



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 :

**Sanaa BOUCHAMA & Bochra KHELIL**

Sur le thème

---

## Étude Comparative de deux Types de Stratégies de Couverture de Cible dans les Réseaux de Capteurs sans Fil

---

Soutenu publiquement le 12/ 06 / 2024 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
Mme KERMASS	Nawel	Grade MCB	Université Ibn Khaldoun	Examinateur

2023 -2024



## 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 tiendrons à remercier tout d'abord notre encadreur de recherches, Dr: Adda BOUALEM, pour sa patience, et surtout pour sa confiance, ses remarques et ses conseils, sa disponibilité et sa bienveillance*

*Nous tenons également remercier les membres du jury pour avoir accepté d'évaluer ce travail et pour toutes leurs remarques et critiques,*

*nous tiendrons à remercier toutes les personnes qui m'ont aidé lors de la*



## DÉDICACES

*Louange à Dieu pour mon succès, Enfin j'ai  
terminé ma vie universitaire, et je dédie ce mémoire*

♣ *A ma mère*

*Ma baume Vie ce qui m'ont ouvert la voie de succès*

♣ *A mon père*

*Celui qui a de la sagesse et la largeur de pensée*

*Je prie Dieu de vous protéger tous les deux*

*Et vous accorde bien-être et bonheur*

♣ *A mes sœurs qui m'ont encouragé et aidé*

♣ *A mes frères qui m'ont soutenu*

♣ *A mon binôme Bochra pour sa effort et patience*

♣ *A toute ma famille et mes amis*



## **DÉDICACE**

*Tout d'abord, je tiens à remercier DIEU  
De m'avoir donné la force et le courage de mener  
à bien ce modeste travail.*

*Je tiens à dédier cet humble travail à :*

*À mes chers parents,*

*merci pour votre soutien constant et vos sacrifices qui ont rendu  
ma réussite possible.*

*À toute ma famille,*

*mes sœurs chères et mes frères,*

*en reconnaissance de leur soutien indéfectible tout au long  
de mes études. Merci pour tout.*

*A mon binôme SANAA,*

*pour son aide précieuse dans la réalisation de ce projet.*

*A toutes les personnes qui m'aiment ,*

*Ma chère sœur Souad,*

***Bohra***

## Résumé

Dans ce mémoire de fin d'études, nous avons présenté une classification des types de couvertures, en nous concentrant particulièrement sur la couverture des cibles. Notre étude a offert un état de l'art des différentes stratégies et techniques utilisées pour résoudre le problème de couverture dans les réseaux de capteurs, mettant en évidence l'utilisation du clustering comme stratégie clé pour aborder ce problème spécifique.

Nous avons démontré l'efficacité du clustering à l'aide de MATLAB, en comparant une stratégie de couverture basée sur le clustering à une autre basée sur des probabilités pour la couverture des cibles. Nos résultats ont été analysés et comparés, menant à des conclusions solides et à des perspectives de recherche pour des travaux futurs.

**Mots-clés :** Réseaux de capteurs sans fil, Couverture de cible, Clustering, Classification

**Abstract** In this work, we presented a classification of coverage types, with a particular focus on target coverage. Our study provided a state-of-the-art review of various strategies and techniques used to address the coverage problem in sensor networks, highlighting the use of clustering as a key strategy for tackling this specific issue.

We demonstrated the effectiveness of clustering using MATLAB, comparing a clustering-based coverage strategy with a probability-based one for target coverage. Our results were analyzed and compared, leading to solid conclusions and future research perspectives.

**Keywords:** Wireless sensor networks, Target Coverage, Clustering, Classification

الملخص في مشروع مذكرة التخرج هذه، ركزنا على مشكلة تغطية الأهداف في شبكات أجهزة الاستشعار اللاسلكية وعلى المشاكل التي قد تؤثر على هذه الشبكات وركزنا بشكل خاص على تغطية الأهداف. يتضمن مشروعنا مراجعة شاملة للأساليب والتقنيات المختلفة المستخدمة، مع التركيز بشكل خاص على استخدام تقنية التجميع لحل هذه المشكلة الخاصة. قمنا بإظهار كفاءة تقنية التجميع لهذا النوع من المشاكل باستخدام برنامج ماطلاب، وفي الختام قدمنا مقارنات، واستنتاجات، وبعض التوجيهات لهذا العمل.

**الكلمات المفتاحية :** شبكات الاستشعار اللاسلكية، تغطية الهدف، التجميع، التصنيف

# Liste de Figures

1.1	Classification des réseaux de capteurs sans fil . . . . .	6
1.2	Réseau Ad-Hoc 1.2. . . . .	7
1.3	Architecture d'un nœud de capteur [1] . . . . .	8
1.4	Classification des RCSF à base type de communication (1 ou n Saut). . . . .	11
2.1	Les domaines d'utilisation de la couverture de cible [2] . . . . .	14
2.2	Plan de l'état de l'art . . . . .	15
2.3	Classification Classique des modèles de Couverture dans RCSF [3] . . . . .	22
2.4	Classification de la Couverture K-Barrières dans RCSF [3] . . . . .	23
2.5	Classification de types de Couverture dans RCSF [4] . . . . .	24
2.6	Classification de la Couverture de Cible dans le RCSF [5] . . . . .	25
3.1	Étape 1:Initialisation des paramètres de simulation . . . . .	33
3.2	ajustement des positions initiales . . . . .	33
3.3	Formation de Clusters . . . . .	33
3.4	Sélection des Clusters-Heads . . . . .	34
3.5	Ajustement du déploiement initiale . . . . .	34
3.6	Calcule du pourcentage de la couverture de cible initiale . . . . .	35
3.7	Simulation des Déplacements des Cibles . . . . .	35
3.8	Simulation des Déplacements des Cibles . . . . .	35
3.9	Quelque fonctions de simulation . . . . .	36
3.10	Paramètres de simulation . . . . .	38
3.11	Calcul des positions initiales des noeuds de capteurs et des cibles . . . . .	38
3.12	Déploiement des capteurs et des cibles . . . . .	39
3.13	Les Rayons $R_c$ de couverture . . . . .	39
3.14	L'ajout d'éléments graphiques et l'affichage . . . . .	39
3.15	Calcule de la couverture initiale . . . . .	40
3.16	Les Paramètres de la simulation . . . . .	40
3.17	La Fonctions "iscovered" . . . . .	41
3.18	La fonction calculateCoverageProbability . . . . .	41
4.1	Le Simulateur MATLAB. . . . .	46
4.2	L'interface Graphique du MATLAB . . . . .	47
4.3	Fenêtre "A propos" de Notre Application de Simulation . . . . .	47
4.4	L'interface de la simulation . . . . .	48
4.5	Fenêtre montrant la simulation à base de clustering à l'étape finale (100). . . . .	48
4.6	Fenêtre montrant la simulation à base de probabilités à l'étape finale (100) . . . . .	49
4.7	Le pourcentage de couverture des deux stratégies en fonction des étapes de simulations . . . . .	50

