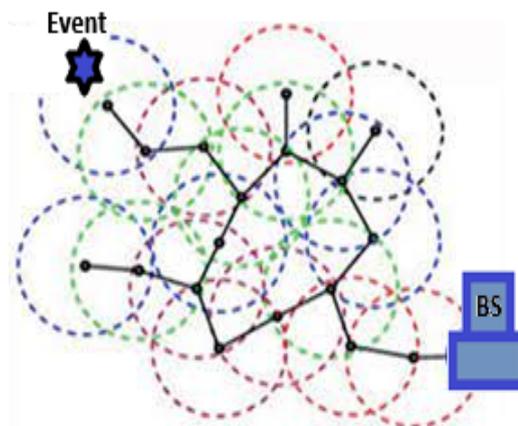


FIGURE 2.3: Couverture d'une zone [6].

- **Couverture de barrière**

L'objectif principal de la couverture de barrière, la détection d'intrusion, si une intrusion a lieu le long de la barrière, les nœuds de capteurs peuvent détecter l'intrusion[20].

FIGURE 2.4 montre un exemple de couverture de barrière.

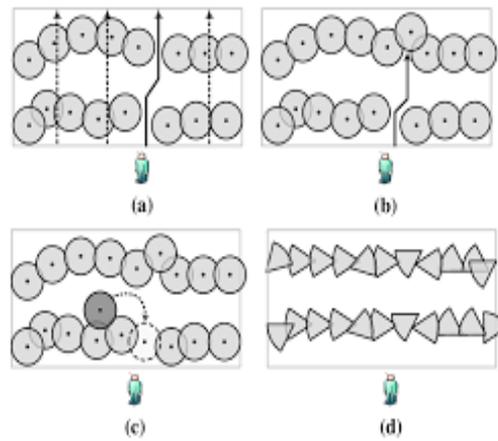


FIGURE 2.4: (a)couverture de barrière faible (b) couverture de barrière forte (c) couverture de barrière hybride (d) Couverture de barrière dans les réseaux de capteurs directionnels [6]

Ref	Principaux attributions de l'article	Type de barrière K	stratégie/ objectifs
[26]	Modèle de détection probabiliste avec angle variable (DPCA).	barrière faible	Modèle de détection
[27]	Modèle d'interférence probabiliste et le modèle Table de vérité pour une couverture de barrière forte (Strong K-Barrier Coverage).	barrière forte	Modèle de détection
[28]	Un schéma efficace pour former une couverture de barrière forte en ajoutant progressivement les nœuds mobiles à la barrière.	barrière forte	mobilité des capteurs
[26]	Le schéma de maximisation de la couverture a été utilisé en utilisant les profils d'exposition des capteurs, utilisés par le nœud central pour calculer le chemin d'exposition minimal.	barrière forte	intensité de couverture
[18]	Cette étude porte sur les réseaux de communication sans fil alimentés par énergie (WPCN), où un point d'accès hybride (H-sink) coordonne les transmissions d'énergie/ informations sans fil vers/depuis un ensemble de nœuds à un seul saut alimentés uniquement par l'énergie RF récoltée.	barrière forte	durée de vie du réseau
[29]	Nous utilisons un schéma d'automates d'apprentissage dans notre approche pour résoudre le problème de maximisation du nombre de barrières et de minimisation de la consommation d'énergie.	barrière forte	durée de vie du réseau
[30]	Cette étude porte sur des capteurs à puissance limitée avec des plages réglables déployés le long d'un domaine linéaire pour former une barrière et détecter les incidents d'intrusion. Les objectifs de l'étude sont les suivants : (a) minimiser la consommation totale d'énergie tout en assurant une couverture complète. (b) optimiser le nombre de capteurs actifs pour améliorer la fiabilité. (c) définir la portée maximale de détection des capteurs actifs afin de garantir l'équité du système.	barrière faible	méthode de déploiement
[31]	Algorithme génétique pour la planification de l'itinéraire d'un WSN	barrière faible	méthode de localisation des nœuds

TABLE 2.2: Étude comparative entre les différentes recherches sur la couverture de barrière en fonction du type de barrière K et de la stratégie objective [10].

2.2 Définition de la connectivité :

La connectivité entre deux nœuds d'un RCSF est définie en fonction de leur capacité à communiquer directement (connectivité à un saut) ou indirectement (connectivité multi-saut). Un RCSF est considéré comme connecté s'il existe au moins une route entre chaque nœud du réseau et la station de base. Ainsi, la connectivité dépend principalement de l'existence de ces routes, ce qui est influencé par les changements de topologie dus à des facteurs tels que les pannes de nœuds ou la mobilité. Ces changements de topologie peuvent entraîner la perte de liaisons de communication, l'isolement des nœuds et la fragmentation du réseau. La connectivité dans les RCSF est un paramètre de performance crucial, tout comme la couverture, surtout pour les applications mentionnées précédemment. Par conséquent, il est essentiel d'étudier et de prendre en compte attentivement les propriétés de connectivité lors de la conception et du déploiement de tels réseaux afin de garantir toutes les fonctionnalités requises par ces applications[32].

2.3 Types de connectivité dans les RCSF

Dans les réseaux de capteurs sans fil (RCSF), il y a deux types de connectivité : la connectivité complète et la connectivité intermittente. La connectivité complète peut être soit simple, avec un seul chemin entre chaque nœud source et la station de base, soit multiple, avec plusieurs chemins distincts entre chaque nœud source et la station de base. La connectivité complète peut être assurée lors du placement initial des nœuds ou obtenue ultérieurement lors d'une phase de redéploiement ou d'auto-configuration des nœuds, en fonction des stratégies de placement et des caractéristiques de l'application. Dans certaines applications des RCSF, il n'est pas nécessaire de maintenir en permanence une connectivité complète du réseau. Pour ces applications, il suffit d'assurer une connectivité intermittente en utilisant, par exemple, une ou plusieurs stations de base mobiles qui se déplacent afin de collecter les mesures des nœuds capteurs déconnectés[2].

2.4 Relation entre la couverture et la connectivité

Dans un cas général, on trouve le rayon de capteur inférieur au rayon de communication dans plusieurs types de capteurs. Comme cette relation détermine l'homogénéité ou l'hétérogénéité du réseau, un réseau composé de capteurs ayant les mêmes rayons de capture et de communication est dit homogène. Dans le cas contraire, on parle de réseau hétérogène. Dans [33], il montre la condition nécessaire et suffisante pour que la couverture implique la connectivité, lorsque la densité des capteurs est finie (2.1):

$$R_c \geq 2 * R_s \quad (2.1)$$

La relation (2.1) représente une condition suffisante et nécessaire pour que la couverture implique la connectivité. Plus dans [34], il montre un résultat similaire pour garantir la q-couverture (chaque point de la surface à couvrir doit être couvert par au moins q capteurs) et la connectivité (le graphe qui représente la communication entre capteurs déployés est q-connecté): lorsque la relation (2.1) est vérifiée, la q-couverture implique la q-connectivité pour une région convexe.

2.5 Classification des solutions de la couverture

On trouve plusieurs solutions qui résolvent les problèmes de couverture dans WSN, ces dernières peuvent être classées en trois types: solutions basées sur des approches protocolaires (Ordonnancement d'activité des capteurs,...), solutions basées sur des méthodes géométriques (Diagramme de Voronoi, Delaunay triangulation,...) et solutions basées sur des méthodes analytiques (Programmation linéaire, Théorie de graphe, Heuristiques et Meta-heuristiques,...)[35].

2.5.1 Solutions basées sur des approches protocolaires :

Ces sont généralement des protocoles basés sur l'ordonnancement d'activité dans WSN ; tel que L'ordonnancement d'activité selon le critère de la

couverture de surface qui consiste à organiser les activités des capteurs de façon à ce que l'ensemble des capteurs actifs (après l'élimination de la redondance) soit capable de couvrir une même zone que celle couverte par l'ensemble des capteurs du réseau[36].

2.5.2 Solutions basées sur des méthodes géométriques :

Il existe plusieurs solutions basées sur des méthodes géométriques pour traiter le problème de couverture ; Elles sont basées sur des concepts et des calculs géométriques. Parmi ces méthodes; on trouve le diagramme de Voronoï (DV) et Delaunay Triangulation (DT) ... ect.

- **Diagramme de Voronoï:**

Définition:

Soit un ensemble des points (ou sites) dans un plan 2D; le diagramme de Voronoï est la partition de l'espace en de petites régions et s'appelle le polygone de Voronoï tel que chaque région contient un et un seul site (point), et tout point appartient a cette région "i" sont plus proche a site "i" que d'autre site. On note $V(S_i)$ la région de Voronoï pour le site S_i et donne par cette formule : $V(S_i) = x : d(S_i, x) \leq d(S_j, x); i \neq j$, où d est la distance entre deux points. On construit les lignes et les vertex de polygone de site " S_i " par perpendiculaires des segments $[S_i, voisins S_j]$ et leurs intersections respectivement. La FIGURE 2.5 représente le diagramme de Voronoï pour l'ensemble des sites [37] .

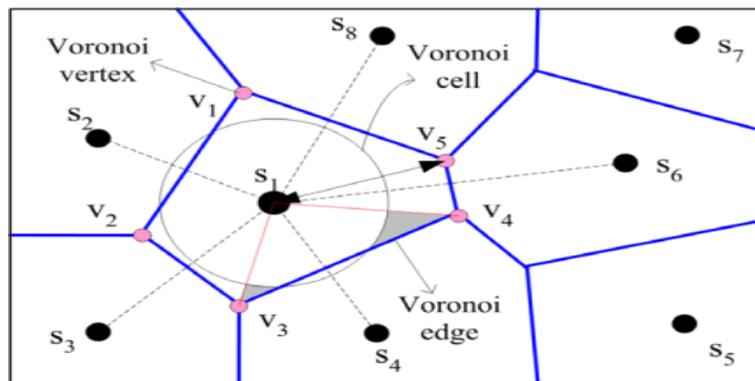


FIGURE 2.5: Diagramme de Voronoï [7]

- **Delaunay Triangulation:**

Définition:

Le Delaunay Triangulation est dual du diagramme de Voronoï. Le Delaunay Triangulation est formé par au moins trois sites (points), sachant que le cercle autour de ces trois sites ne contient pas les autres sites. Le centre de ce cercle est le vertex de Voronoï, tel que la distance entre le centre de cercle et les trois sites sont égaux. FIGURE 2.6 représente un exemple de Delaunay Triangulation pour ensemble des sites[37].

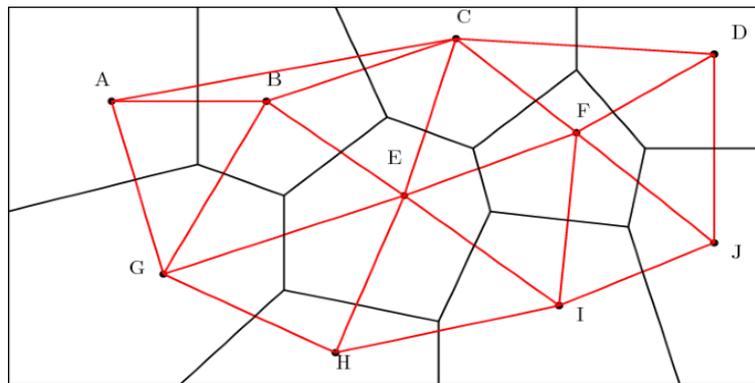


FIGURE 2.6: Triangulation de Delaunay [7].

Réf	Protocole	Méthode	Robustesse	Faiblesse
[38]	PEAS	Protocole basé sur une règle d'éligibilité à être passif.	Aucune information de nœud voisin	-Nécessite une haute densité de nœuds. Consommation d'énergie non uniforme.
[39]	DCovPDS	Sondage de l'environnement et sommeil adaptatif.	-Chaque capteur exécute le protocole indépendamment des autres nœuds afin de déterminer son statut.	-DCovPDS a besoin un processus de synchronisation, pour les nœuds s'activent en même temps.
[40]	SCR-CADS	Utilisent des relais de couverture de surface.	Connaissance des positions	-Le cout induit par les messages nécessaires à l'algorithme -La densité élevée d'un réseau de capteurs.
[41]	OGDC	Recouvrement de détection	-Décentralisé -Energie équilibrée entre les nœuds.	-Surcharge de la messagerie.
[42]	CCP	-Géométrie computationnelle -Points d'intersection	-Degré de couverture réglable. -Rapport de couverture et connectivité intégrée.	-Trous de couverture.

TABLE 2.3: Une Comparaison entres quelques stratégies de couverture à base déploiement [5]

- **Solutions basées sur des méthodes analytiques :** Il existe plusieurs solutions basées sur des méthodes analytiques qui traitent le problème de couverture. Elles sont généralement basées sur la modélisation mathématique et des applications de la recherche opérationnelle. Parmi ces méthodes, on trouve la programmation linéaire en nombre entier, les heuristiques et Meta-heuristiques ... ect [35].

2.5.3 Classification par stratégies de couverture :

Dans la littérature professionnelle, les solutions proposées pour traitement et résoudre le problème de couverture basée sur les méthodes utilisées ,la techniques et la stratégies de domaine (mathématiques,heuristique,théorie des graphes ...)(FIGURE 2.7).

En se référant à [5], les principaux contribution de leur travail est classée comme deux catégories principales;(a) couverture dans les réseaux de capteurs sur la base de modèles déterministes, et (b) la couverture en réseaux de capteurs basés sur des modèles incertains. Chaque catégorie est divisée en trois sous-catégories; (a) Stratégies de couverture, (b) Algorithmes de couverture et (c) Domaines de couverture impliqués dans la solution.

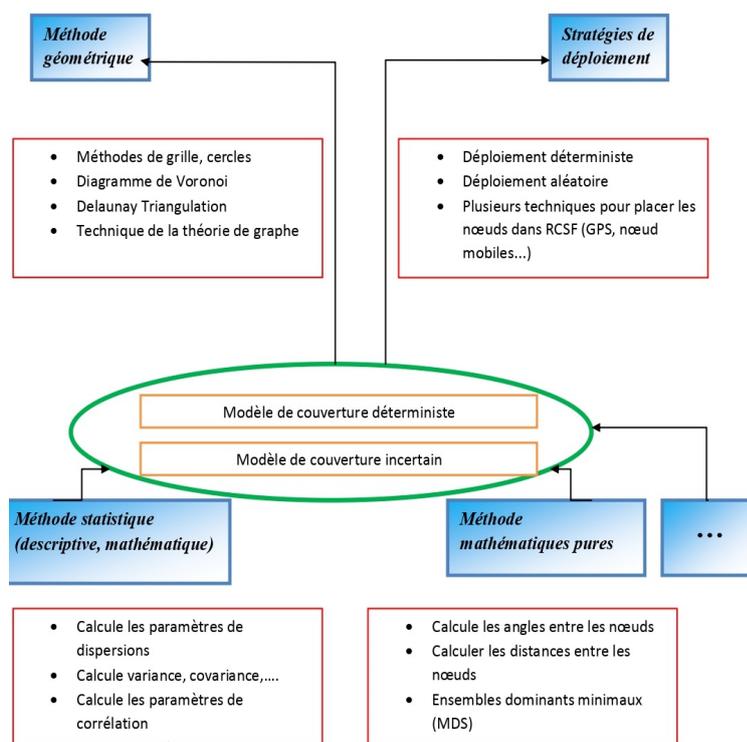


FIGURE 2.7: Domaines impliqués dans la solution de couverture [8].