# Liste des Tableaux

2.1	Quelques travaux récents sur la couverture de différents K-Cibles	28
2.2	Étude comparative des différents travaux de couverture K-Cible selon la couverture, la connectivité et l'efficacité énergétique	29
3.1	Les fonctions utilisées . . . . .	42
4.1	Comparaison entre les protocoles de couverture de cible basés sur probabilités et basés sur clustering . . . . .	51

# Sommaire

<b>Introduction générale</b>	<b>2</b>
<b>1 Généralités sur les réseaux de capteurs sans fil</b>	<b>5</b>
1.1 Introduction	5
1.2 Les Réseaux sans fil	5
1.2.1 Définition	5
1.2.2 Les catégories des réseaux sans fils :	5
1.2.2.1 Selon la zone de déploiement et de couverture:	6
1.2.2.2 Selon l'infrastructure:	7
1.3 Définition d'un Noeud de capteur	7
1.4 L'architecture d'un nœud de capteur	8
1.5 Caractéristiques principales d'un Noeud de capteur:	9
1.6 Définition d'un réseau de capteurs sans fil	9
1.6.1 Les contraintes liées aux réseaux de capteurs:	9
1.6.2 Les mécanismes employés dans les Réseaux de Capteurs sans Fil (RCSF):	10
1.6.3 Classification des Réseaux de capteurs sans fil (RCSF):	11
<b>2 État de l'art sur le problème la couverture de cible dans RCSF</b>	<b>14</b>
2.1 Les Réseaux de Couverture	15
2.1.1 Réseaux de couverture à Base de Noeuds de Capteurs Scalaires	15
2.1.2 Réseaux de couverture à Base de Noeuds de Capteurs Multimédias	17
2.1.3 Réseaux de Couverture à Base de Noeuds de Capteurs Hybrides	18
2.1.4 La Couverture par Vidéo	20
2.1.5 Les Modèles de la Couverture	21
<b>3 Réalisation</b>	<b>32</b>
3.1 Les démarches de fonctionnement d'une stratégie à base de clustering	32
3.2 Les Étapes de simulation du protocole à base de clustering	33
3.2.1 Étape 1: Initialisation des Paramètres	33
3.2.2 Étape 2: Déploiement initiale	33
3.2.3 Étape 3: Formation des Clusters	33
3.2.4 Étape 4: Sélection des Têtes de Clusters (CHs)	34
3.2.5 Étape 5: Ajustement du déploiement Initiale	34
3.2.6 Étape 6: Calcul du taux de la Couverture Initiale	34
3.2.7 Étape 7: Calcule des positions des Cibles en mouvement	34
3.2.8 Étape 8: Calcul du taux de la Couverture de cible final	36
3.3 Motivations et Objectifs derrière la couverture à base de clustering	36
3.4 Les démarches de fonctionnement d'une stratégie à base probabiliste	37

3.5	Étapes de la simulation de notre stratégie à base de probabilités	38
3.5.1	Étape 1: Initialisation des Paramètres	38
3.5.2	Étape 2: Calcul des positions initiales	39
3.5.3	Étape 3: Calcul du taux de la couverture initiale	39
3.5.4	Étape 4: Simulation de la couverture au fil du temps	39
3.5.5	Les Fonctions Auxiliaires	42
3.6	Motivation et Objectif derrière la couverture à base de probabilités	42
3.7	Objectifs derrière cette Comparaison de deux protocoles	43
3.8	Conclusion	43
<b>4</b>	<b>Simulation et Comparaison</b>	<b>45</b>
4.1	Choix de MATLAB	46
4.2	Simulation et Analyse de Résultats	46
4.2.1	Description de la simulation de couverture de cible à base de clustering	47
4.3	Description de la simulation de couverture cible à base de probabilités	49
4.4	Analyse de résultats	49
4.5	Comparaison entre les stratégies à Base de Probabilités et à base de Clustering	50
	Conclusions et Perspectives	54

# Liste des Abréviations

<b>COVG</b>	<b>COV</b> erage Guarantee
<b>CONG</b>	<b>CON</b> nectivity Guarantee
<b>HEED</b>	<b>H</b> ybrid Energy Efficient <b>D</b> istributed
<b>LEACH</b>	<b>L</b> ow Energy <b>A</b> daptive Clustering <b>H</b> ierarchy
<b>MANET</b>	<b>M</b> obile Adhoc <b>NET</b> work
<b>MDTP</b>	<b>M</b> ultimedia <b>D</b> ata Transfer Protocol
<b>MEMP</b>	<b>M</b> ultimedia Energy <b>M</b> anagement Protocol
<b>MHS</b>	<b>M</b> ultiples <b>H</b> ypotheses
<b>MRP</b>	<b>M</b> ultimedia <b>R</b> outing Protocol
<b>PEGASIS</b>	<b>P</b> ower-Efficient <b>G</b> Athering in <b>S</b> ensor Information Systems
<b>QoS</b>	<b>Q</b> uality of <b>S</b> ervice
<b>RCSF</b>	<b>R</b> éseaux <b>C</b> apteurs <b>S</b> ans <b>F</b> il
<b>SB</b>	<b>S</b> tation de <b>B</b> ase
<b>TEEN</b>	<b>T</b> hreshold-sensitive EnergyEfficient sensor <b>N</b> etwork protocol
<b>WSN</b>	<b>W</b> ireless <b>S</b> ensor <b>N</b> etwork
<b>WPAN</b>	<b>W</b> ireless <b>P</b> ersonal <b>A</b> rea <b>N</b> etwork
<b>WLAN</b>	<b>W</b> ireless <b>L</b> ocal <b>A</b> rea <b>N</b> etwork
<b>WMAN</b>	<b>W</b> ireless <b>M</b> etropolitan <b>A</b> rea <b>N</b> etwork
<b>WWAN</b>	<b>W</b> ireless <b>W</b> ide <b>A</b> rea <b>N</b> etwork

# Introduction générale

# Introduction générale

## Introduction

Les réseaux de capteurs sans fil (RCSF) jouent un rôle de plus en plus important dans de nombreuses applications telles que la surveillance environnementale, la surveillance industrielle, la sécurité, la santé, etc. L'un des défis majeurs dans la conception d'un RCSF efficace est d'assurer une couverture adéquate d'une zone d'intérêt, c'est-à-dire garantir que tous les points de la zone d'intérêt sont surveillés et détectés par les capteurs du réseau.

Dans ce mémoire de fin d'études, nous avons abordé le problème de la couverture des cibles dans les réseaux de capteurs sans fil par le biais d'une étude comparative. Nous nous sommes concentrés sur l'évaluation de deux types de stratégies de couverture des cibles dans les RCSF. La première stratégie est basée sur le clustering, avec pour objectif de garantir la connectivité entre les nœuds de capteurs et les cibles à surveiller dans la zone d'intérêt. La seconde stratégie repose sur des probabilités, cherchant à fournir une couverture adéquate des cibles en se basant sur le calcul des probabilités de couverture de chaque cible à surveiller dans la zone d'intérêt.

L'objectif de notre étude comparative est d'analyser et de comparer ces deux types de stratégies de couverture de cibles en termes de taux de couverture. Nous cherchons à évaluer leur impact sur la qualité de service (un taux de couverture élevé impliquant une qualité de service améliorée) ainsi que sur d'autres métriques pertinentes (une couverture avec un nombre minimal de nœuds de capteurs impliquant une économie d'énergie considérable). Nous avons mis en lumière les avantages et les inconvénients de chaque stratégie, en soulignant leurs caractéristiques principales et leurs impacts potentiels sur les performances globales des réseaux de capteurs sans fil.

Les simulations numériques démontrent l'efficacité des protocoles basés sur le clustering pour garantir une couverture optimale des cibles par rapport aux protocoles utilisant d'autres stratégies et techniques. Ce mémoire est structuré en quatre chapitres, où nous abordons successivement :

- **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 cible.
- **Chapitre 3:** est dédié à la description détaillée de la solution proposée (la présentation des deux protocoles) pour maintenir la couverture dans les réseaux de capteurs sans fil.
- **Le chapitre final (Chapitre 4) :** Nous avons employé le langage de simulation MATLAB pour mettre en pratique la proposition. Les résultats de simulation ont été obtenus en comparant un protocole

basé sur le clustering avec d'autres solutions existantes basées sur les probabilités. Enfin, nous concluons ce mémoire en récapitulant le travail effectué dans le cadre de notre projet de fin d'études.

# **Chapitre 1**

## **Généralités sur les réseaux de capteurs sans fil**

# Chapitre 1

## Généralités sur les réseaux de capteurs sans fil

### 1.1 Introduction

Au cours des dernières décennies, la surveillance et le contrôle de divers phénomènes physiques, tels que la température, la luminosité et la pollution de l'air, ont gagné en importance en raison de leurs multiples applications dans l'industrie et la recherche scientifique. Les réseaux de capteurs sans fil (RCSF) sont des systèmes composés de capteurs répartis dans une zone spécifique, chargés de collecter et de transmettre des données environnementales ou spécifiques. 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 et de calcul, ainsi que les récentes avancées dans les technologies sans fil, de nouveaux produits exploitant ces réseaux de capteurs sans fil sont actuellement utilisés pour recueillir ces données environnementales.

Ce chapitre vise à offrir une vue d'ensemble complète des réseaux sans fil. Il commence par décrire en détail un nœud de capteur et ses composants, puis aborde la définition des réseaux de capteurs sans fil, leurs mécanismes, leur classification et les défis auxquels ils sont confrontés.

### 1.2 Les Réseaux sans fil

#### 1.2.1 Définition

Un réseau sans fil est un système de communication qui permet la transmission de données sans l'utilisation de câbles physiques. Les appareils se connectent entre eux à l'aide d'ondes radio, d'infrarouge ou d'autres technologies sans fil pour échanger des informations. Ces réseaux sont largement utilisés dans la communication entre appareils mobiles, la démotique et d'autres applications nécessitant une communication [6].

#### 1.2.2 Les catégories des réseaux sans fils :

Un réseau sans fil, également appelé réseau sans fil, est un réseau dans lequel au moins deux nœuds peuvent communiquer sans avoir besoin d'une connexion filaire. Ces réseaux de communication permettent aux utilisateurs de profiter de tous les services offerts par les réseaux traditionnels, indépendamment de leur position géographique. Les réseaux sans fil peuvent être classés selon deux critères. Le premier critère est la zone de couverture

du réseau, ce qui donne lieu à quatre catégories : les réseaux personnels, les réseaux locaux, les réseaux métropolitains et les réseaux étendus. Le deuxième critère concerne l'infrastructure et le modèle adopté. Selon ce critère, les réseaux sans fil peuvent être divisés en réseaux avec infrastructure et réseaux sans infrastructure [7]. comme on le voit dans l'illustration de la FIGURE 1.1.

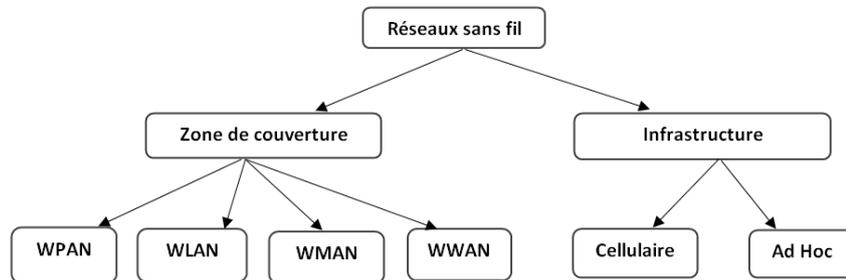


FIGURE 1.1: Classification des réseaux de capteurs sans fil

### 1.2.2.1 Selon la zone de déploiement et de couverture:

- **Réseaux personnels sans fil (WPAN):**

Les Wireless Personal Area Networks (WPAN), ou réseaux personnels sans fil, sont des réseaux à très courte portée, souvent limités à une dizaine de mètres. Leur fonction principale est de faciliter la communication entre les divers appareils portatifs d'une personne, tout en offrant une alternative sans fil pour connecter des équipements informatiques, sans l'encombrement de câbles. Plusieurs technologies sont disponibles pour établir ce type de réseau, notamment le Bluetooth, le HomeRF, le ZigBee, ainsi que les liaisons infrarouges.

- **Réseaux locaux sans fil (WLAN) :**

Avec l'avènement des normes offrant un haut débit, les réseaux locaux sans fil, également appelés Wireless Local Area Network (WLAN), sont couramment utilisés à l'intérieur des entreprises, des universités et même chez les particuliers.

- **Les réseaux métropolitains sans fil (WMAN) :** Les réseaux métropolitains sans fil (WMAN) sont des réseaux sans fil qui couvrent une zone géographique plus large, généralement une ville ou une région métropolitaine. Ces réseaux permettent de fournir une connectivité haut débit à grande échelle, permettant aux utilisateurs d'accéder à Internet, aux services de communication et aux applications avancées. Les réseaux métropolitains sans fil sont utilisés pour connecter des bâtiments, des campus universitaires, des quartiers résidentiels et des zones commerciales, offrant ainsi une connectivité sans fil étendue à un grand nombre d'utilisateurs.