Ref	Propriétés du réseau				Déploiement		
	Modèle	Connectivité	Couverture	Durée de vie	Type	Technique	Espace visé
[43]	Incertain	k-path	k-couverture	basé sur les nœuds	Modèle basé sur le flou et les preuves	(2)	2-D
[44]	Déterministe	k-path	k-couverture	basé sur les nœuds	basé sur le hasard et la géométrie	(1)	2-D
[45]	Déterministe	k-path	k-couverture	basé sur le réseau	basé sur une grille	(2)	2-D
[46]	Déterministe	k-path	k-couverture	basé sur le réseau	basé sur le hasard et la théorie des graphes	(2)	2-D
[47]	Déterministe	k-path	k-couverture	basé sur le réseau	basé sur une grille	(1)	2-D
[48]	Incertain	k-path	k-couverture	basé sur un réseau incertain	Modèle basé sur le flou et les preuves	(2)	3-D
[49]	Déterministe	k-path	k-couverture	basé sur les nœuds		(1)	2-D
[27]	Incertain	1-path	couverture K-Barrière	basé sur le réseau	basé sur une grille	(1)	2-D
[50]	Incertain	k-path	k-couverture	-	aléatoire	(2)	3-D
[51]	Déterministe	k-path	k-couverture	basé sur les nœuds	basé sur la géométrie	(2)	3-D
[52]	Incertain	k-path	k-couverture	basé sur le réseau	basé sur la géométrie	(2)	3-D
[53]	Incertain	k-path	k-couverture	basé sur le réseau	probabiliste	(2)	3-D
[54]	Incertain	k-path	k-couverture	basé sur le réseau	algorithmique	(2)	3-D
[55]	Incertain	k-path	données	basé sur le réseau	modèles d'incertitude	(2)	2-D
[36]	Incertain	k-path	k-couverture	basé sur le réseau	propriétés d'incertitude redéploiement	(2)	2-D
[56]	Deterministic	k-path	k-couverture	basé sur les nœuds	statistiques descriptives corrélation et modèle basé sur les paramètres de régression	(2)	2-D
[4]	Incertain	k-path	k-couverture	basé sur les nœuds	modèle basé sur le pavage avec 3 zones circulaires égales	(2)	2-D
[57]	Incertain	k-path	k-couverture	basé sur les nœuds et les points de collecte	Maximisation de la couverture avec plusieurs points de collecte mobiles basée sur un routage hiérarchique (MMSCM)	(1)	2-D

TABLE 2.4: Une comparaison entre différents modèles déterministes/ incertains proposés dans la littérature [11].

2.5.4 Classification par algorithme de couverture :

Dans les réseaux de capteurs sans fil, la capacité à émettre et recevoir des données permettent le contrôle et la décision à travers les capteurs mais aussi d'effectuer des tâches de façon coopérative, elles sont basées sur les classes

d'algorithmes décrites comme suit :

- **Algorithme centralisées** : Cet algorithme fonctionne au niveau d'une station de base et nécessite une connaissance globale du réseau. Cependant, ce type d'algorithme n'est pas pratique en raison de son coût élevé pour atteindre une couverture parfaite. Nous pouvons mentionner les algorithmes suivants.
 - L'algorithme de Bernoulli Daniel (BDA),
 - Les approches basées sur la partition de Voronoï (VPA),
 - Les approches basées sur les forces virtuelles (VFA),
 - Les algorithmes de champ potentiel (PFDA),
 - Les algorithmes différenciés de déploiement (DDA), et
 - les approches d'optimisation évolutionnaires et d'intelligence collectives.

- **Algorithme distribuées** : Il est possible d'exécuter cet algorithme sur divers capteurs, en utilisant le paradigme d'envoi et de réception de messages. En plus des approches centralisées, il existe également des approches distribuées qui tirent parti des avantages de la distribution afin de résoudre de manière plus efficace la problématique de déploiement. Dans ce contexte, différentes méthodes sont explorées, les travaux de [58] se penchent également sur la problématique du déploiement des réseaux de capteurs sans fil (WSN) dans un contexte distribué. Ils ont développé trois algorithmes d'optimisation distribués qui permettent de replacer les nœuds et d'optimiser la couverture du réseau, sans avoir recours à un nœud central. Chaque algorithme est exécuté de manière coopérative par l'ensemble des nœuds, qui échangent entre eux des informations limitées afin de se repositionner et d'améliorer la couverture globale.

Parmi ces algorithmes, deux d'entre eux exploitent les positions relatives des nœuds pour optimiser à la fois la couverture et la consommation d'énergie. Le troisième algorithme, quant à lui, est spécialement conçu pour les réseaux où l'auto-localisation des capteurs n'est pas possible. Les chercheurs soulignent que cela est particulièrement important pour les applications de surveillance en intérieur, car les algorithmes de localisation actuels ne parviennent pas facilement à fournir une précision suffisante pour le redéploiement des capteurs dans ces environnements.

- **Algorithme hybrides**: Les approches hybrides impliquent l'utilisation de deux techniques ou plus afin de résoudre une problématique spécifique. L'enjeu réside dans la recherche d'un schéma d'hybridation approprié et la capacité à combiner ces méthodes de manière à en tirer des avantages. Dans ce contexte, différentes combinaisons sont proposées. Parmi celles-ci, plusieurs travaux sont mentionnés pour illustrer ces approches hybrides. Les auteurs dans [59] ont réussi à résoudre efficacement la problématique de déploiement en prenant en compte de manière simultanée tous les objectifs mentionnés précédemment. Ils ont développé une stratégie nommée "algorithme de déploiement multi-objectif" (Multi-Objective Deployment Algorithm)

qui repose sur l'utilisation combinée d'un algorithme de forces virtuelles et d'une recherche tabou multi-objectif. Les travaux de [17] se sont focalisés sur l'étude de la couverture au sein des réseaux de capteurs, et ils ont présenté une proposition d'algorithme qui combine l'optimisation par essais particulières avec l'algorithme d'évolution différentielle.

- **Algorithme localisé** : Dans ce type d'algorithme, les capteurs prennent des décisions en se basant uniquement sur les informations obtenues localement à partir de leur voisinage, plutôt que sur des connaissances globales. Le terme "localisé" fait référence à la perception individuelle d'un capteur de son environnement. Plusieurs algorithmes sont proposés dans [60] pour se prêter tout particulièrement à un choix adaptatif de niveau d'activité ; tout nœud u attend un temps aléatoire avant de prendre une décision d'activité. D'autres variantes existent, mais pour ce type d'algorithmes, et pour l'illustration, nous ne donnons ici que les résultats relatifs à cette dernière notée :
 - **Positive-Only ou Positif-seul (PO)** : Les nœuds qui décident d'être actifs sont les seuls à envoyer un message positif.
 - **Positif et Négatif (PN)** : Chaque nœud envoie un message correspondant à sa décision (soit actif, ou passif).
 - **Positif et Retrait (PR)** : Les nœuds actifs peuvent recevoir des messages positifs des nœuds ayant des temps de d'attente plus longs. Ils peuvent ensuite décider de devenir passifs s'ils sont entièrement couverts par un groupe connecté.

La classification décrite dans FIGURE. 2.8 illustre certaines contributions dans les deux modèles de couverture dans WSN (les modèles déterministes et incertains).

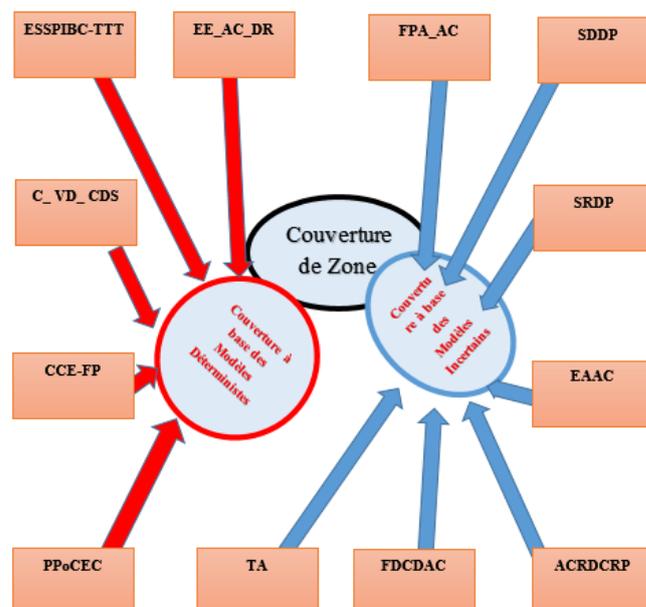


FIGURE 2.8: Nos stratégies proposés selon notre classification pour traiter le problème de couverture [9].

Conclusion

Dans ce chapitre, la couverture est l'une des mesures, les plus importantes, pour évaluer la qualité de surveillance produite par un réseau de capteurs dans une zone géographique. Une zone est dite couverte, si tous les points qu'elle inclut sont observés par au moins un capteur. Dans ce chapitre, les travaux sont classés en trois approches selon les techniques utilisées; ces approches sont les approches protocolaires, les approches géométriques et les approches analytiques; comme on a détaillé certaines solutions pour chaque approche. Généralement, l'objectif de ces solutions est de trouver un nombre minimal des nœuds connectés pour assurer la couverture de la zone d'intérêt, afin de prolonger la durée de vie de WSN et d'optimiser la consommation de l'énergie de chaque nœud. Ce chapitre résume les types de couverture, et est enrichi par quelques travaux de littérature sur les différentes stratégies de couverture résumées sous des tableaux, et avec des tableaux de comparaison entre les différentes techniques utilisées.

Dans le prochain chapitre, nous présenterons l'implémentation de notre travail.

Chapitre 3

Conception & Réalisation

Chapitre 3

Conception et Réalisation

Introduction

Un réseau de capteurs est constitué soit par les noeuds statiques (topologie statique), par les noeuds mobiles (topologie Dynamique), ou les deux types. Chaque topologie est utile pour traiter un type de problèmes de la couverture. Ce mémoire consiste à comparer deux types de protocoles de couverture; une à base de Diagramme de Delaunay, l'autre à base de Diagramme de Voronoï. L'objectif derrière cette étude est d'identifier les inconvénients et les avantages de chaque type de stratégie.

3.1 Principe générale de fonctionnement d'un protocole à base du diagramme de Voronoï

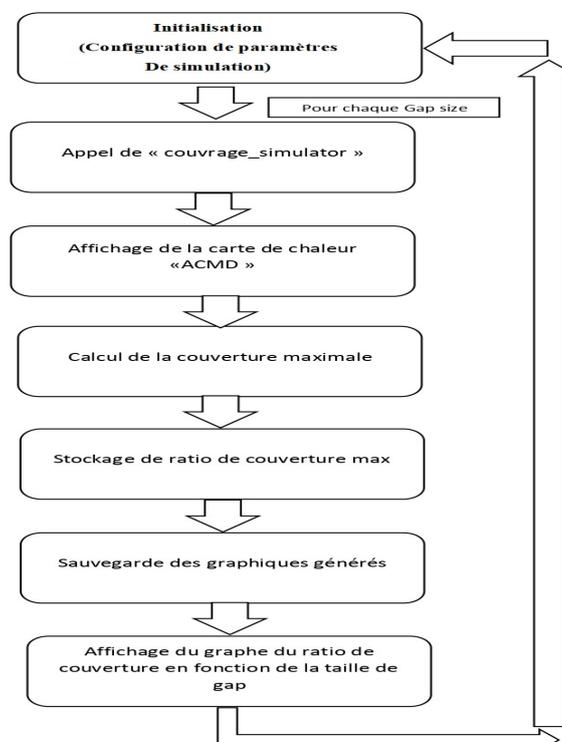


FIGURE 3.1: L'organigramme du Protocole à base de Diagramme de Voronoï.

L'organigramme représenté par FIGURE 3.1 illustre le fonctionnement du protocole à base de diagramme de Voronoï.

Le programme consiste en une boucle for qui itère de 1 à 10 avec un pas de 1, et exécute les étapes suivantes pour chaque valeur de GapSize :

- Appel de la fonction Coverage_Simulator avec les paramètres suivants : une taille de zone de 100, le type de nœud "top", une densité de capteurs de 1, un rayon de communication de 2, 1000 itérations, une simulation probabiliste et un type de gap étroit.
- Affichage d'une carte de chaleur de l'ACMD (Average Communication Map Density) générée par la simulation à l'aide de la fonction pcolor et colormap.
- Calcul de la couverture maximale pour chaque itération à l'aide de la variable MaxCov et stockage de la valeur dans la matrice MaxCovGapSize.
- Affichage du ratio de couverture en fonction de la taille de zone à l'aide de la fonction plot.
- Sauvegarde des graphiques générés dans un fichier.

Le programme inclut également du code en commentaire qui permet de générer d'autres graphiques en utilisant des paramètres différents pour la fonction Coverage_Simulator. Après l'exécution du programme, la matrice MaxCovGapSize contient les ratios de couverture maximaux pour chaque GapSize. Les graphiques générés par le programme permettent de visualiser comment le ratio de couverture varie en fonction de la taille de gap. Le programme peut être utilisé pour évaluer les performances d'un réseau de capteurs sans fil (WSN) en termes de couverture, en fonction de la taille de gap entre les capteurs. Les résultats obtenus peuvent aider à optimiser le déploiement des capteurs pour maximiser la couverture du réseau.

Capture d'écran du fichier Main du Protocole : Coverage à base de diagramme de Voronoï:

```
%% Presentation

%% Narrow Gap 1000 itiration
MaxCovGapSize=[];
for GapSize = 1:1:10
    [Coverage_Array,AMD,ACMD,SensorSizeArray,EC] =
Coverage_Simulator(100,'top',1,2,1000,false,'probabilistic','narrow-
gap',GapSize);
    figure;
    pcolor(ACMD(:, :, 1))
    colormap(gray(EC+1))
    %
saveas(gcf, sprintf('DissertationGraphs/NarrowGapP/GapSize/2DFlexSensorMapGapSize%
d.jpg', GapSize));

saveas(gcf, sprintf('C:/Users/arwa/Desktop/monprojet/CoverageWSN2023/2DFlexSensorM
apGapSize%d.jpg', GapSize));
    % C:\Users\arwa\Desktop\mon projet\CoverageWSN2023
    figure;
    pcolor(ACMD(:, :, 1000))
    colormap(gray(EC+1))

%saveas(gcf, sprintf('DissertationGraphs/NarrowGapP/GapSize/2DFlexSensorCoverageMa
pGapSize%d.jpg', GapSize));

saveas(gcf, sprintf('C:/Users/arwa/Desktop/monprojet/2DFlexSensorCoverageMapGapSiz
e%d.jpg', GapSize));
    figure;
    plot(Coverage_Array, 'r');
    xlabel('Iteration');
    ylabel('Coverage');
    %
saveas(gcf, sprintf('DissertationGraphs/NarrowGapP/GapSize/2DFlexSensorCoverageVsI
terationGapSize%d.jpg', GapSize));

    saveas(gcf, sprintf('C:/Users/arwa/Desktop/mon
projet/2DFlexSensorCoverageVsIterationGapSize%d.jpg', GapSize));
    figure;
    histogram(SensorSizeArray);
    xlabel('Sensor Size');
    ylabel('Count');
    saveas(gcf, sprintf('C:/Users/arwa/Desktop/mon
projet/2DFlexSensorSensorHistogramGapSize%d.jpg', GapSize));
    figure;
    hold on;
    for i=1:1:100
        plot(SensorSizeArray(:, i));
    end
    xlabel('Iteration');
    ylabel('Sensor Size');
    hold off;
    saveas(gcf, sprintf('C:/Users/arwa/Desktop/mon
projet/2DFlexSensorSensorSizeVsIterationGapSize%d.jpg', GapSize));

MaxCov = 0;
for i = 1:1:1000
    if Coverage_Array(i) > MaxCov
        MaxCov = Coverage_Array(i);
    end
end
```

```

        j=i;
    else
    end
end
MaxCovGapSize(GapSize,1) = MaxCov;
end
figure;
plot(MaxCovGapSize);
xlabel('Gap Size');
ylabel('Maximum Coverage');
saveas(gcf,sprintf('C:/Users/arwa/Desktop/mon
projet/2DFlexDeterministicMaxCovVSGapSize.jpg'));

% [Coverage_Array,AMD,ACMD,SensorSizeArray,EC] =
Coverage_Simulator(100,'top',2,2,700,false,'deterministic','narrow-gap',3);
% for i = 1:1:700
%     figure;
%     pcolor(ACMD(:, :, i))
%     colormap(gray(EC+1))
%
saveas(gcf,sprintf('DissertationGraphs/NarrowGap/Gap3Steps/2DFlexibleSensorCovera
geMap%d.jpg',i));
% end

```

3.1.1 Motivation et Objectif

Les objectifs principaux du diagramme de Voronoï est [61]:

- **Maximiser la couverture de la région d'intérêt** : L'objectif principal du protocole de Voronoï est de garantir une couverture maximale de la zone d'intérêt en assignant des régions de surveillance à chaque capteur. Cela permet d'optimiser l'utilisation des ressources et de s'assurer que chaque partie de la région est surveillée.
- **Assurer la connectivité des capteurs** : En utilisant les frontières du diagramme de Voronoï, le protocole de Voronoï favorise naturellement la connectivité entre les capteurs. Cela facilite la communication entre les capteurs et permet un échange fluide des données.
- **Optimiser l'efficacité des ressources** : Le protocole de Voronoï vise à utiliser efficacement les ressources disponibles, telles que l'énergie des capteurs. En assignant des régions de surveillance équilibrées, il permet de répartir équitablement la charge de travail entre les capteurs et de prolonger la durée de vie du réseau.

3.1.2 Fonctionnement

La simulation du protocole de couverture à base de diagramme de Voronoï se fait pour évaluer la couverture d'un réseau de capteurs avec des capteurs adaptatifs dans différents scénarios. Plus précisément, ce protocole simule un réseau constitué par des capteurs flexibles (mobiles) pour couvrir en temps réel une zone et calcule la couverture.

Le lancement de ce protocole commence par l'initialisation de la variable **MaxCovGapSize** qui représente la zone de couverture maximale par une liste vide. Ensuite, il boucle les différentes valeurs de scénarios (**GapSize**) de 1 à 10. Pour chaque valeur de **GapSize**, une appelle de la fonction **Coverage_Simulator** est nécessaire pour simuler la couverture. Le protocole utilise ensuite la fonction **pcolor** pour afficher la carte de couverture et la carte de capteur pour la première itération et la dernière itération. En sortie, la simulation affiche le graphique de la couverture en fonction des itérations.

3.2 Principe générale de fonctionnement d'un protocole de couverture à base de triangulation de Delaunay

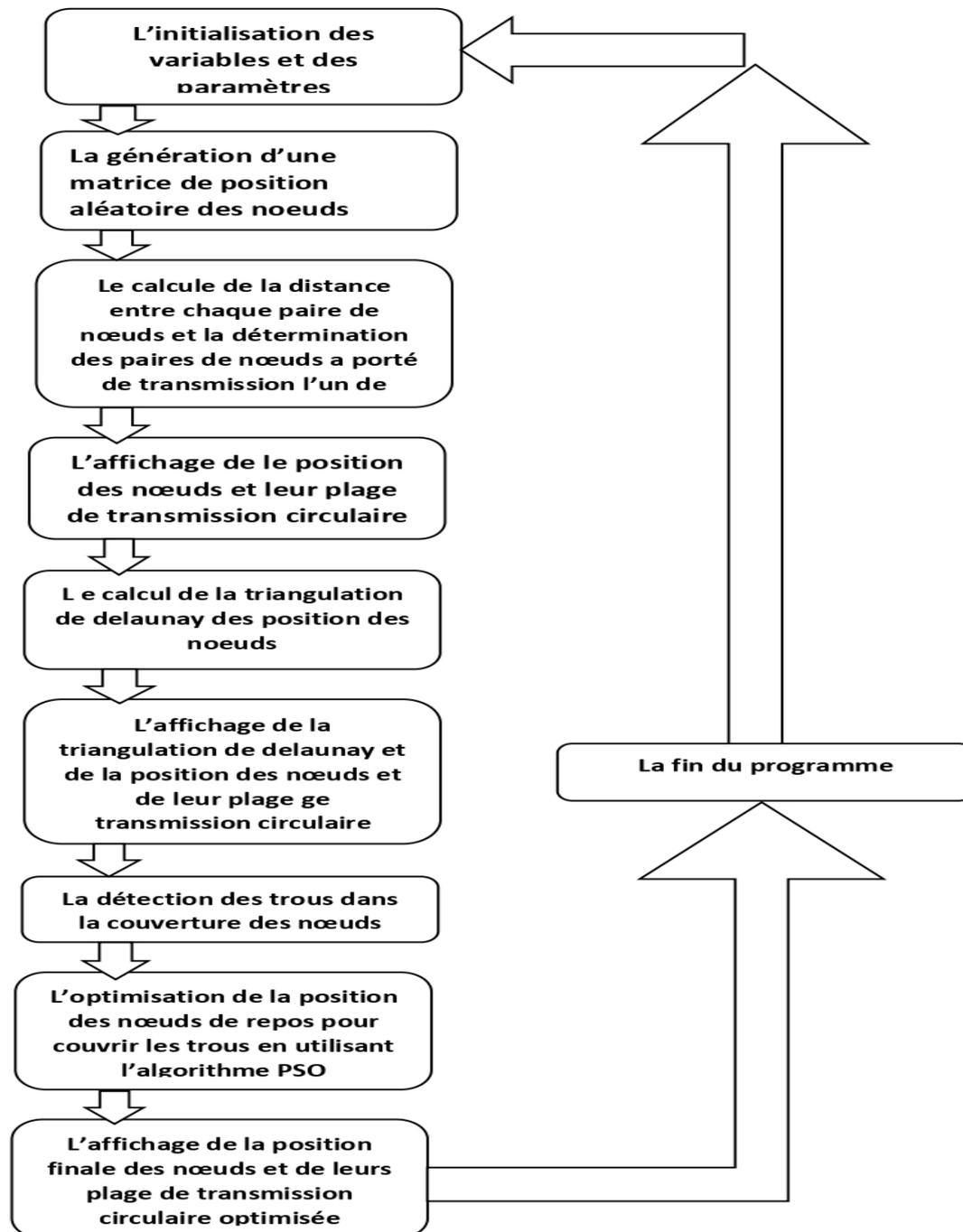


FIGURE 3.2: L'organigramme de triangulation de Delaunay[1].

- **L'étape 1:** représente l'initialisation des variables et des paramètres.
- **L'étape 2:** représente la génération d'une matrice de position aléatoire des nœuds.
- **L'étape 3:** représente le calcul de la distance entre chaque paire de nœuds et la détermination des paires de nœuds à portée de transmission l'un de l'autre.
- **L'étape 4:** représente l'affichage de la position des nœuds et de leur plage de transmission circulaire.
- **L'étape 5:** représente le calcul de la triangulation de Delaunay des positions des nœuds.
- **L'étape 6:** représente l'affichage de la triangulation de Delaunay et de la position des nœuds et de leur plage de transmission circulaire.
- **L'étape 7:** représente la détection des trous dans la couverture des nœuds en utilisant la triangulation de Delaunay.
- **L'étape 8:** représente l'optimisation de la position des nœuds de repos pour couvrir les trous en utilisant l'algorithme PSO.
- **L'étape 9:** représente l'affichage de la position finale des nœuds et de leur plage de transmission circulaire optimisée.
- **L'étape 10:** représente la fin du programme.

Capture d'écran du fichier Main du Protocole :Couverture à base de diagramme de Delaunay:

```
close all
clear
clc
addpath(genpath(cd))
warning('off')
%%

N=10; % nombre de noeuds aire=[10,10]
area=[10,10]; % zone de déploiement de noeuds en mètre intervalle =
2
Trange=2; % plage de transmission du noeud de capteur en mètre
nodes.pos=area(1).*r and (N,2);
nodes.pos=area(1).*rand(N,2); % emplacements géographiques des noeuds
lambda=0.125; % longueur d'onde du signal lambda=0.125
nodes.major = Trange; % grand axe pour plage elliptique
nodes.minor = lambda*Trange; % axe minro pour plage elliptique
% redondantNon=9; % nombre de noeuds de guérison
redundantNo=round(10*N/100);
%% tracer le déploiement des noeuds
cnt=1;
for ii=1:N
    for jj=1:N
        if ii~=jj
            nodes.distance(ii,jj)=pdist([nodes.pos(ii,:);nodes.pos(jj,:)]);
            if nodes.distance(ii,jj)<Trange || nodes.distance(ii,jj)==Trange
                nodes.inrange(ii,jj)=1;
            else
                nodes.inrange(ii,jj)=0;
            end
        end
    end
end

figure
F5=plot(nodes.pos(:,1),nodes.pos(:,2),'.','color','r');
hold on
for ii=1:N % plot the circular transmission range

[nodes.circle.x(ii,:),nodes.circle.y(ii,:)]=circle(nodes.pos(ii,1),nodes.pos(ii,2),Trange);
F6=fill(nodes.circle.x(ii,:),nodes.circle.y(ii,:),[0.25,0.25,0.25]);
alpha 0.3
hold on
end
axis on
xlabel('x(m)')
ylabel('y(m)')
title('Initial Placement of Nodes with circular transmission range')
%% tracer un triangle de delaunay
TRI = delaunay(nodes.pos(:,1),nodes.pos(:,2));
figure(2)
F5 = plot(nodes.pos(:,1),nodes.pos(:,2),'.','color','r');
hold on
for ii=1:N % plot the circular transmission range

[nodes.circle.x(ii,:),nodes.circle.y(ii,:)]=circle(nodes.pos(ii,1),nodes.pos(ii,2),Trange);
F6=fill(nodes.circle.x(ii,:),nodes.circle.y(ii,:),[0.25,0.25,0.25]);
alpha 0.3
```

```

        hold on
    end
    axis on
    xlabel('x(m)')
    ylabel('y(m)')
    title('Coverage hole in initial position of Nodes')
    hold on
    triplot(TRI,nodes.pos(:,1),nodes.pos(:,2))
    %% détection de trou
    [holeDetected.circle,Circmcenter.circle,circumradius.circle]=holeDetection(TRI,nodes,F5,F6,Trange,area,2,1);
    display(['--> No of detected Holes for Circular =',num2str(numel(find(holeDetected.circle)))]);
    %% PSO optimise la position des noeuds wsn de repos pour couvrir le trou
    nvars = 2*(N);
    fun=@(x) objf(x,Trange,area);
    lb=zeros(nvars,1);
    ub=area(1).*ones(nvars,1);
    options =
    optimoptions(@particleswarm,'Display','iter','MaxIterations',100,'PlotFcn','pswplotbestf');
    [x,fval] = particleswarm(fun,nvars,lb,ub,options);
    finalPos = reshape(x,[numel(x)/2,2]);
    % tracer la position finale du noeud accordé
    figure
    plot(finalPos(:,1),finalPos(:,2),'o','color','r');
    hold on
    for ii=1:N
        % tracer la plage de transmission circulaire
        [finalcircle.x(ii,:),finalcircle.y(ii,.)]=circle(finalPos(ii,1),finalPos(ii,2),Trange);
        fill(finalcircle.x(ii,:),finalcircle.y(ii,:),[0.25,0.25,0.25]);
        alpha 0.3
        hold on
    end
    axis on
    xlabel('x(m)')
    ylabel('y(m)')
    title('Optimized location of Nodes with circular transmission range')

```

3.2.1 Motivation et Objectif

Le diagramme de Delaunay est [62]:

- Construit à partir du diagramme de Voronoï, donc est considéré comme un outil de la théorie des graphes (FIGURE 2.7).
- Une stratégie efficace de pavage et de clustering en cas où le pavage par diagramme de Voronoï est coûteux.
- Construit un meilleur clustering adopté pour une couverture améliorée, et que les clusters doivent contenir un nombre minimal de nœuds actifs.

3.2.2 Fonctionnement

Ce code Matlab implémente un algorithme pour la détection et la correction de zones non couvertes (ou "trous") dans un réseau de capteurs sans fil (WSN). Le code commence par initialiser les paramètres du WSN tels que le nombre de nœuds, la plage de transmission, les positions des nœuds, la longueur d'onde du signal, etc. Ensuite, le code trace le déploiement initial des nœuds, où chaque nœud est représenté par un cercle de plage de transmission. Ensuite, le code utilise l'algorithme de triangulation de Delaunay pour diviser le domaine en triangles, ce qui permet de détecter les zones non couvertes. Le code utilise ensuite l'optimisation par essaim de particules (PSO) pour trouver la position optimale des nœuds qui couvrent les zones non couvertes. L'objectif de l'optimisation est de minimiser la somme des distances entre les nœuds et leurs voisins dans le voisinage de transmission. Le code trace ensuite la position finale des nœuds après l'optimisation. Enfin, le code affiche le nombre de trous détectés et leur emplacement, ainsi que la position optimale des nœuds après l'optimisation.

3.3 Conclusion

Dans ce chapitre, et après l'état de l'art sur les différentes stratégies et domaines impliqués pour traiter le problème de couverture dans les réseaux de capteurs sans fil, nous avons choisi deux protocoles de couverture, un à base de diagramme de Voronoï avec le déploiement aléatoire des nœuds de capteurs homogènes et statiques (sans mouvement) et l'autre à base de Diagramme de Delaunay par un déploiement aléatoire des nœuds mobiles sur la zone d'intérêt. Ce chapitre consiste à expliquer le fonctionnement de chaque protocole avec l'organigramme correspondant. Pour donner une vue générale de chacun, des captures de codes sont ajoutées. Ce chapitre termine par une conclusion résumant ses points focaux.

Chapitre 4

Simulation et Comparaison

Chapitre 4

Simulation et Comparaison

Introduction

Nous distinguons plusieurs modèles de simulation selon qu'ils soient déterministes ou aléatoires, continus ou discrets. Pour expérimenter la solution proposée, nous avons choisi d'utiliser un outil de simulation qui est MATLAB. Cette décision a été prise après l'étude des simulateurs de RCSFs existants (NS-2, TOSSIM, OPNET), qui étaient pour la plupart beaucoup trop lourds, difficile a maîtrisé dans des délais aussi court (la date de commencement de travail) et qui sont peu adaptés à nos besoins.

Ils existent plusieurs simulateurs dédiés pour les réseaux de capteurs [63]:

- **OPNET (Optimum Network Performance)** : OPNET est un simulateur à événements discrets. C'est un outil très puissant pour la simulation et l'évaluation de performances des réseaux. Il permet aussi à l'utilisateur de construire ses propres modèles des plus simples aux plus complexes [64],
- **NS-2/NAM (Network Simulator 2)** : c'est un simulateur développé à Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL). Le langage de base de NS est le C++. L'outil NAM (Network Animator), associé au simulateur NS, permet de visualiser des animations de la simulation (transfert des paquets d'une à un autre, taille des paquets, etc.),
- **TOSSIM** : est un simulateur développé par l'université de Berkeley, spécialement conçu pour le système d'exploitation TinyOS. Son objectif est de reproduire le fonctionnement d'un capteur au sein d'un réseau de capteurs, en incluant des fonctionnalités telles que l'envoi et la réception de messages par le biais d'ondes radio, le traitement de l'information, etc. Pour faciliter la compréhension de l'activité du réseau, TOSSIM peut être utilisé avec une interface graphique appelée TinyViz, offrant une visualisation intuitive du comportement de chaque capteur au sein du réseau.

4.1 Choix de MATLAB

MATLAB, développé par MathWorks, est un logiciel de calcul numérique largement utilisé. Disponible sur diverses plateformes, MATLAB est reconnu pour sa simplicité et son efficacité. Il est particulièrement optimisé pour le traitement des matrices, ce qui explique son nom. Pour le calcul numérique, MATLAB est beaucoup plus concis que les vieux langages (C, Pascal, Fortran, Basic) et pour la programmation, il optimise le code des programmes en utilisant des fonctions pré définies. Nous pouvons traiter la matrice comme une simple variable.

MATLAB contient une interface graphique puissante, et on peut l'enrichir en ajoutant des "boîtes à outils" (toolbox) qui sont des ensembles de fonctions supplémentaires, profilées pour des applications particulières (traitement de signaux, analyses statistiques, optimisation, etc.). MATLAB contient également un langage de programmation de haut niveau dans lequel nous retrouvons la majorité des concepts des langages de programmation modernes (types Pascal et C). L'ordre d'exécution des instructions est déterminé par des structures de contrôle. Il permet aussi la création de fonctions et distingue les données locales des données globales. Ces avantages ont rendus de MATLAB, un langage de programmation et de simulation très sollicité [60].