- **Les réseaux étendus sans fil (WWAN) :** Les réseaux sans fil à large couverture (WWAN, pour Wireless Wide Area Network) sont conçus pour couvrir de vastes zones géographiques. Actuellement, il existe peu de technologies disponibles pour les WWAN. Celles-ci reposent

principalement sur des satellites géostationnaires ou en orbite basse pour transmettre des informations entre différents points du globe.

### 1.2.2.2 Selon l'infrastructure:

Les environnements mobiles se composent de sites mobiles, permettant aux utilisateurs d'accéder à l'information où qu'ils se trouvent géographiquement. Les réseaux mobiles ou sans fil peuvent être catégorisés en deux types : ceux avec infrastructure et ceux sans infrastructure.

- **Réseaux cellulaires (avec infrastructure) :** Ce type de réseaux se compose des éléments suivants :
  - Les "sites fixes" du réseau filaire.
  - Les "sites mobiles", réseaux sans fils.
- **Réseaux ad hoc (sans infrastructure):**

Un réseau mobile ad hoc, généralement appelé MANET, est une infrastructure mobile sans installation fixe. Il est constitué d'un ensemble de nœuds mobiles répartis de manière dynamique et arbitraire, ce qui permet à leurs interconnexions de changer à tout moment. On parle alors de réseaux auto-adaptatifs, capables de s'organiser eux-mêmes, [8] comme il est illustré dans la FIGURE 1.2.

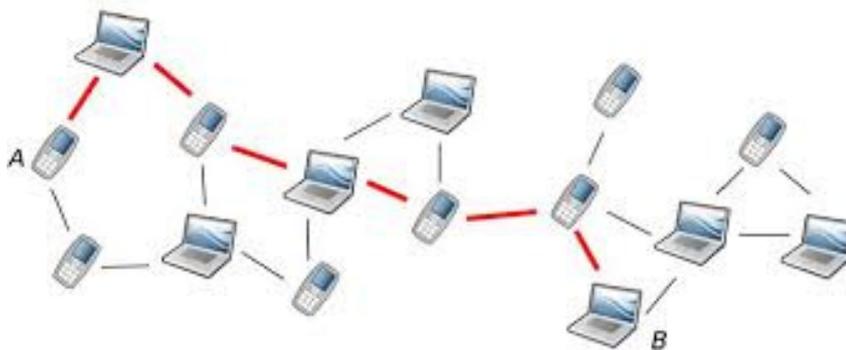


FIGURE 1.2: Réseau Ad-Hoc 1.2.

## 1.3 Définition d'un Nœud de capteur

Un nœud de capteur sans fil est un appareil électronique compact capable de recueillir des données sur une variable environnementale telle que la température, la luminosité, la pression, l'humidité, les vibrations, etc., et de transmettre ces données à une station de base (aussi appelée puits ou sink) pour un contrôle centralisé. Chaque capteur remplit les fonctions suivantes [9] : Acquisition des données Traitement des informations à partir des valeurs collectées Transmission de ces données à travers le réseau

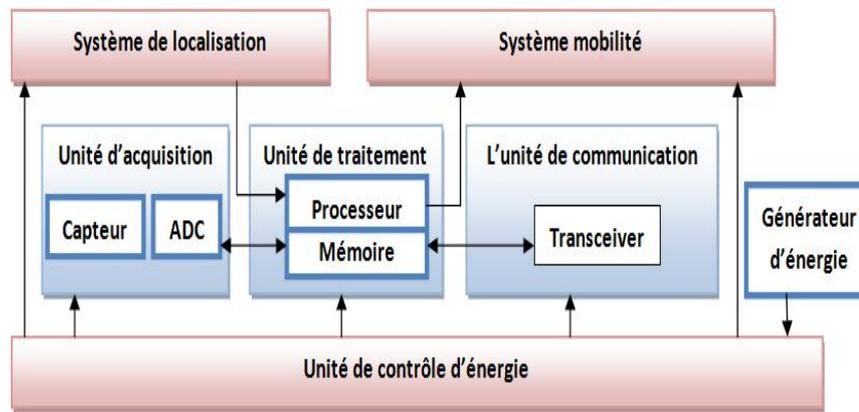


FIGURE 1.3: Architecture d'un nœud de capteur [1]

## 1.4 L'architecture d'un nœud de capteur

Un capteur se compose fondamentalement de quatre éléments clés : une unité d'acquisition, une unité de traitement, une unité de transmission et une unité de contrôle d'énergie, généralement alimentée par une batterie [4]. FIGURE 1.3 présente une représentation générale de l'architecture typique d'un nœud capteur, montrant les différents composants d'un capteur.

- **Unité d'acquisition :**

est typiquement constituée de deux composants principaux : un capteur et un convertisseur analogique/numérique. Le capteur est chargé de générer des signaux analogiques en réponse au phénomène observé, tandis que le convertisseur analogique/numérique transforme ces grandeurs physiques en signaux numériques. Ces signaux numériques sont ensuite acheminés vers l'unité de traitement.

- **Unité de traitement :** est responsable de l'exécution des traitements appropriés. Elle joue un rôle essentiel dans l'implémentation des protocoles de communication, favorisant la collaboration entre le nœud et les autres nœuds du réseau. De plus, elle analyse et traite les données captées. Habituellement, cette unité est associée à une petite unité de stockage.
- **Unité de transmission :** prend en charge toutes les émissions et réceptions de données sur un support sans fil. Elle assure la connectivité du capteur avec d'autres dispositifs du réseau.
- **Unité de contrôle d'énergie :** elle gère la ressource énergétique du capteur, généralement une batterie. Cette ressource énergétique est limitée et ne peut souvent pas être reconstituée. Par conséquent, l'énergie représente la ressource la plus précieuse d'un réseau de capteurs, impactant directement sa durée de vie. L'unité d'alimentation est donc chargée de distribuer l'énergie disponible aux autres modules, en réduisant les dépenses énergétiques par des actions telles que la mise en veille des composants actifs.

## 1.5 Caractéristiques principales d'un Noeud de capteur:

Certains paramètres sont communs à tous les capteurs. Ils caractérisent les contraintes de mise en œuvre et permettent le choix d'un capteur [10].