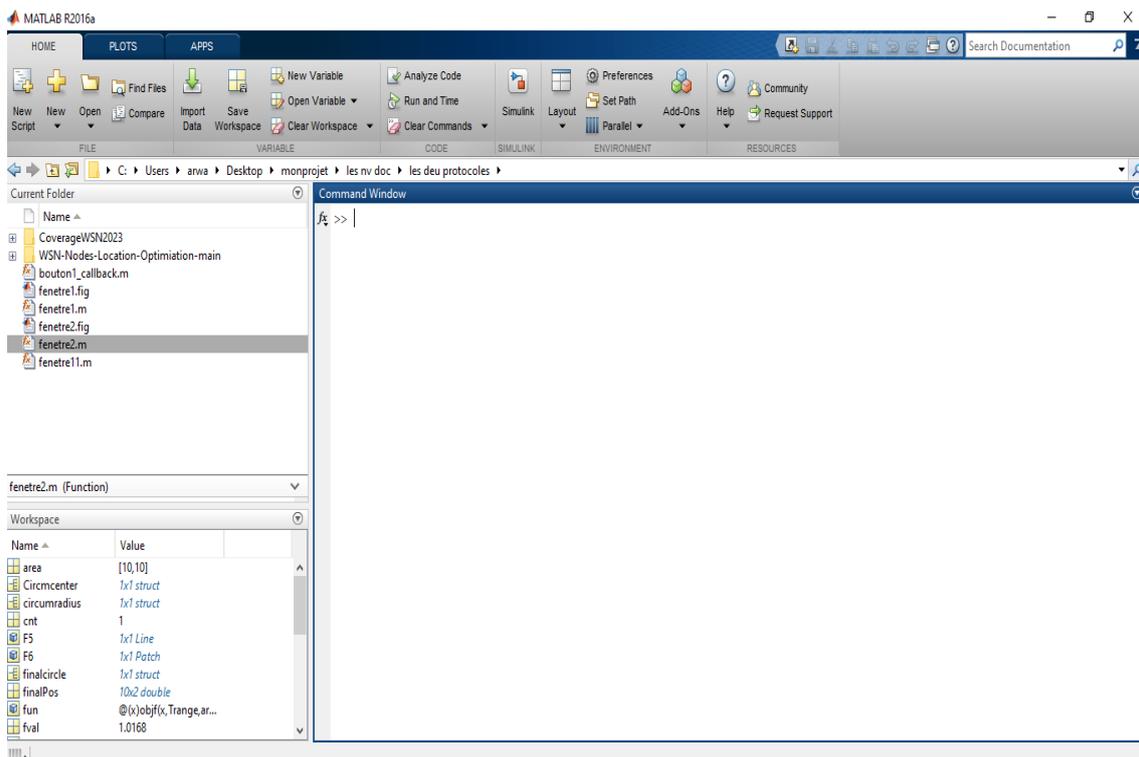


FIGURE 4.1: Présentation du Simulateur MATLAB.

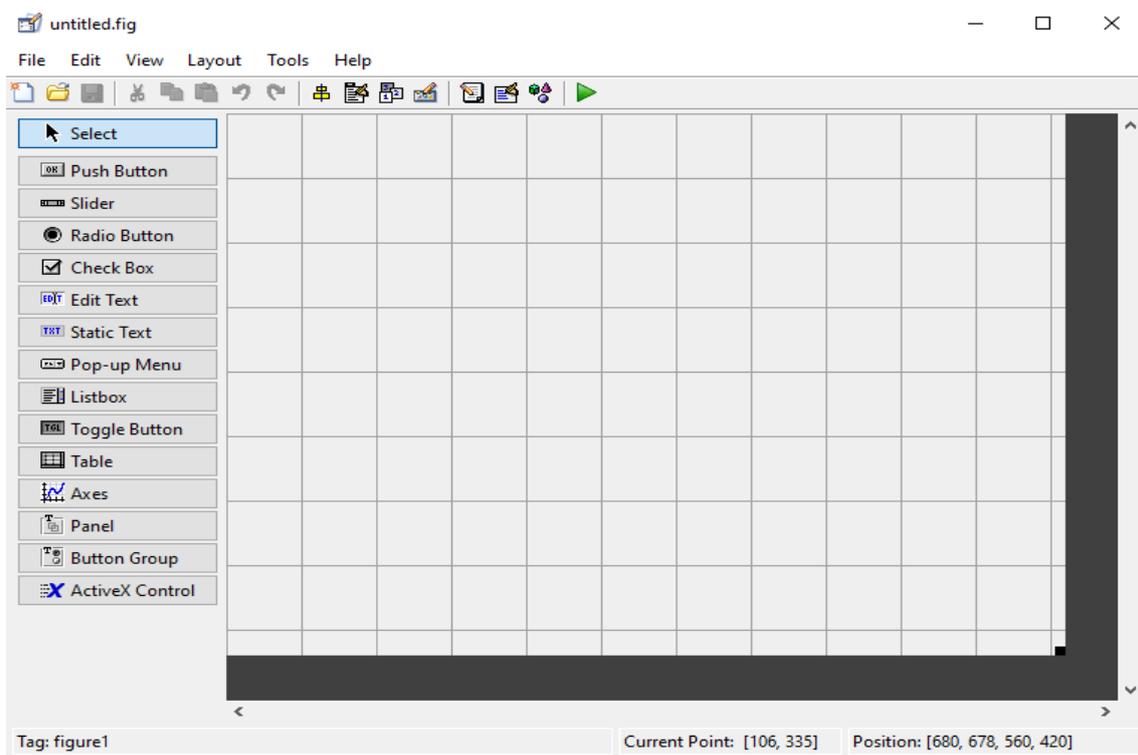


FIGURE 4.2: Unité d'interface Graphique (GUI) du MATLAB.

4.2 Simulation et analyse de résultats

Lorsqu'on a lancer la simulation, le menu principale est apparaître (la fenêtre représentée par FIGURE 4.3) :

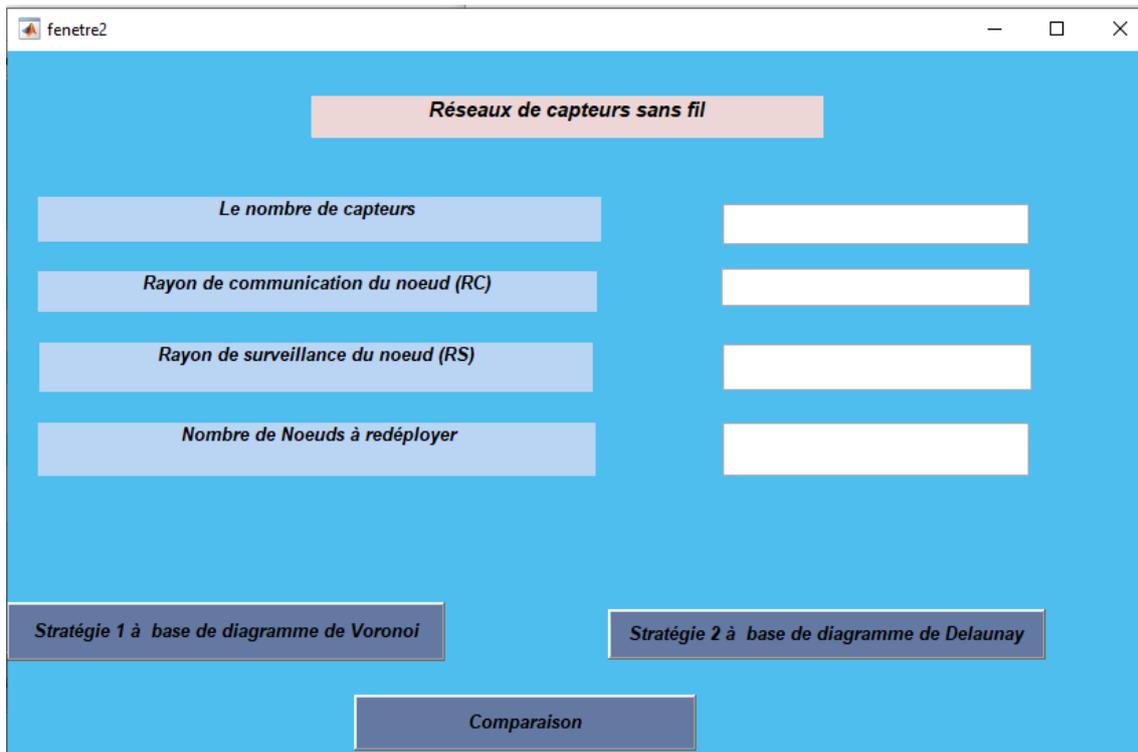


FIGURE 4.3: Menu Principale de la simulation.

4.2.1 Protocole 1: La stratégie de couverture à base de diagramme de Delaunay

Ce protocole comporte les étapes suivantes:

- **Emplacement initiale des nœuds de capteur :**
Après l'utilisation des paramètres . Les nœuds seront positionnés de manière aléatoire dans la région selon la fonction illustrée par FIGURE 4.4.

```

17 %% tracer le déploiement des noeuds
18 cnt=1;
19 for ii=1:N
20     for jj=1:N
21         if ii~=jj
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 4.4: fonction pour placement initiale des nœuds.

Le résultat de cette fonction est présenté dans la figure 4.5.

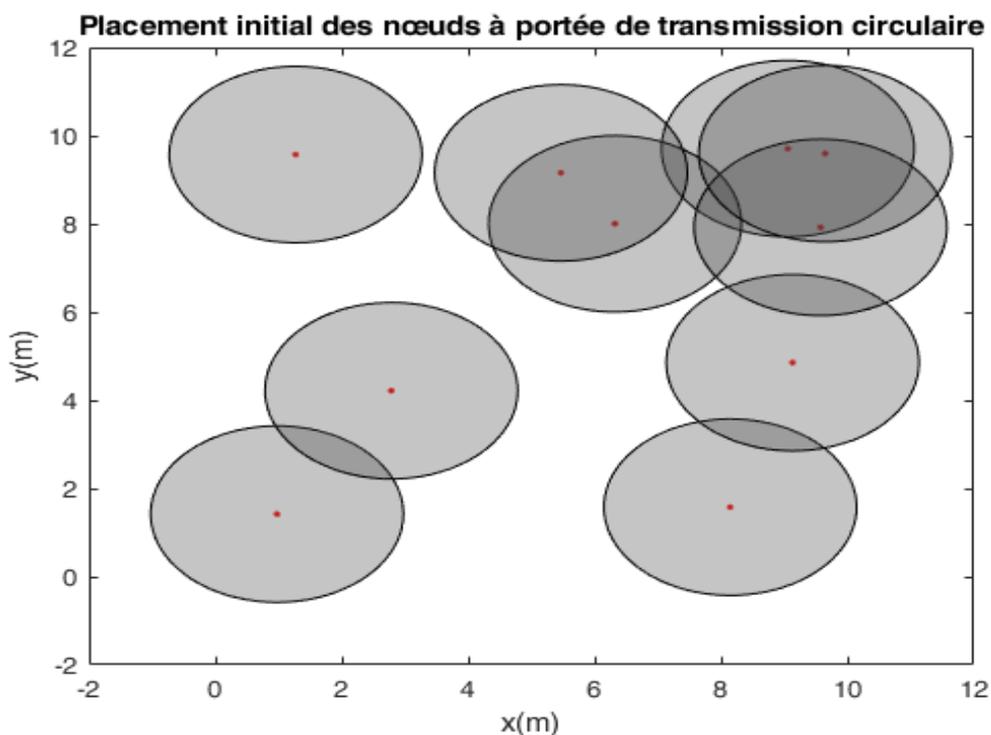


FIGURE 4.5: Déploiement Initial (placement initiale des nœuds).

- **Tracer le triangle de Delaunay et la détection de trous:** Après le lancement de l'opération de déploiement, le diagramme de Delaunay est tracé pour commencer de couvrir la zone d'intérêt et optimiser la couverture de trous (hole coverage).

FIGURE 4.6 illustre le tracé du diagramme de Delaunay tracé autour de la zone d'intérêt.

Après le déploiement initial des nœuds on utilise le triangle de Delaunay pour définir les zone que ne sont pas couvertes (trou)

Couverture de Trous dans la position initiale des nœuds (déploiement initiale)

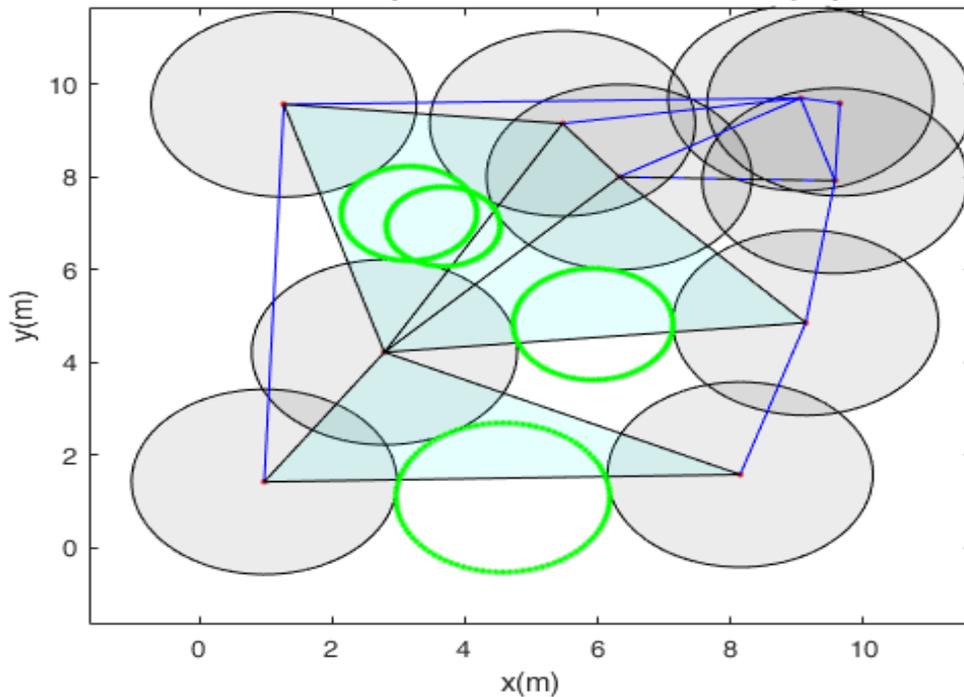


FIGURE 4.6: Tracer le Diagramme de Delaunay

La simulation de la couverture est déclenché comme illustrée dans la FIGURE 4.7.

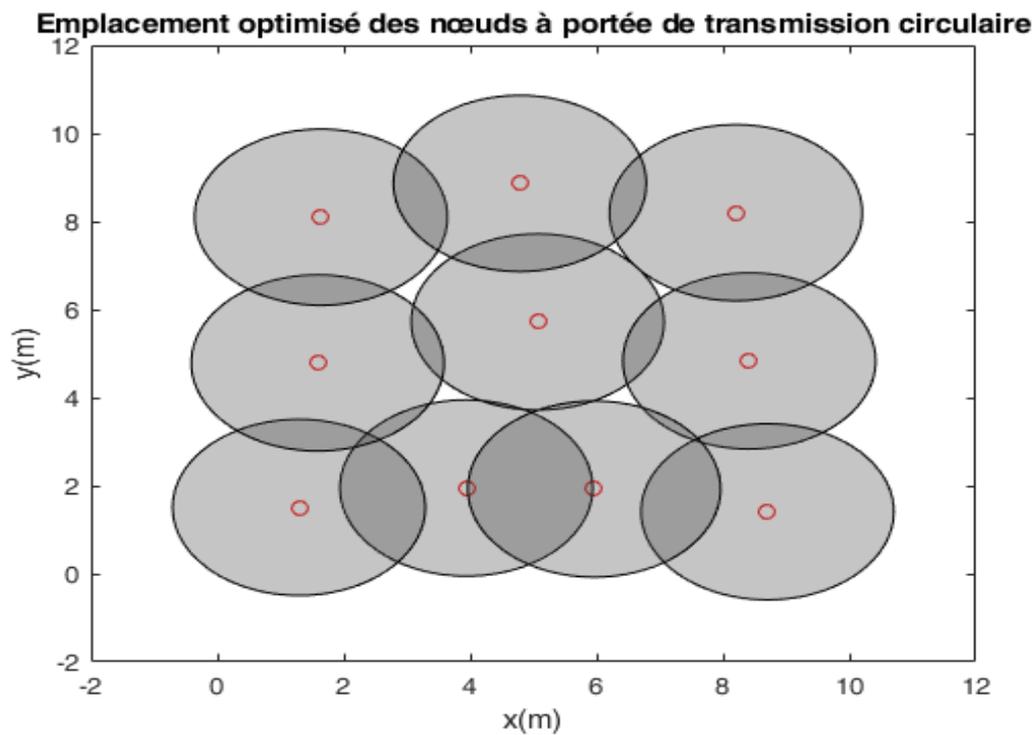


FIGURE 4.7: Simulation du protocole à base de Diagramme de Delaunay (étape de couverture)

4.2.2 Analyse des résultats

La FIGURE 4.8 indique que la stratégie de couverture à base de diagramme de Delaunay donne un taux de couverture entre $[0.81 \ 0.98]$ mais parfois perturbé, car le nombre de zone non couvertes construits à cause des noeuds épuisés et le mouvement des noeuds déplacés pour les éliminer (couvrir).

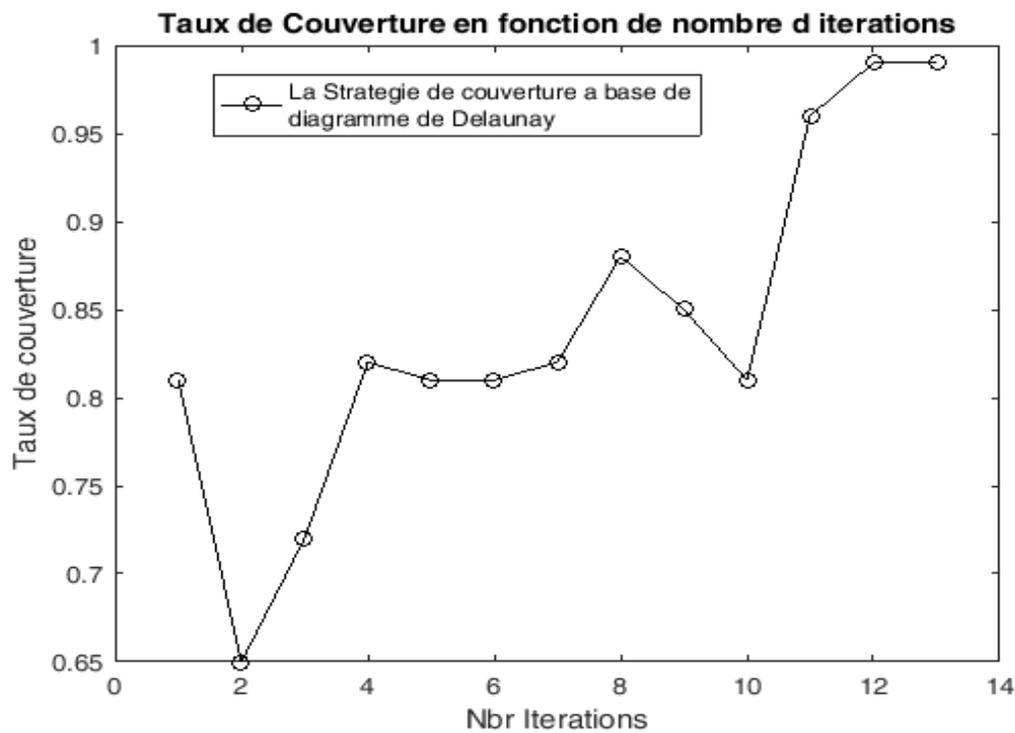


FIGURE 4.8: Taux de couverture en fonction de nombre d'itérations)

4.2.3 Protocole 2: Stratégie de Couverture à base de diagramme de Voronoï

La FIGURE 4.9 illustre les différents scénarios de couverture d'une zone d'intérêt, où une progression de couverture est remarquée ce qui montre l'efficacité de ce type de stratégies pour atteindre une couverture améliorée. les zones blanches remarquées sans les scénarios représentent les trous de couverture construits par la mort des noeuds de capteurs dans la zone d'intérêt.

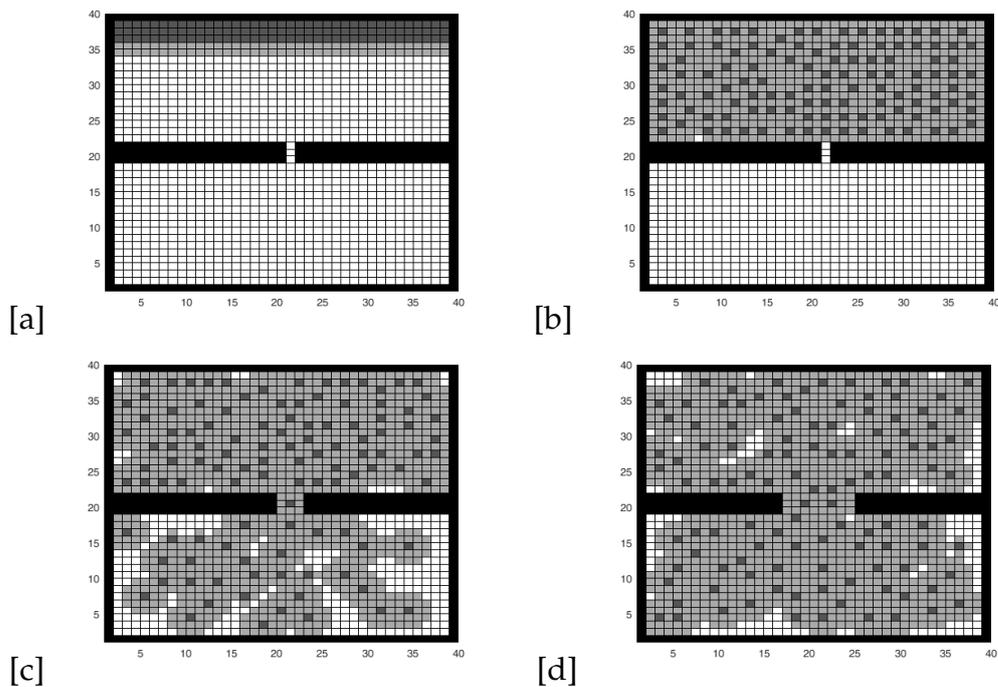


FIGURE 4.9: Différents scénarios de Couverture de AoI par l'implémentation de la stratégie de couverture à base de Diagramme de Voronoï

La FIGURE 4.10 montre la progression dans le taux de couverture en fonction de nombre d'itérations vers un taux arrive à 0.95. l'insuffisance remarquée dans la couverture est à cause de trous créés par de l'épuisement totale des noeuds de capteurs déployés pendant le temps de la simulation.

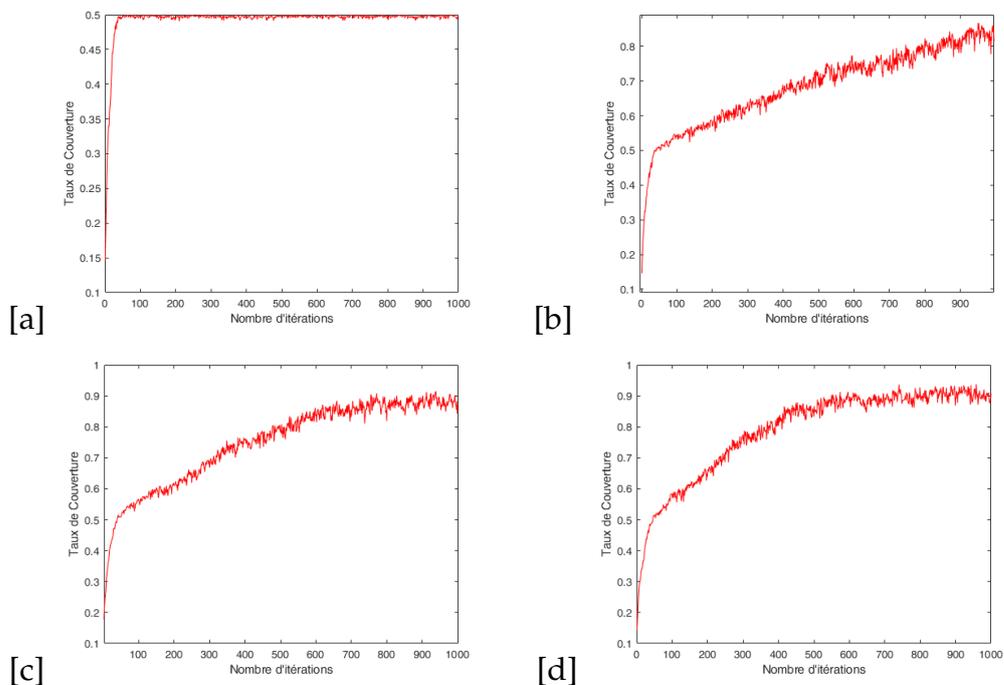


FIGURE 4.10: Taux de Couverture de la zone d'intérêt par l'implémentation de la stratégie de couverture à base de Diagramme de Voronoï

La FIGURE 4.11 représente la couverture moyenne des scénarios de la simulation en fonctions de nombre d'itérations.

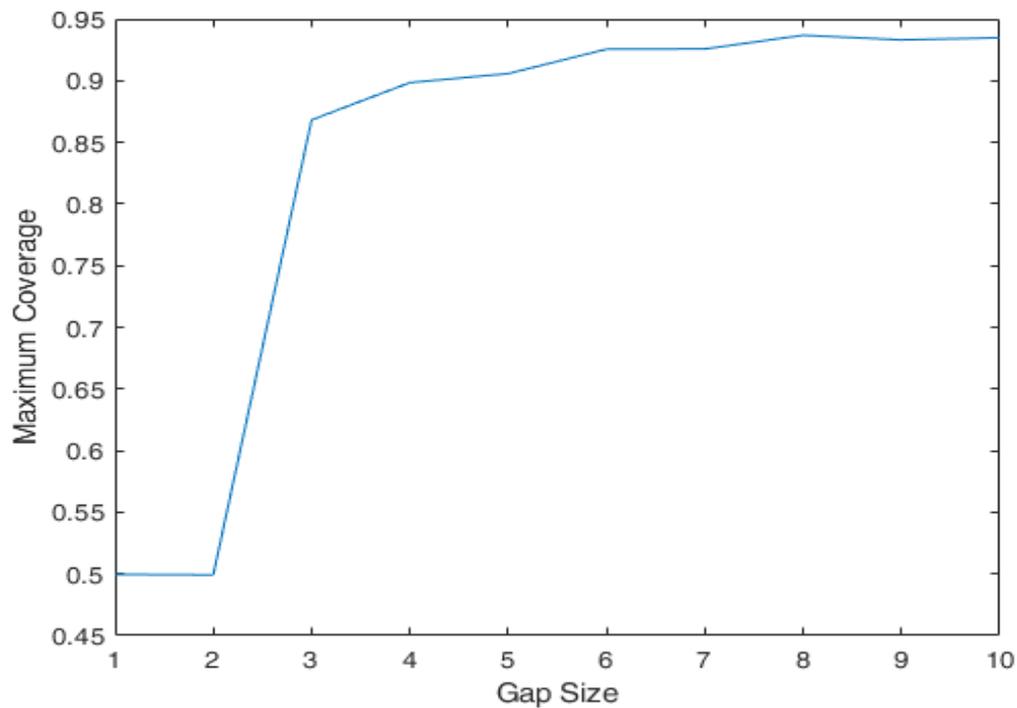


FIGURE 4.11: Taux de couverture moyenne de la stratégie à base de Diagramme de Delaunay

4.2.4 Analyse de résultats

Les critères de comparaison sont enregistrées dans TABLE 4.1.

Critères de Comparaison	Protocole à bas de Diagramme de Delaunay	Protocole à base de Diagramme de Voronoï
Type de nœuds	Mobiles	Statiques
Dépoïement de nœuds	Dépoïement Déterministe, Sont généralement représentés par des coordonnées (x, y).	Déploiement Aléatoire
Stratégies utilisées	Algorithme de Lawson, l'algorithme de Bowyer-Watson et l'algorithme de Ruppert.	Algorithme de Fortune, Algorithme de Lloyd, Algorithme de Balzer Méthodes basées sur des structures de données avancées.
Topologie Utilisée	Modèle de Delaunay avec des connexions triangulaires entre les nœuds	Modèle de Voronoï avec des cellules délimitées par les nœuds
Pourcentage de Couverture	Taux_Couverture $\in [80 : 85]$	Taux_Couverture $\in [85 : 90]$

TABLE 4.1: Comparaison entre un Protocole à base de Diagramme de Delaunay et un protocole à base de Diagramme de Voronoï

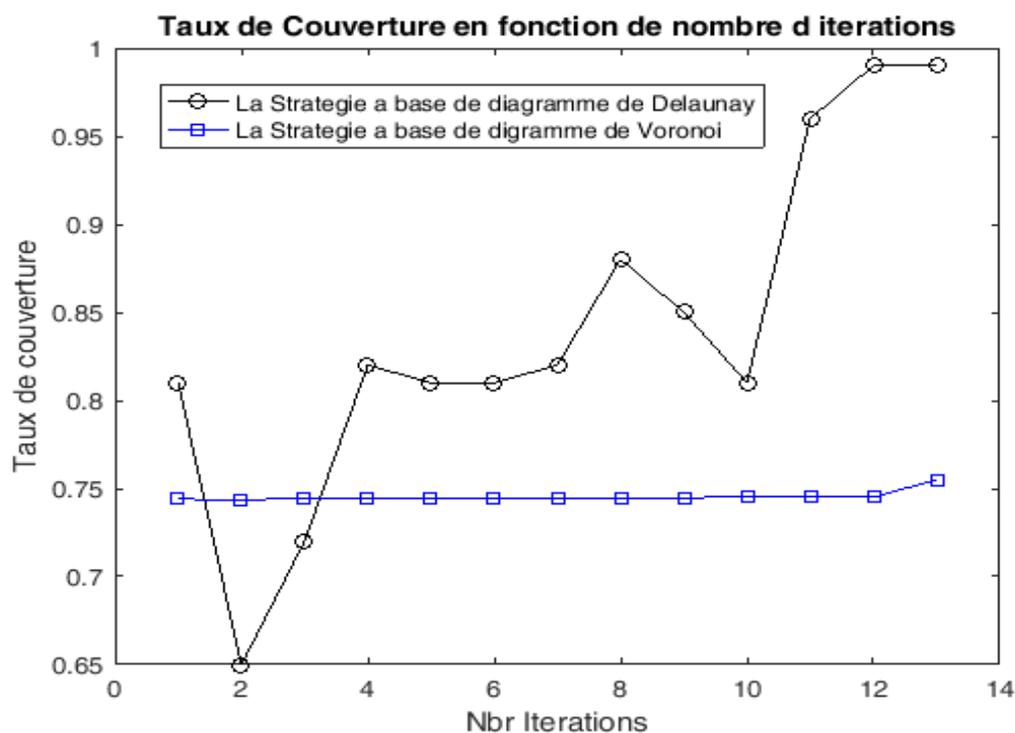


FIGURE 4.12: la comparaison globale de taux de couverture en fonction de nombre d'itérations.

Notre comparaison nous a guidé aux points suivants:

- Le diagramme de Delaunay est construit à partir de diagramme de Voronoï.

- La couverture à base de clustering est très efficace par rapport les autres stratégies de couvertures dans les RCSF.
- Soit le diagramme de Voronoï ou le diagramme de Delaunay forment des clusters.
- Pour les zones d'intérêt étendues, la couverture par les protocoles de clustering à base de diagrammes de Delaunay conduisent à une couverture légèrement améliorée par rapport les protocoles de couverture à base de diagrammes de Voronoï, mais ils demandent un nombre assez grand de noeuds de capteurs actives, ce qui affectent l'énergie consommé par le réseau.
- Pour les zones d'intérêt limitées, les protocoles de clustering à base de diagrammes de Voronoï donnent un pourcentage de couverture assez parfait par rapport les protocoles de couverture à base des protocoles à base de diagrammes de Delaunay.
- Plus, quand les clusters sont de taille minimale, le nombre de noeuds de capteurs actives demandés sera maximale. par contre, si les clusters sont de taille maximale, les trous de couvertures augmentes et la couverture diminuée.
- Selon cette étude comparative, et pour ces points cités, le clustering à base de diagramme de Voronoï donne un pourcentage de couverture mieux sur tout, si on active qu'une seule noeud à la fois pour couvrir et communiquer les informations à une station de base.
- Le pourcentage de couverture est dans [85: 90], cela la justifié par dispersion initiale des noeuds de capteurs déployé pour la simulation est non uniforme à chaque fois.
- Le point faible du clustering à base de Diagramme de Delaunay est que le nombre de clusters est énorme, ce qui demande d'activation d'un grand nombre de noeuds de capteurs.

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons décrit notre implémentation ainsi que la description de notre simulateur : nous avons commencé par donner son objectif, ainsi que l'outil utilisé pour faire la simulation puis nous avons décrit le résultat obtenu par notre simulateur.

Conclusion Générale

Conclusions et Perspectives

Dans ce mémoire, un état de l'art sur la couverture dans les réseaux de capteurs sans fil, les nouvelles classifications proposées dans la littérature et notre classification le problème de la couverture.

L'étude du problème de couverture et la proposition des stratégies pertinentes participent avec une manière efficace à résoudre les problèmes de la connectivité et la consommation énergétique. En conséquence, garantir une couverture maximale a contribué dans l'augmentation de la durée de vie et améliorer la qualité de service du réseau de capteurs sans fil. Lorsque les nœuds de capteurs sont déployés aléatoirement, un réseau de capteurs est constitué autour de la zone d'intérêt, inaccessible par l'être humain, ou encore, par les appareils surtout sur les vastes zones. C'est-à-dire il est difficile voire impossible de remplacer les batteries des nœuds de capteurs épuisés alors la consommation d'énergie devient un problème fondamental. Du coup, la recherche des solutions pour remédier le problème de l'énergie est une nécessité. Ce défi a encouragé les chercheurs à développer des stratégies plus efficaces en termes de gestion de connectivité et de la consommation d'énergie, ..., alors la couverture est l'une des solutions constatées pour le réseau de capteurs sans fil (WSN).

Ce mémoire a proposé dans le premier lieu des nouvelles classifications du problème de couverture et propose une étude comparative entre deux types de stratégies de couverture dans les réseaux de capteurs sans fil. L'objectif derrière cette étude est de chercher des stratégies hybrides, utilisant des différentes techniques des domaines impliqués pour la couverture dans la littérature. Cette étude a contribué, d'une part pour assurer et améliorer la couverture de tout type de réseaux de capteurs, et d'autre part pour réduire la consommation d'énergie pour but augmenter la durée de vie du réseau de capteurs.

Cette état est valorisée par la proposition et l'acceptation de deux travaux de recherche (vous trouverez dans la fin de ce mémoires les certificats de présentations de ces deux conférences):

- Une dans la Première conférence nationale sur la recherche en informatique et ses applications, Relizane, présenté le 07/05/2023 [65].
- Une autre conférence dans 15ème conférence internationale sur les réseaux sans fil et mobiles (WiMoNe23), Computer Science & Information Technology (CS & IT), Sydney, présenté le 17/06/2023 (dblp) [10].
- Une version étendue est acceptée pour la publication dans le journal: International Journal of Computer Networks & Communications (IJCNC) (Scopus-Classe-B).

Dans la continuité de ce travail, nous allons tenu à étudier les aspects suivants afin d'améliorer les méthodes proposées:

- Appliquer les fondement théoriques de nos classifications proposés en prend en considération la consommation énergétique.
- Réaliser une étude comparative entre toutes types de couvertures proposées dans la littérature.
- Prendre en considération le changement temporel de la topologie du réseau entre statique et dynamiques, entre le déploiement déterministe et aléatoire, et entre les déférents domaines impliqués.
- Proposer des stratégies hybrides à base des modèles déterministes et incertaine, à base de déploiement déterministe et aléatoire, à base de topologies statiques et dynamiques et à base de noeuds de capteurs homogènes et hétérogènes, avec des caractéristiques certaines et incertaines.

Conclusion Générale

Conclusions et Perspectives

Dans ce mémoire, un état de l'art sur la couverture dans les réseaux de capteurs sans fil, les nouvelles classifications proposées dans la littérature et notre classification du problème de la couverture.

L'étude du problème de couverture et la proposition des stratégies pertinentes participent avec une manière efficace à résoudre les problèmes de la connectivité et la consommation énergétique. En conséquence, garantir une couverture maximale a contribué dans l'augmentation de la durée de vie et améliorer la qualité de service du réseau de capteurs sans fil. Lorsque les nœuds de capteurs sont déployés aléatoirement, un réseau de capteurs est constitué autour de la zone d'intérêt, inaccessible par l'être humain, ou encore, par les appareils surtout sur les vastes zones. C'est-à-dire il est difficile voire impossible de remplacer les batteries des nœuds de capteurs épuisés alors la consommation d'énergie devient un problème fondamental. Du coup, la recherche des solutions pour remédier le problème de l'énergie est une nécessité. Ce défi a encouragé les chercheurs à développer des stratégies plus efficaces en termes de gestion de connectivité et de la consommation d'énergie, . . . , alors la couverture est l'une des solutions constatées pour le réseau de capteurs sans fil (WSN).

Ce mémoire a proposé dans le premier lieu des nouvelles classifications du problème de couverture et propose une étude comparative entre deux types de stratégies de couverture dans les réseaux de capteurs sans fil. L'objectif derrière cette étude est de chercher des stratégies hybrides, utilisant des différentes techniques des domaines impliqués pour la couverture dans la littérature. Cette étude a contribué, d'une part pour assurer et améliorer la couverture de tout type de réseaux de capteurs, et d'autre part pour réduire la consommation d'énergie pour but augmenter la durée de vie du réseau de capteurs.

Cette état est valorisée par la proposition et l'acceptation de deux travaux de recherche (vous trouverez dans la fin de ce mémoires les certificats de présentations de ces deux conférences):

- Une dans la Première conférence nationale sur la recherche en informatique et ses applications, Relizane, présenté le 07/05/2023 [64].
- Une autre conférence dans 15^{ème} conférence internationale sur les réseaux sans fil et mobiles (WiMoNe23), Computer Science & Information Technology (CS & IT), Sydney, présenté le 17/06/2023 (dblp) [10].
- Une version étendue est acceptée pour la publication dans le journal: International Journal of Computer Networks & Communications (IJCNC) (Scopus-Classe-B).

Dans la continuité de ce travail , nous allons tenu à étudier les aspects suivants afin d'améliorer les méthodes proposées:

- Appliquer les fondement théoriques de nos classifications proposés en prend en considération la consommation énergétique.
- Réaliser une étude comparative entre toutes types de couvertures proposées dans la littérature.
- Prendre en considération le changement temporel de la topologie du réseau entre statique et dynamiques, entre le déploiement déterministe et aléatoire, et entre les déférents domaines impliqués.
- Proposer des stratégies hybrides à base des modèles déterministes et incertaine, à base de déploiement déterministe et aléatoire, à base de topologies statiques et dynamiques et à base de noeuds de capteurs homogènes et hétérogènes, avec des caractéristiques certaines et incertaines.

Annexe

Conférence 1

**First National Conference in Computer Science Research and its Application (RIA23),
Relizane, Algeria**



15th International Conference on Wireless & Mobile Networks (WiMoNe 2023)

PAPER PRESENTATION CERTIFICATE

JUNE 17 ~ 18, 2023

VENUE : SYDNEY, AUSTRALIA

THIS IS TO CERTIFY THAT MR./MS./DR. Adda Boualem,Djahida Taibi and Aroua Ammar FROM
..... **Ibn Khaldoun University, Algeria HAS**

PRESENTED PAPER TITLED **Linear and Non-Linear Barrier Coverage in Deterministic and**
..... **Uncertain Environment in WSNs: A New Classification**

AT CONFERENCE ORGANIZED DURING JUNE 17 ~ 18, 2023, SYDNEY, AUSTRALIA.



ACADEMY & INDUSTRY RESEARCH COLLABORATION CENTER, AIRCC.

GENERAL CHAIR / SESSION CHAIR, WIMONE 2023.

Conférence 2

15th International Conference on Wireless & Mobile Networks (WiMoNe 2023), Computer Science & Information Technology (CS & IT)



CERTIFICATE OF PARTICIPATION

Presented to

Boualem ADDA

For participation in online conference

First National Conference in Computer Science Research and its Applications RIA'23
to be held on May 10, 2023

Linear and Non-Linear Barrier Coverage in Deterministic and Uncertain
environment in WSNs: A New Classification

Co-authors: Djahida TAIBI, Ammar AROUA



A handwritten signature in blue ink.

Dr. Abdelkrim BOUADJEMI
Chairman of the Conference



LINEAR AND NON-LINEAR BARRIER COVERAGE IN DETERMINISTIC AND UNCERTAIN ENVIRONMENT IN WSNS: A NEW CLASSIFICATION

Adda Boualem, Djahida Taibi and Aroua Ammar

Department of Science Computing, Ibn Khaldoun University,
Tiaret, Algeria

ABSTRACT

This paper Various studies cited in the literature deal with the classic problem of obstacle coverage, where the deployment environment, sensor nodes, and base stations have characteristics that are considered perfect but suffer from various flaws in the real world. This paper presents other barrier coverage types ranked in a new classification based on linear and nonlinear barrier coverage according to deterministic and insecure environments, and enumerates some of the different current and future challenges of these coverage types and connectivity in WSNs.

KEYWORDS

WSN, Barrier Coverage, Deterministic and Uncertain Linear Barrier Coverage, Deterministic and Uncertain non-linear Barrier coverage, Connectivity, Current and Future Challenges.

1. INTRODUCTION

The Wireless Sensor Network (WSN) technology was born with the recent advances in wireless communication and electronics that have enabled the development of inexpensive, low-power, and versatile sensors that are small enough to operate over short distances communicate within. The real mode is merged by the different types of uncertainties, such as imprecision in measurement components, atmospheric phenomena, intrusion, animals, and natural phenomena such as volcano, rivers, industrial phenomena and others [1]. The unreliability of communication radios and reception radios, etc., affects the quality of service and decisions regarding real-world information [2].

This survey addresses the problems of Linear-based barrier coverage models and Non-Linear-based barrier coverage models. This purpose is to expand the wireless sensor network as much as possible to overcome the previous uncertainties and guarantee the quality of service. Thus, the aim is to ensure barrier coverage with a minimal number of connected node subsets, and dominant nodes and minimal cost, regardless of the type of deployment (random or deterministic).

This paper is structured as follow; Section 2 reviews the problems that influence the Wireless Sensor Networks, and show the relationship between these problems. Section 3 summarizes the different types of coverage proposed in the literature.

David C. Wyld et al. (Eds): CMLA, GRAPH-HOC, CIoT, DMSE, ArIT, WiMoNe, CSEIT – 2023
pp. 107-115, 2023. CS & IT - CSCP 2023

DOI: 10.5121/csit.2023.131009

Section 4 cites some related works in barrier coverage. It is subdivided into two main parts. The first part presents some deterministic and uncertain-based coverage strategies and show the drawbacks to open up avenues for research. The second part focused on the new barrier coverage classification (the linear and non-linear types barrier coverage in deterministic and uncertain environment in WSN, and quotes some linear and non-linear- bases coverage strategies and show the drawbacks to open up avenues for research. Section 5 describes the current challenges and future challenges of linear and non-linear coverage. Finally, Section 6 presents conclusions and future work.

2. PROBLEMS THAT IMPACT WIRELESS SENSOR NETWORKS

Implementing sensor networks poses many challenges for researchers to meet stringent constraints imposed by certain properties, including:

- Energy sources are very limited,
- An unattended and harsh deployment environment (the hostility of the environment),
- limited and unsecured radio links (unreliable communication),
- Changing network topologies (changing topologies of deployed sensor networks),
- Uncertain characteristics of either the deployment environment, or the components of the sensor nodes used,
- Heterogeneity of nodes and multi-hop communications, etc.

The most problems that affect the WSn are; Energy, Node Cost, Limited bandwidth, Deployment, Security, etc.

The Fig 1 cites the majority of known problems in the literature.

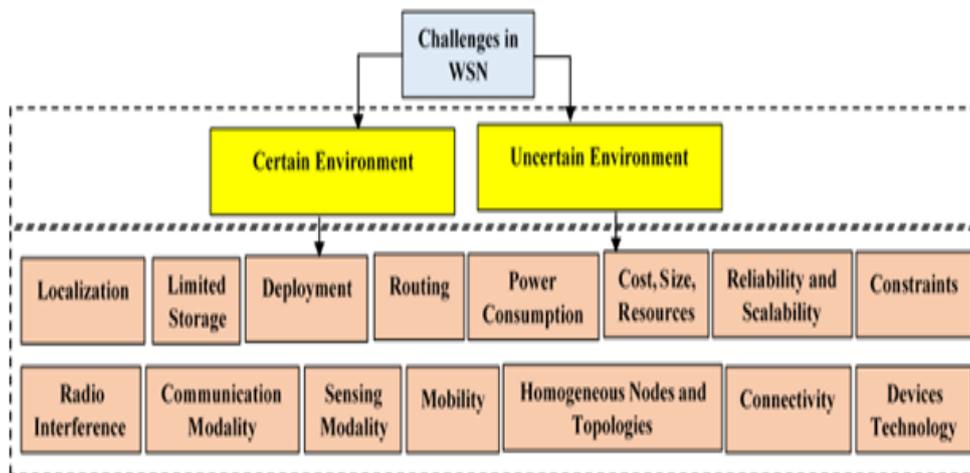


Figure 1. WSN Problems [3]

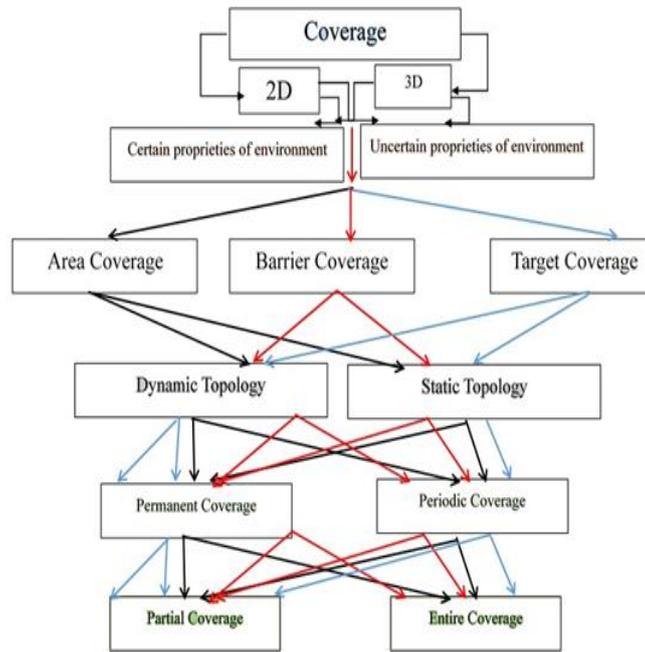


Figure 2. WSN Coverage Types [3]

3. COVERAGE TYPES

There is a range of types proposed in the literature, as illustrated in Figure. 2. The main types are:

- **Target coverage:** Target Coverage, also known as Point Coverage, is used to monitor specified targets in an AoI.

Fig. 3.(1) illustrates a target coverage scenario where six sensor nodes are deployed to monitor the five targets in the Area of interest (AoI). Where, target t_5 is covered by only one sensor node. The other targets; t_1 , t_2 , t_3 and t_4 are simultaneously covered by two sensor nodes. Target coverage reduces energy consumption because it monitors

Only specifies the position of the target within the AoI.

- **Area Coverage:** The area coverage, is to monitor the AoI by a minimal set of deployed sensor nodes in the area of interest (Figure.3.(3)).
- **Barrier Coverage:** The Barrier Coverage is to deploy a limited number of sensing nodes in area borders, for monitoring, and building a Barrier against intrusion (Figure 3.(2)).

A comparison between the different strategies used for k-barrier Coverage according to different classifications in Table 1 and Table 2.

4. NEW CLASSIFICATION OF BARRIER COVERAGE

The barrier coverage of a geographical area by a network of sensors focuses on the answers to the questions:

- How to cover a geographical area against all intrusion types with a minimal set of sensor nodes?
- How can coverage and connectivity be guaranteed for a maximum period for applicable objectives?

- How can coverage be guaranteed for a maximum period of time in uncertain environment?
- In which deterministic and uncertain positions should sensor nodes be placed or deployed to ensure maximum coverage of the area of interest?

In practice, barrier coverage is usually embodied in the answer to two basic questions [16] :

- How to evaluate barrier coverage performances rate, when sensor nodes are deployed in form of monitoring barriers?
- How to improve coverage performance when the active barriers is minimal?.

Many researchers are currently interested in developing solutions that address various needs [17], and have proposed divers classification such the classification illustrated in Figure. 4.

The Barrier Coverage aims to detect and to minimize the intrusion through the network (WSNs). Boulis [18] pointed out that the monitoring of WSN is based on the management of three factors: the energy level of each sensor node, the coverage area and the connection characteristics between nodes. [11]

Intrusion detection is one of the most important issues in WSNs, whose goal is to detect any intruder trying to enter the network. In fact, many security applications need to detect intruders, such as border protection, critical infrastructure protection and hazardous substance

monitoring. In WSNs, area coverage and barrier coverage [17] are proposed to achieve the objective of intruder detection. In this case, we proposed a new classification of barrier coverage types; (a) Linear barrier coverage, and (b) non-linear barrier coverage. In this case. Each type characterized by strong or weak barrier, in static or dynamic topology, depending on the need for permanent or periodic coverage of the application.

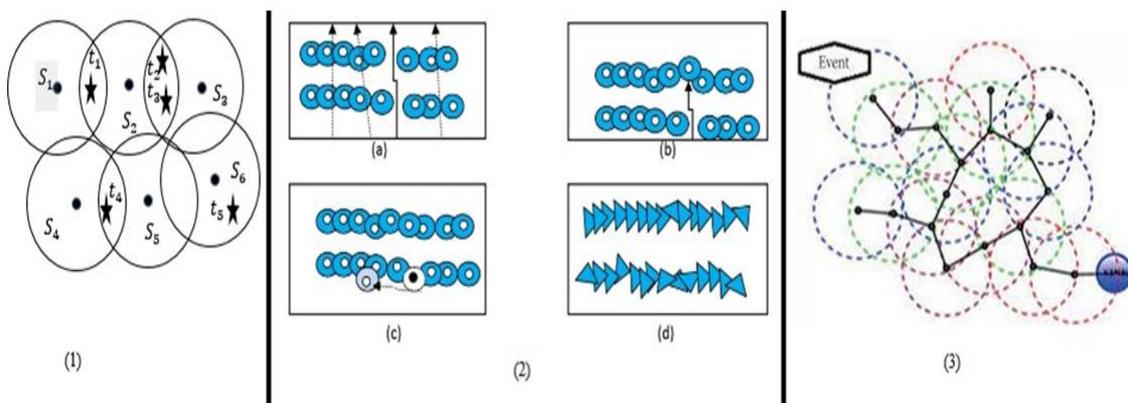


Figure 3. (1) Target Coverage: a network with 6 sensor nodes and 5 targets, (2) (a) Weak barrier coverage. (b) Strong barrier coverage. (c) Hybrid barrier coverage. (d) Barrier coverage in directional sensor networks, (3) WSN Area Coverage

Table 1. Comparative study between the different k-Barriers Coverage works according the Connectivity and k-barrier Type.

Ref/ No, Pub Year	Paper Highlight	Deployment Type	Sensor type	Connectivity	K-Barrier Type	Space
Hong Y, et al [4], 2022	Monitor intruders in high resolution and maximize network longevity	Deterministic deployment	Cameras	Connected barriers	Strong Barrier	3D
Zhanwei Yu [5], 2019	Minimizes hybrid access point (H-AP) power supply by jointly optimizing power/information transfer timing and H-AP transfer performance while meeting node throughput requirements.	Random deployment	Static	Connected nodes	Weak Barrier	2D
Ernest Bonnah et, al [6], 2020	Coverage maximization scheme, by using the exposure profile from the sensor node to the sink node to calculate the minimum exposure path	Random deployment	Static	Connected nodes	Strong Barrier	2D
Ernest B, et al [7], 2017	Linear Programming (LP) techniques and on-linear optimization problems in WSN	Random deployment	Static	Connected nodes	Non-Linear Barriers	2D
Kaiye G, et al [8], 2021	Minimizing the cost of the entire system while meeting pre-specified requirements on the expected signal coverage and system reliability.	Random deployment	Mobile	Connected nodes	Linear Barrier	2D
Hong Y, et al [4], 2022	monitoring the intruder with high resolution and maximizing the network lifetime	Deterministic deployment	Cameras	Connected barriers	Strong Barrier	3D
Zhan wei Yu [5], 2019	Minimize hybrid access point (H-AP) energy provision via jointly optimizing the time allocation of energy/ information transmissions and H-AP's transmission power while satisfying node throughput requirement.	Random deployment	Static	Connected nodes	Weak Barrier	2D