- **L'étendue de la mesure :** c'est la différence entre le plus petit signal détecté et le plus grand perceptible sans risque de destruction pour le capteur.
- **La sensibilité :** c'est la plus petite variation d'une grandeur physique que peut détecter un capteur.
- **La fidélité:** Un capteur est dit fidèle si le signal qu'il délivre en sortie ne varie pas dans le temps pour une série de mesures concernant la même valeur de la grandeur physique « m » d'entrée. Il caractérise l'Influence du vieillissement.
- **Le temps de réponse:** c'est le temps de réaction d'un capteur entre la variation de la grandeur physique qu'il mesure et l'instant où l'information est prise en compte par la partie.

## 1.6 Définition d'un réseau de capteurs sans fil

Un réseau de capteurs sans fil est un réseau ad hoc composé d'un grand nombre de nœuds, qui sont des micro-capteurs capables de collecter et de transmettre des données de manière autonome. La position de ces nœuds n'est pas nécessairement prédéterminée. Ils peuvent être répartis de manière aléatoire dans une zone géographique appelée "champ de captage", correspondant au terrain concerné pour le phénomène capté [11].

### 1.6.1 Les contraintes liées aux réseaux de capteurs:

Les facteurs et contraintes influençant l'architecture des réseaux de capteurs sont les suivants [12]:

- **La topologie dynamique :** La topologie d'un réseau de capteurs peut changer avec le temps. Les pannes de noeuds causées par des dommages physiques ou l'expiration de l'énergie provoquent la dynamité du réseau. Cela peut entraîner des ruptures de connexion entre les noeuds capteurs.
- **Capacité de mémoire** Les capteurs, bien qu'ayant une capacité limitée de stockage et de mémoire vive (RAM), ne sont pas destinés à conserver de vastes bases de données. Les données collectées sont plutôt transmises à la station de base, plutôt que d'être stockées de manière permanente par les capteurs.
- **Tolérance aux fautes :** Les capteurs sont vulnérables aux altérations d'états, telles que les variations climatiques (humidité, chaleur, électromagnétisme) ou une batterie faible. Dans de telles situations, un ou plusieurs capteurs peuvent présenter un dysfonctionnement. Le

réseau doit être capable de détecter ces erreurs et de les corriger, par exemple, en ajustant ses tables de routage pour trouver un autre chemin permettant la transmission d'informations.

- **Mise à l'échelle** : Les réseaux de capteurs sans fil comprennent de quelques entités à des dizaines de milliers de capteurs. Les réseaux de capteurs doivent pouvoir s'autoorganiser à une grande échelle et être efficaces, quel que soit leur nombre. Les protocoles des réseaux de capteurs sans fil doivent pouvoir fonctionner et s'adapter en fonction du nombre de nœuds.
- **Limitation de l'énergie** : Les batteries des capteurs consomment peu d'énergie. Cependant, une fois installés, les réseaux de capteurs sans fil sont souvent positionnés dans des zones difficilement accessibles pour les humains. Cela complique la tâche de remplacement des batteries des capteurs. Lorsque le nombre de capteurs excède la centaine, localiser le capteur défaillant et changer sa batterie devient encore plus difficile.
- **La connectivité** : La connectivité représente un défi majeur dans les réseaux de capteurs. Un réseau de capteurs est considéré comme connecté s'il existe un itinéraire entre chaque paire de nœuds. La connectivité dépend principalement de l'existence de routes et est impactée par des changements de topologie tels que la mobilité, les défaillances des nœuds, les attaques, etc. Ces changements peuvent entraîner la perte de liens de communication, l'isolement des nœuds et le partitionnement du réseau.

### 1.6.2 Les mécanismes employés dans les Réseaux de Capteurs sans Fil (RCSF):

Les réseaux de capteurs sans fil (RCSF) utilisent différents mécanismes pour assurer leur fonctionnement efficace. Parmi ces mécanismes, on trouve :

- **Le routage** : Il permet de déterminer le chemin optimal pour acheminer les données des capteurs vers le nœud de destination. Différents protocoles de routage sont utilisés, en fonction des contraintes du réseau.
- **L'agrégation de données** : Cette technique permet de réduire la quantité de données transmises en fusionnant les données similaires. Cela permet d'économiser l'énergie et d'améliorer l'efficacité de la communication.
- **La gestion de l'énergie** : Étant donné que les capteurs fonctionnent généralement sur batterie, la gestion de l'énergie est cruciale. Des techniques telles que la planification de l'énergie et l'optimisation de la consommation d'énergie sont utilisées pour prolonger la durée de vie des capteurs.
- **La gestion de la topologie** : Elle permet de maintenir une structure de réseau efficace. Cela inclut des mécanismes tels que la formation de clusters, la sélection de chefs de cluster et la mise à jour dynamique de la topologie.

- **Le contrôle d'accès au canal :** Il assure la gestion de l'accès concurrentiel des capteurs au canal de communication sans fil. Des protocoles d'accès multiple sont utilisés pour éviter les collisions et garantir un accès équitable et efficace au canal.
- **La sécurité :** Elle vise à protéger les données et les communications dans le réseau. Des mécanismes de cryptage, d'authentification et de détection d'intrusion sont utilisés pour assurer la confidentialité et l'intégrité des données.

Ces mécanismes sont adaptés en fonction des besoins spécifiques de chaque application des RCSF. Ils contribuent à optimiser les performances du réseau en termes d'efficacité énergétique, de fiabilité de la communication, de gestion de la topologie et de sécurité des données.

### 1.6.3 Classification des Réseaux de capteurs sans fil (RCSF):

Les réseaux de capteurs peuvent être catégorisés selon plusieurs critères, tels que le mode d'acquisition et de transmission des données, la distance entre les nœuds capteurs et le centre de collecte, le modèle de mobilité dans le réseau, et les capacités des nœuds. En fonction du type de communication entre les nœuds et le centre de collecte, on distingue deux sous-types : les réseaux à un seul saut et les réseaux multi-sauts.

Dans un réseau de capteurs à un seul saut, les nœuds capteurs sont situés à proximité immédiate du centre de collecte et envoient directement leurs données collectées à celui-ci. En revanche, dans un réseau de capteurs multi-sauts, la distance entre les nœuds capteurs et le centre de collecte dépasse leur portée maximale, ce qui nécessite le transfert des données via d'autres nœuds intermédiaires.

Bien que les réseaux multi-sauts offrent une grande variété d'applications, leur mise en place est généralement plus complexe que celle des réseaux à un seul saut..comme on le voit dans LA FIGURE 1.4.