Table 2. Comparative study between the different k-Barriers Coverage works according k-barrier Type and strategy objective

Ref/No, Pub Year	Paper Highlight	K-Barrier Type	Strategy/ Objectives
A. Boualem, et al [9], 2017	Probabilistic interference and Truth-Table model for Strong K-Barrier Coverage	Strong Barrier	Sensing model
Xing-Gang Fan, et al [10], 2020	An Efficient Scheme for Mobile Nodes to Join Barriers One by One to Form Strong Barrier Coverage	Strong barrier	Sensor mobility
Ernest Bonnah, et al [11], 2020	The coverage maximization scheme uses the exposure profile of the sensor nodes from the sink node to calculate the minimum exposure path	Strong Barrier	Coverage intensity
Xiaoyang L, et al [12], 2018	Genetic algorithm of route planning of WSN	Weak Barrier	Node localization method
A. Boualem, et al [9], 2017	Probabilistic interference and Truth-Table model for Strong K-Barrier Coverage	Strong Barrier	Sensing model

5. CURRENT AND FUTURE CHALLENGES BARRIER COVERAGE PROBLEM

In many cases, inconsistent detection requirements must be considered when using WSNs, depending on the size or sensitivity of the surveillance area. For example, high detection accuracy is required for sensitive areas, and low detection accuracy is required for smaller areas. Atmospheric event influences shaping the physical environment Location, communication strength and monitoring of sensor nodes in the network. This reality makes it necessary to consider the nature of uncertainty. Many proposed works in literature consists of introducing fuzziness in the process of scheduling sensor nodes in WSNs for several purposes. The following types of uncertainty are present in WSNs:

- Uncertainty in radio communication links. Communication performance increases with spatial distance. Mobility, power, performance, and connectivity are constraints that prevent network sensor nodes from communicating when deployed in a three-dimensional (3D) environment.
- Uncertainty in the testing process. Environmental disturbances, angles, nonlinear distances, noise, sensor types, and other factors will bring uncertainty to the detection process of sensor networks.
- Detection uncertainty in data collection. When sensors are deployed in harsh environments, various factors can affect the quality of the collected or captured data, such as degradation (wind, terrain, animals, etc.).

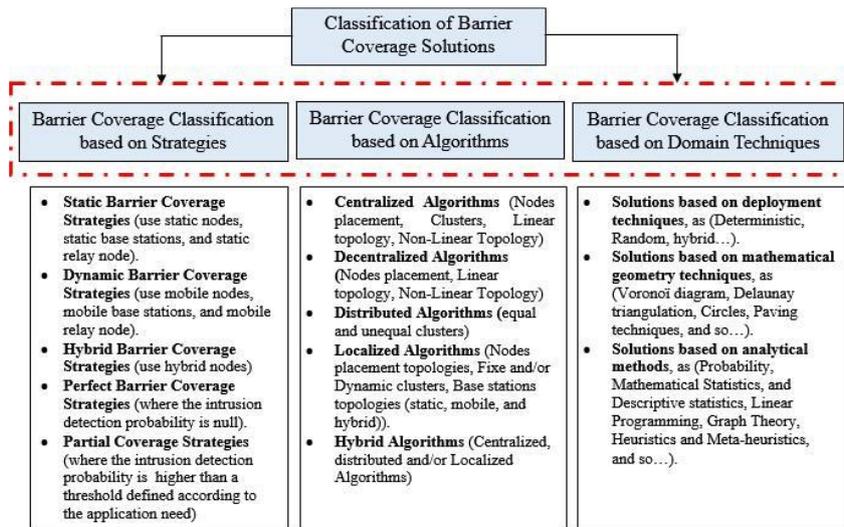


Figure 4. Our WSN Barrier Coverage

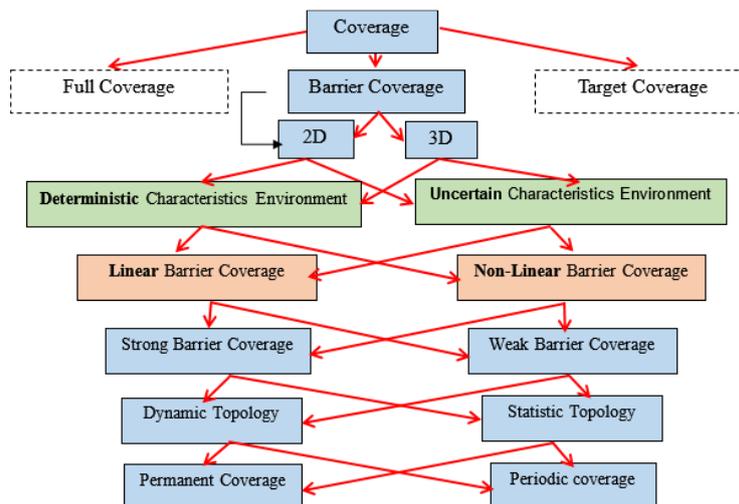


Figure 5. The New WSN Barrier Coverage

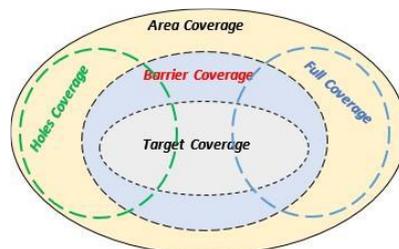


Figure 6. The New WSN Coverage Types

6. CONCLUSION

Several classifications focus on proposed solutions to ensure 1-barrier coverage and/or K-barrier in WSNs. In this paper, we divide barrier coverage into two axes; (a) deterministic-based barrier

coverage model, (b) uncertain- based barrier coverage model. In each model, we classify barrier coverage according to deterministic and uncertain 2D and 3D environments. Depending on the application's need for continuous or intermittent coverage, we classify (1) linear and (2) nonlinear barrier coverage into strong and weak barriers in static or dynamic topologies. The gap between existing work and practical application needs to be considered in future research to address current and future needs, such as: Boolean barrier coverage, probabilistic barrier coverage, and fuzzy barrier coverage. Based on the requirements for monitoring the occurrence, importance and hazards of phenomena. In this paper, we mainly answer the following questions: "what new types of barrier coverage have emerged, how to deal with the problem of coverage of hazardous area boundaries and borders, what is the proposed solution for this, what are Current and future of this sacred task What were the challenges and, what deployment topologies were used...".

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank everyone, just everyone!

REFERENCES

- [1] A. Boualem, "Stratégies d'amélioration de la couverture dans les réseaux de capteurs sans fil," Thèse de doctorat en Informatique, école supérieur d'informatique, ESI, Alger, Algérie, 2021.
- [2] K. Youngjoon, L. Byeongho, S. Hyoungmin, and K. S.-C. Ki, "Localization technique considering position uncertainty of reference nodes in wireless sensor networks," *IEEE Sensors Journal*, vol. 18, pp. 1324–1332, 2018.
- [3] A. Boualem, C. D. Runz, and M. Ayaida, "Partial paving strategy: Application to optimize the area coverage problem in mobile wireless sensor networks," *Journal of Wireless Mobile Networks, Ubiquitous Computing, and Dependable Applications (JoWUA)*, vol. 13, no. 2, pp. 1–22, Jun 2022.
- [4] S. Dobrev, S. Durocher, Mohsen Eftekhari, K. Georgiou, E. Kranakis, D. Krizanc, L. Narayanan, J. Opatrny, S. Shende, and J. Urrutia, "Complexity of barrier coverage with relocatable sensors in the plane," *Theoretical Computer Science*, vol. 579, pp. 64–73, 2015.
- [5] Z. Yu, K. Chi, P. Hu, Y. hua Zhu, and X. Liu, "Energy provision minimization in wireless powered communication networks with node throughput requirement," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 68, no. 7, pp. 7057–7070, 2019.
- [6] E. Bonnah, S. Ju, and W. Cai, "Coverage maximization in wire- less sensor networks using minimal exposure path and particle swarm optimization," *Sensing and Imaging*, vol. 21, no. 4, 2020.
- [7] R. Asorey-Cacheda, A.-J. Garcia-Sanchez, F. Garcia-Sanchez, and J. Garcia-Haro, "A survey on non-linear optimization problems in wireless sensor networks," *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 82, pp. 1–20, 2017.
- [8] K. Gao, R. Peng, L. Qu, L. Xing, S. Wang, and D. Wu, "Linear system design with application in wireless sensor networks," *Journal of Industrial Information Integration*, vol. 27, no. 2, pp. 1–14, 2021.
- [9] A. Boualem, Y. Dahmani, and A. Maatoug, "Energetic sleep- scheduling via probabilistic interference k-barrier coverage with truth-table technique in sensor network," in *International Conference on Mathematics and information Technology*. Adrar, Algeria: IEEE, December 4-5 2017, pp. 255–262.
- [10] X.-G. Fan, Member, CCF, Z.-C. Che, F.-D. Hu, T. Liu, J.-S. Xu, , and X.-L. Zhou, "Deploy efficiency driven k-barrier construction scheme based on target circle in directional sensor network," *Journal of Computer science and Technology*, vol. 35, no. 3, pp. 647–664, 2020.
- [11] X. Fan, Q. Chen, Z. Che, and X. Hao, "Energy-efficient probabilistic barrier construction in directional sensor networks," *Sensors Journal*, vol. 17, no. 3, pp. 897–908, 2017.
- [12] X. Liu, Y. Luo, C. Liu, and H. Liu, "Non-linear modelling and analysis of wsn node localization method," *International Journal of Wireless & Mobile Networks (IJWMN)*, vol. 10, p. 1, February 2018.
- [13] A. hen, S. Kumar, and T. H. Lai, "Designing localized algorithms for barrier coverage," in *Proceedings of the 13 Annual ACM International Conference on Mobile Computing and Networking*, ser. *MobiCom '07*, NY, USA: ACM, 2007, pp. 63–74.

- [14] J. Luo and S. Zou, "Strong k-barrier coverage for one-way intruders detection in wireless sensor networks," *International Journal of Distributed Sensor Networks*, vol. 16, pp. 1–16, 2016.
- [15] A. Boulis and S. Jha, "Network management in new realms: wireless sensor networks," *International Journal of Network Management*, vol. 15, no. 4, pp. 219–221, 2005.

AUTHORS

Adda Boualem is Associate Professor, Djahida Taibi and Aroua Ammarare Master's students in Department of Computer Science at University of Tiaret, Algeria.



Publication

International Journal of Computer Networks & Communications (IJCNC)

AIRCC Publishing Corporation

Copyright Form

Journal Name: International Journal of Computer Networks & Communications (IJCNC)

Editor in Chief: Natarajan Meghanathan, Jackson State University, USA

Volume Editor(s): _____

Title of the paper: Linear and Non-Linear Barrier Coverage in Deterministic and Uncertain environment in WSNs: A New Classifications and Survey

Corresponding author's information (please print):

Name: Adda Boualem and Djahida Taibi and Aroua Ammar

Address: Ibn Khaldoun University, Tiaret, Algeria

It is herein agreed that:

The copyright to the contribution identified above is transferred to AIRCC Publishing Corporation (AIRCC Publishing Corporation , <http://www.airccse.org>). This copyright transfer covers the exclusive right to reproduce and distribute the contribution, including reprints, translations, photographic reproductions, microform, electronic form (offline, online), or any other reproductions of similar nature.

The Author may not publish his/her contribution anywhere else without the prior written permission of the publisher unless it has been changed substantially. The Author warrants that his/her contribution is original, except for such excerpts from copyrighted works as may be included with the permission of the copyright holder and author thereof, that it contains no libelous statements, and does not infringe on any copyright, trademark, patent, statutory right, or propriety right of others. The Author signs for and accepts responsibility for releasing this material on behalf of any and all coauthors.

In return for these rights:

AIRCC Publishing Corporation agrees to publish the identified contribution at his own cost and expense. The Authors are entitled to purchase for their personal use Journals published by AIRCC Publishing Corporation with a discount of 50 % off the price. Resale of such copies is not permitted. The undersigned hereby gives permission to AIRCC Publishing Corporation to publish the above contribution to the above Journal.

Author's Signature:

Date: 22/06/2023



Bibliographie

- [1] W. Abdallah, "La résolution du déploiement d'objets connectés sans fil à l'intérieur en utilisant un schéma hybride entre les méthodes géométriques de déploiement et les algorithmes d'optimisation distribués," Thèse de Doctorat, Institut de Recherche en Informatique de Toulouse, 13 Juillet 2022.
- [2] S. M. Amal, "Etude du rssi pour l'estimation de la distance dans les reseaux de capteurs sans fil," Mémoire de Master, Université Abou Bakr Belkaid, Tlemcen, 2016-2017.
- [3] Z. nada, "Optimisation de capteurs intelligent pour l'éclairage," Mémoire de Master, Université Badji Mokhtar, Annaba, 2020-2021.
- [4] A. Boualem, C. de Runz, and M. Ayaida, "Area Coverage Strategy in IoT Networks Based on Redeployment, Descriptive Statistics, Correlation and Regression Parameters," *SN Computer Science*, vol. 3, no. 5, p. 343, Sep. 2022. [Online]. Available: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03699028>
- [5] A. Boualem, "Stratégies d'amélioration de la couverture dans les réseaux de capteurs sans fil," Thèse de Doctorat, Ecole supérieur d'informatique (ESI). Alger, 13 Janvier 2021.
- [6] H. Ruisong, Y. Wei, and Z. Li, "Achieving crossed strong barrier coverage in wireless sensor network," *Sensors*, vol. 18, no. 3, pp. 1–17, 2018.
- [7] S. Kundu and N. Das, "A study on boundary detection in wireless sensor network," *Innovations in Systems and Software Engineering*, 28 September 2022.
- [8] A. Boualem, H. B. Douma, and S. dine Mehloul, "Deterministic and uncertainty-based coverage classification models in wsns: A survey," in *6th International Conference on Artificial Intelligence in Renewable Energetic Systems*, 2022, p. 1–6.
- [9] A. Boualem, C. D. Runz, M. Ayaida, and H. Akdag, "A fuzzy/possibility approach for area coverage in wireless sensor networks," *Soft Computing*, may 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007%2Fs00500-023-08406-3>
- [10] A. Boualem, A. Aroua, and D. Taibi, "Linear and non-linear barrier coverage in deterministic and uncertain environment in wsns: A new classification," in *15th International Conference on Wireless & Mobile Networks (WiMoNe 2023), Computer Science & Information Technology (CS & IT)*, vol. 13, no. 10, Sydney, Australia, June 17-18 2023, pp. 107–115. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2306.12355>