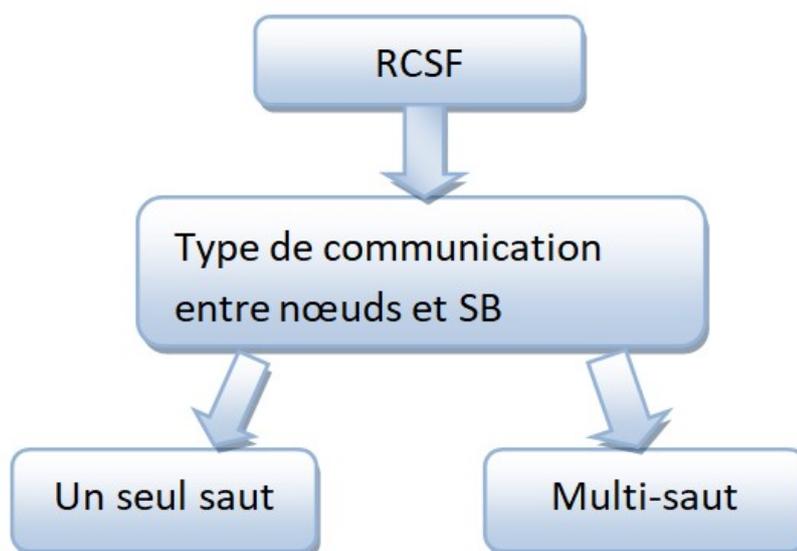


FIGURE 1.4: Classification des RCSF à base type de communication (1 ou n Saut).

## **Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons abordé les avancées notables dans le domaine des technologies sans fil ont donné naissance à de nouveaux types de réseaux de capteurs. Les caractéristiques de ces réseaux, telles que la flexibilité, le coût réduit et la facilité de déploiement, ouvrent de vastes perspectives de développement dans divers secteurs. Cependant, le domaine s'efforce de concevoir de nouvelles solutions pour résoudre les problèmes que nous avons soulevés, en mettant particulièrement l'accent sur celui de la couverture.

Dans le chapitre suivant, nous allons aborder un état de l'art sur le problème de couverture et de surveillance dans les réseaux de capteurs sans fil, en mettant spécialement l'accent sur la couverture de cible

## **Chapitre 2**

# **État de l'art sur le problème la couverture de cible dans RCSF**

## Chapitre 2

# État de l'art sur le problème la couverture de cible dans RCSF

## Introduction

La couverture représente effectivement l'un des défis fondamentaux dans le domaine des réseaux de capteurs sans fil (RCSF) et demeure un sujet de recherche d'importance depuis de nombreuses années. La problématique de la couverture dans les RCSF concerne la capacité des nœuds capteurs à surveiller de manière efficace une zone géographique spécifique en vue de recueillir des données sur des événements ou phénomènes d'intérêt. Obtenir une couverture complète et efficace s'avère crucial pour assurer le bon fonctionnement des réseaux de capteurs sans fil dans diverses applications (voir FIGURE 2.1). Actuellement, de nombreux chercheurs se penchent sur le développement de solutions répondant à diverses exigences [13].

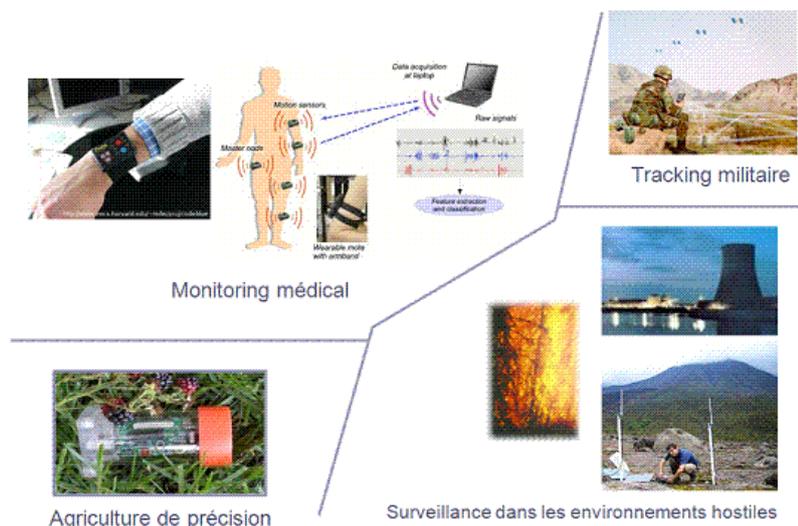


FIGURE 2.1: Les domaines d'utilisation de la couverture de cible [2]

La couverture dans les réseaux de capteurs sans fil est classiquement subdivisée en trois catégories : couverture de zone, couverture de barrière et couverture de cible. Chacune de ces catégories peut être déclinée en trois types distincts : statique [14], dynamique [15] et couverture hybride [16]. En fonction de la tâche à accomplir, certains scénarios requièrent une couverture permanente (tout au long de la durée de vie du réseau), tandis que d'autres nécessitent une couverture périodique (sur plusieurs périodes)

[17]. Ce chapitre se concentre sur le problème de Couverture dans RCSF, spécialement la couverture de cible.

## 2.1 Les Réseaux de Couverture

Dans cette section, nous allons décrire un état de l'art sur la couverture, spécialement la couverture de cible selon le plan illustré dans la FIGURE 2.2

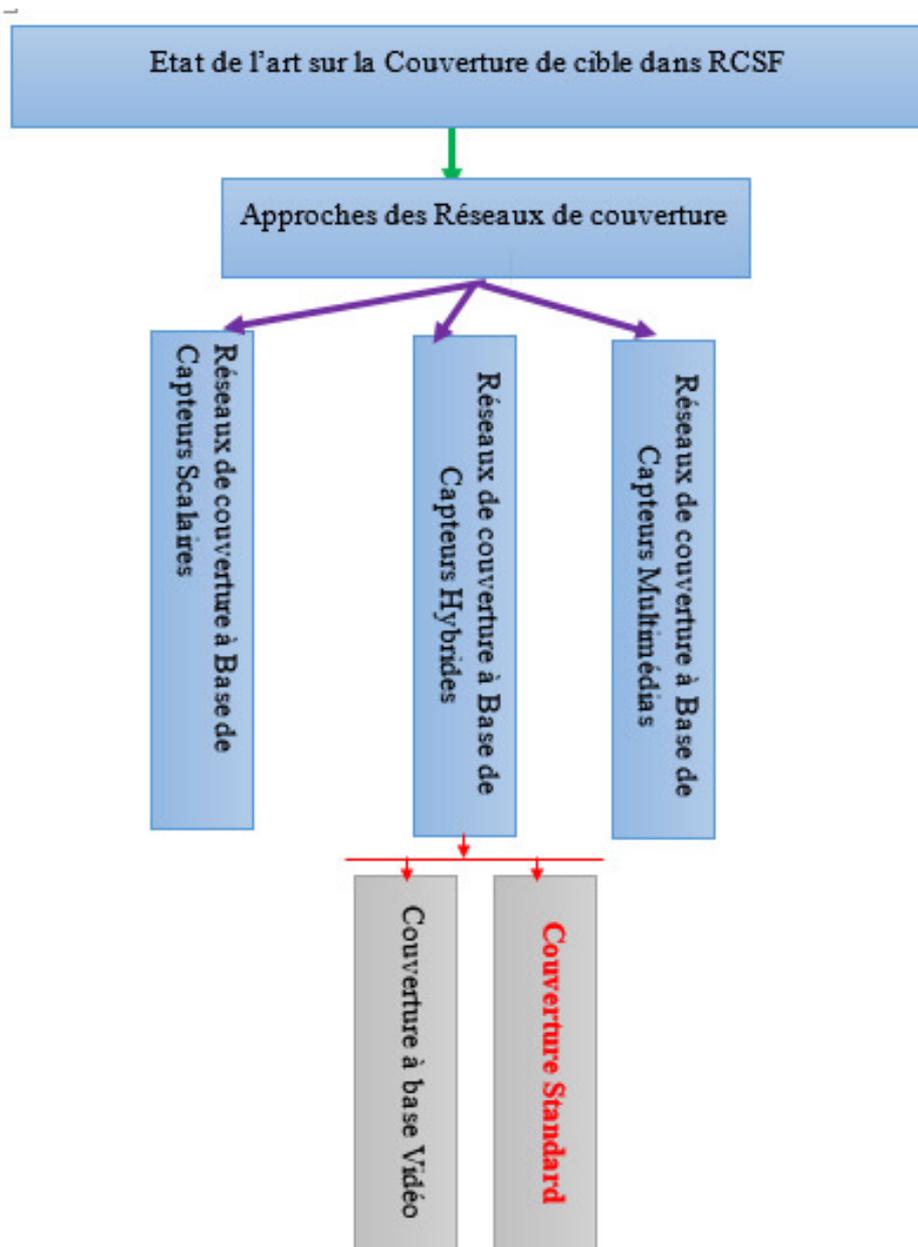


FIGURE 2.2: Plan de l'état de l'art

### 2.1.1 Réseaux de couverture à Base de Noeuds de Capteurs Scalaires

Les capteurs scalaires mesurent des grandeurs physiques scalaires, c'est-à-dire des quantités qui sont entièrement définies par leur magnitude, sans

direction associée. Par exemple, la température, la pression, l'humidité, etc. Les capteurs scalaires sont souvent utilisés pour surveiller des paramètres environnementaux. Les systèmes de surveillance basés sur des capteurs scalaires utilisent des capteurs de mouvements, de température ou d'autres grandeurs physiques comme moyen de détection. Un scalaire est un nombre qui mesure des propriétés telles que la température, la masse ou la hauteur. Ces systèmes de surveillance sont couramment utilisés dans divers domaines, comme la détection de l'impact de l'activité sismique sur un pont, ou le placement de capteurs de distance pour évaluer les fissures et émettre des alertes en cas de risques majeurs [18].

- **Avantages**

- **Économie d'énergie** : En mesurant des grandeurs scalaires, les capteurs peuvent transmettre des données plus simples et nécessiter moins d'énergie pour la communication. Cela prolonge la durée de vie de la batterie des capteurs.
- **Simplicité du matériel** : Les capteurs scalaires peuvent être plus simples sur le plan matériel, ce qui réduit les coûts de fabrication et les rend plus accessibles.
- **Utilisation spécifique** : Ces réseaux sont particulièrement adaptés aux applications où la mesure de grandeurs scalaires est suffisante, par exemple, dans la surveillance environnementale, la gestion de l'énergie, etc.

- **Inconvénients**

- **Limitation de l'information** : Les capteurs scalaires ne mesurent qu'une seule grandeur à la fois, ce qui peut limiter la quantité d'informations recueillies par rapport à des capteurs plus complexes.
- **Moins polyvalents** : Ces réseaux peuvent ne pas être adaptés à des applications nécessitant la mesure simultanée de plusieurs grandeurs (par exemple, les images, les vidéos).
- **Complexité des applications** : Certaines applications peuvent nécessiter des informations plus riches que celles fournies par des capteurs scalaires, ce qui peut rendre ces réseaux moins adaptés à certaines tâches.
- **Fiabilité de la mesure** : Selon la qualité des capteurs, la précision des mesures scalaires peut parfois être limitée, ce qui peut affecter la fiabilité des données recueillies.

- **Exemples de protocoles**

- **LEACH** (Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy) : Il s'agit d'un protocole de clustering qui vise à économiser l'énergie en permettant aux capteurs de se regrouper en clusters et d'élire un nœud de cluster pour agir en tant que coordinateur de communication.
- **TEEN** (Threshold-sensitive Energy Efficient sensor Network protocol) : Ce protocole utilise des seuils pour déterminer

quand un capteur doit transmettre des données au nœud central, réduisant ainsi le trafic de communication et économisant de l'énergie.

- **PEGASIS** (Power-Efficient GATHERing in Sensor Information Systems) : PEGASIS organise les capteurs en une chaîne linéaire, où chaque capteur transmet les données au capteur suivant, réduisant ainsi la consommation d'énergie liée aux communications radio.

## 2.1.2 Réseaux de couverture à Base de Nœuds de Capteurs Multimédias

Les réseaux de capteurs multimédias font référence à des réseaux de capteurs qui sont capables de capturer, traiter et transmettre des données multimédias telles que des images, des vidéos, ou des sons [19]. Parmi les avantages de ce type de réseaux, il y a :

- **Informations riches** : Les capteurs multimédias peuvent fournir des informations riches et détaillées, ce qui les rend adaptés à des applications nécessitant une perception avancée de l'environnement.
- **Applications diverses** : Ces réseaux peuvent être utilisés dans un large éventail d'applications, notamment la surveillance vidéo, la reconnaissance d'objets, la sécurité, la télé-médecine, etc.
- **Prise de décision plus avancée** : Les données multimédias permettent des analyses plus avancées et des prises de décision plus intelligentes par rapport aux simples données scalaires.
- **Adaptabilité** : Les réseaux de capteurs multimédias peuvent s'adapter à des environnements changeants en temps réel, ce qui les rend utiles dans des scénarios dynamiques.

Parmi les Inconvénients des réseaux de capteurs multimédias, on cite :

- **Consommation énergétique** : Le traitement et la transmission de données multimédias nécessitent généralement plus d'énergie que les simples données scalaires, ce qui peut réduire la durée de vie des batteries des capteurs.
- **Bande passante** : Les données multimédias générées par les capteurs peuvent nécessiter une bande passante plus importante pour la transmission, ce qui peut entraîner des problèmes de congestion du réseau.
- **Coût** : Les capteurs multimédias sont souvent plus coûteux à produire que les capteurs scalaires en raison de la complexité de l'électronique nécessaire.
- **Sécurité** : Les données multimédias peuvent contenir des informations sensibles, ce qui soulève des préoccupations en matière de sécurité et de confidentialité lors de la transmission et du stockage.