- [11] A. Boualem, H. Boumediene, and S. dine Mehloul, "Deterministic and uncertainty-based coverage classification models in wsns: A survey," in *6th International Conference on Artificial Intelligence in Renewable Energetic Systems (C-AIRES2022)*, no. 6, Tamenrasset, Algeria, November, 20-22 2022, pp. 1-7.
- [12] M. Takoia and B. Saliha, "Etude comparative de deux simulateurs pour les réseaux adhoc sans fil," Mémoire de Master, Les Facultés et Institut de l'Université Kasdi Merbah Ouargla, 2018.
- [13] M. Badet and W. bonneau, "Réseaux de capteurs : Mise en place d'une plateforme de test et d'experimentation," Mémoire de Master, Université de Franche, 2005/2006.
- [14] H. mouna and R. Rania, "Optimisation de déploiement et de localisation de cible dans les réseaux de capteurs sans fil," Mémoire de Master, Université Akli Mohand Oulhadj, Bouira, 2018-2019.
- [15] I. louiza, "Système de détection d'intrusion hybride et hiérarchique pour les réseaux de capteurs sans fil," Mémoire de Master, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, 2011-2012.
- [16] L. Erişkin, "Point coverage with heterogeneous sensor networks: A robust optimization approach under target location uncertainty," *Computer Networks*, 2021.
- [17] M. Farsi, M. A. Elhosseini, M. Badawy, H. A. Ali, and H. Z. Eldin, "Deployment techniques in wireless sensor networks, coverage and connectivity: A survey," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 7, no. 7, pp. 28 940-28 954, 2019.
- [18] Y. Chen, X. Xu, and Y. Wang, "Wireless sensor network energy efficient coverage method based on intelligent optimization algorithm," *Discrete and Continuous Dynamical Systems*, vol. 12, no. 4& 5, pp. 887-900, September 2019.
- [19] D. Dione, T. C. Mbainaissem, and P. P. Ndekou, "Optimizing lifetime of a wireless sensor network covering moving targets," *SN Applied Sciences*, vol. 4, pp. 1-12, June, 03 2022.
- [20] D. Liang, H. Shen, and L. Chen, "Optimizing lifetime of a wireless sensor network covering moving targets," *Sensors MDP*, vol. 21, pp. 1-13, 29 December 2020.
- [21] M. R. Mufti, A. Awan, H. Afzal, T. S. Malik, and H. B. Gillg, "An efficient algorithm to enhance nonoverlapping coverage area with less energy consumption in wsn," *Hindawi, Wireless Communications and Mobile Computing*, vol. 2022, pp. 1-12, 2022.
- [22] D. Liang, H. Shen, and L. Chen, "Junaid akram and hafiz suliman munawar and abbas z. kouzani and m a parvez mahmud," *Sensors MDP*, vol. 22, pp. 1-23, 30 January 2022. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/journal/sensors>

- [23] X. Fan, Q. Chen, Z. Che, and X. Hao, "Cenergy-efficient probabilistic barrier construction in directional sensor networks," *Sensors Journal*, vol. 17, no. 3, pp. 897–908, 2017.
- [24] A. Boualem, Y. Dahmani, and A. Maatoug, "Energetic sleep- scheduling via probabilistic interference k-barrier coverage with truth-table technique in sensor network," in *International Conference on Mathematics and information Technology*. Adrar, Algeria: IEEE, December 4-5 2017, pp. 255–262.
- [25] X.-G. Fan, Member, CCF, Z.-C. Che, F.-D. Hu, T. Liu, J.-S. Xu, , and X.-L. Zhou, "Deploy efficiency driven k-barrier construction scheme based on target circle in directional sensor network," *Journal of Computer Science and Technology*, vol. 35, no. 3, pp. 647–664, 2020.
- [26] K. K. Chi, Y. H. Zhu, and Y. L. et al, "Minimization of transmission completion time in wireless powered communication networks," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 4, no. 5, pp. 1671–1683, 2017.
- [27] X.-G. Fan, Z.-C. Che, F.-D. Hu, T. Liu, J.-S. Xu, and X.-L. Zhou, "Deploy efficiency driven k-barrier construction scheme based on target circle in directional sensor network," *Journal of Computer Science and Technology*, vol. 35, no. 3, pp. 647–664, may 2020. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007%2Fs11390-020-9210-5>
- [28] X. Zhang, Y. Zhou, Q. Zhang, V. C. S. Lee, and M. Li, "Problem specific moea/d model for barrier coverage with wireless sensors," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 47, no. 11, pp. 3854–3865, 2017.
- [29] X. Liu, Y. Luo, C. Liu, and H. Liu, "Nonlinear modeling and analysis of WSN node localization method," *International Journal of Wireless & mathsemicolon Mobile Networks*, vol. 10, no. 1, pp. 61–73, feb 2018. [Online]. Available: <https://doi.org/10.5121%2Fijwmmn.2018.10106>
- [30] A. Tripathi, H. P. Gupta, T. Dutta, R. Mishra, K. K. Shukla, and S. Jit, "Coverage and connectivity in wsns: A survey, research issues and challenges," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 6, pp. 26 971–26 992, 2018.
- [31] G. Xing, S. Wang, Y. Zhang, C. Lu, R. Pless, and C. Gill, "Integrated coverage and connectivity configuration for energy conservation in sensor networks," *ACM Transactions on Sensor Networks*, 2005.
- [32] H. Zhang and J. C. Hou, "Maintaining sensing coverage and connectivity in large sensor networkss," *Ad Hoc and Sensor Wireless Networks journal (AHSWN)*, 2005.
- [33] Z. Wang, L. Tian, W. Wu, L. Lin, and Z. L. andYinghua Tong, "A metaheuristic algorithm for coverage enhancement of wireless sensor networks," *Wireless Communications and Mobile Computing*, vol. 1, pp. 1–23, May 2022.
- [34] Y. Wang, S. Wu, Z. Chen, X. Gao, and G. Chen, "Coverage problem with uncertain properties in wireless sensor networks: A survey," *Computer Networks*, vol. 123, pp. 1–44, 2017.

- [35] N. A. Ab, A. Kamarulzaman, and W. Z. W. Ismail, "Coverage strategies for wireless sensor networks," *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 2009.
- [36] S. Jamali and M. Hatami, "Coverage aware scheduling in wireless sensor networks: An optimal placement approach," *Wireless Pers Commun*, pp. 1–11, 2015.
- [37] M. E. Khanouche, "Le traitement du problème de la couverture dans les réseaux de capteur sans fil," *Mémoire de Magistère, Université Abderrahmane Mira ,Bejaia*, 2007-2008.
- [38] B. A. Seddik, "La couverture dans les réseaux de capteurs sans fil," *Mémoire de Master, Université Abderrahmane Mira, Bejaia*, 2016-2017.
- [39] A. More and V. Raisinghani, "Discharge curve backoff sleep protocol for energy efficient coverage in wireless sensor networks," in *3rd International Conference on Recent Trends in Computing*, 2015, p. 1–9.
- [40] R. Elhabyan, W. Shi, and M. St-Hilaire, "Coverage protocols for wireless sensor networks: Review and future directions," *Communication and Networks*, 2019.
- [41] A. Boualem, C. D. Runz, and M. Ayaida, "An evidential approach for area coverage in mobile wireless sensor networks," *International Journal of Fuzzy System Applications (IJFSA)*, vol. 10, no. 3, pp. 121–133, March 2021.
- [42] P. Ahlawat and M. Dave, "Deployment based attack resistant key distribution with non overlapping key pools in wsn," *International Journal of Wireless Personal Communications*, vol. 99, no. 4, 2018.
- [43] A. M. Aski, H. Haj, S. Javadi, and G. H. Shirdel, "A full connectable and high scalable key pre distribution scheme based on combinatorial designs for esource constrained devices in iot network," *Wireless Personal Communications*, vol. 114, no. 11, 2020.
- [44] D. S. Evangelos, S. YANG, and K. M. Dimitrios, "Game-theoretic optimal power-link quality topology control in wireless sensor networks," *Sensors & Transducers*, vol. 112, no. 5, pp. 1–14, 2017.
- [45] A. Boualem, M. Ayaida, and C. D. Runz, "Hybrid model approach for wireless sensor networks coverage improvement," in *8th International Conference on Wireless Networks and Mobile Communications (WINCOM2020)*. Reims, France: IEEE, October 27-28 2020, pp. 1–6.
- [46] A. Boualem, Y. Dahmani, M. Ayaida, and C. D. Runz, "A new fuzzy/evidential approach to address the area coverage problem in mobile wireless sensor networks," in *The 34th ACM/SIGAPP Symposium on Applied Computing (SAC'19)*, Limassol, Cyprus. ACM, New York, NY, USA, April 8–12 2019, pp. 2430–2433.
- [47] A. Boualem, M. Ayaida, Y. Dahmani, C. D. Runz, and A. Maatoug, "A new dijkstra front-back algorithm for data routing-scheduling via efficient-energy area coverage in wireless sensor network," in *15th*

International Wireless Communications & Mobile Computing Conference, Tangier, Morocco, 24-28 June 2019.

- [48] A. Boualem, Y. Dahmani, C. D. Runz, and M. Ayaida, "Spiderweb strategy: application for area coverage with mobile sensor nodes in 3d wireless sensor network," *International Journal of Sensor Networks (IJSNet)*, vol. 29, no. 2, pp. 121–133, February 2019.
- [49] I. Alablani and M. Alenazi, "Gedtd-sc: An iot sensor deployment strategy for smart cities," *Sensors*, vol. 20, pp. 1–20, 2020.
- [50] N. Nasri, S. Mnasri, and T. Val, "3d node deployment strategies prediction in wireless sensors network," *International Journal of Electronics*, vol. 20, no. 1420, pp. 1–27, 2019.
- [51] Z. Liu and Z. Ouyang, "k-coverage estimation problem in heterogeneous camera sensor networks with boundary deployment," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 2825–2833, 2018.
- [52] C. Wu and L. Wang, "On efficient deployment of wireless sensors for coverage and connectivity in constrained 3d space," *Sensors*, vol. 17, pp. 1–26, 2017.
- [53] G. Dogan and T. Brown, "Uncertainty modeling in wireless sensor networks," 2017, paper presented at BDIOT2017 December 20–22, 2017, London, United Kingdom, ACM.
- [54] A. Boualem, C. De Runz, and M. Ayaida, "Partial paving strategy: Application to optimize the area coverage problem in mobile wireless sensor networks," *Journal of Wireless Mobile Networks, Ubiquitous Computing, and Dependable Applications (JoWUA)*, vol. 13, no. 2, pp. 1–22, Jun 2022.
- [55] C. Liu and L. Guo, "Mmscm: A multiple mobile sinks coverage maximization based hierarchical routing protocol for mobile wireless sensor networks," *IET Communications*, p. 1–15, 3, April 2023.
- [56] S. Mnasri, N. Nasri, and T. Val, "The deployment in the wireless sensor networks: Methodologies, recent works and applications," in *International Journal Of Engineering Research and Technology (IJERT)*, 2014, p. 1–7.
- [57] N. Saadia, A. Bounceur, R. Euler, M. Lounis, M. Bezouie, M. Kerkar, and B. Pottier, "Maximum lifetime target coverage in wireless sensor networks," *Wireless Personal Communications*, pp. 1525–1543, 2020.
- [58] I. Boussaïd, "Perfectionnement de méta-heuristiques pour l'optimisation continue," Thèse de Doctorat, Université Des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, 29 Juin 2013.
- [59] A. GallaisJean, C. David, Simplot-RylDavid, and S. Ivan, "Ensuring area k-coverage in wireless sensor networks with realistic physical layers," in *5th IEEE Conference on Sensors - Daegu*, 22-25 Octobre 2006, p. 880–8835.

- [60] Z. Zarei and M. Bag-Mohammadi, "Coverage improvement using voronoi diagrams in directional sensor networks," *IET Wireless Sensor Systems*, vol. 11, no. 3, pp. 111–119, mar 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1049%2Fwss2.12015>
- [61] C.-H. Wu, K.-C. Lee, and Y.-C. Chung, "A delaunay triangulation based method for wireless sensor network deployment," *Computer Communications*, vol. 9, no. 30, p. 2744–2752, 2007.
- [62] Y. Samira¹, "La couche mac avec contraintes d'énergie et d'équité dans les réseaux de capteurs," Thèse de Doctorat, Université Abderrahmane Mira de Béjaia, 29 Juin 2006.
- [63] Y. Samira, "La couche mac avec contraintes d'énergie et d'équité dans les réseaux de capteurs," thesis, Université Abderrahmane Mira de Béjaia, 2006.
- [64] A. Boualem, D. Taibi, and A. Aroua, "Linear and non-linear barrier coverage in deterministic and uncertain environment in wsns: A new classification," in *First National Conference in Computer Science Research and its Applications (RIA'23)*, Relizane, Algeria, May 05 2023, pp. 1–5. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/371559373_Linear_and_Non-Linear_Barrier_Coverage_in_WSNs_A_New_Classification