- **Complexité du traitement** : Le traitement des données multimédias peut être complexe et exiger des ressources de calcul importantes, ce qui peut limiter l'utilisation de ces réseaux dans des environnements à ressources limitées.

### Exemples de protocoles

- **Protocole de Transmission de Données Multimédias (MDTP - Multimedia Data Transfer Protocol)** : Ce protocole est conçu pour prendre en charge la transmission efficace de données multimédias. Il peut inclure des mécanismes de compression adaptative, de gestion de la qualité de service (QoS) pour s'assurer que les données multimédias sont transmises de manière fiable et en temps opportun.
- **Protocole de Routage Multimédia (MRP - Multimedia Routing Protocol)** : Ce protocole est spécifiquement conçu pour les réseaux de capteurs multimédias. Il prend en compte les exigences de routage spécifiques aux données multimédias, comme la bande passante nécessaire, la latence, et optimise le chemin de transmission en fonction de ces critères.
- **Protocole de Gestion de l'Énergie Multimédia (MEMP - Multimedia Energy Management Protocol)** : Les données multimédias peuvent être gourmandes en énergie lors de la capture, du traitement et de la transmission. Ce protocole gère l'utilisation de l'énergie de manière efficace en ajustant les paramètres des capteurs en fonction des exigences multimédias et des contraintes énergétiques.
- **Protocole de Sécurité Multimédia (MSP - Multimedia Security Protocol)** : La sécurité des données multimédias est cruciale, en particulier dans des applications sensibles telles que la surveillance. Ce protocole intègre des mécanismes de chiffrement et d'authentification pour assurer la confidentialité et l'intégrité des données multimédias.
- **Protocole de Gestion de la Qualité de Service Multimédia (MQSP - Multimedia Quality of Service Protocol)** : Pour garantir une expérience utilisateur optimale, ce protocole gère la qualité de service en surveillant et en ajustant dynamiquement les paramètres de transmission en fonction des exigences de qualité spécifiques aux données multimédias.

### 2.1.3 Réseaux de Couverture à Base de Noeuds de Capteurs Hybrides

Les réseaux de capteurs hybrides combinent à la fois des capteurs scalaires (qui mesurent des grandeurs scalaires comme la température, la pression, etc.) et des capteurs multimédias (capables de capturer des données plus riches telles que des images, des vidéos, etc.). Cette approche hybride vise à tirer parti des avantages de chaque type de capteur tout en atténuant leurs inconvénients respectifs [20].

Parmi les Avantages des réseaux de capteurs hybrides :

- **Informations complètes** : En combinant des capteurs scalaires et multimédias, les réseaux hybrides peuvent fournir des informations

plus complètes sur l'environnement, ce qui est particulièrement bénéfique dans des applications nécessitant une perception avancée.

- **Optimisation de la consommation d'énergie** : Les capteurs scalaires peuvent être utilisés pour des mesures simples et économiser de l'énergie, tandis que les capteurs multimédias peuvent être activés sélectivement pour des événements spécifiques, permettant une meilleure gestion de la consommation d'énergie.
- **Flexibilité d'application** : Ces réseaux peuvent être adaptés à une variété d'applications, combinant la simplicité des capteurs scalaires avec la richesse d'informations des capteurs multimédias.
- **Prise de décision intelligente** : Les données provenant de différents types de capteurs peuvent être fusionnées pour une prise de décision plus intelligente et précise.

Parmi les Inconvénients des réseaux de capteurs hybrides :

- **Complexité du déploiement** : La gestion et le déploiement de réseaux hybrides peuvent être plus complexes en raison de la variété des capteurs et des exigences logicielles associées.
- **Coût initial** : Les capteurs hybrides peuvent être plus coûteux à l'achat et à la maintenance en raison de la diversité des capteurs nécessaires.
- **Gestion de la bande passante** : L'utilisation de capteurs multimédias peut nécessiter une bande passante plus importante, ce qui peut poser des défis de gestion du trafic dans le réseau.
- **Intégration des données** : Fusionner efficacement les données provenant de capteurs scalaires et multimédias peut nécessiter des algorithmes de traitement de données complexes.

Exemples de protocoles:

- **Protocole de Gestion de la Qualité de Service Hybride (HQSP - Hybrid Quality of Service Protocol)** : Conçu pour répondre aux exigences de qualité de service spécifiques aux données multimédias tout en s'adaptant aux caractéristiques des données scalaires. Il pourrait ajuster dynamiquement les paramètres en fonction des besoins changeants du réseau.
- **Protocole de Sécurité Hybride (HSP - Hybrid Security Protocol)** : Un protocole qui intègre des mécanismes de sécurité pour protéger à la fois les données scalaires et multimédias. Il pourrait inclure des techniques de chiffrement, d'authentification et de contrôle d'accès adaptées aux différentes natures de données.
- **Protocole de Gestion de la Mobilité Hybride (HMP - Hybrid Mobility Protocol)** : Pour les réseaux de capteurs où la mobilité des capteurs est présente, ce protocole peut gérer efficacement les mouvements des capteurs scalaires et multimédias, en optimisant la couverture en fonction de la mobilité.

- **Protocole de Fusion de Données Hybride (HDFP - Hybrid Data Fusion Protocol)**: Ce protocole gère la fusion de données provenant de capteurs scalaires et multimédias pour améliorer la précision et la fiabilité des informations collectées.

### 2.1.4 La Couverture par Vidéo

La couverture vidéo dans les réseaux de capteurs fait référence à la surveillance et à la collecte de données vidéo à partir de différentes perspectives pour couvrir une zone spécifique. Voici quelques principes, avantages, inconvénients et exemples de protocoles associés à la couverture vidéo dans les réseaux de capteurs [21].

Les principes de la Couverture Vidéo sont les suivants:

- **Positionnement des capteurs** : Les capteurs vidéo sont positionnés stratégiquement pour garantir une couverture complète et optimale de la zone surveillée.
- **Gestion des ressources** : Les ressources des capteurs, telles que la bande passante, l'énergie et la mémoire, sont gérées efficacement pour assurer une surveillance continue.
- **Collaboration entre capteurs** : Les capteurs peuvent coopérer pour suivre un objet ou une personne lorsqu'il se déplace à travers la zone de couverture, permettant une continuité dans la collecte de données.

#### Avantages de la Couverture Vidéo :

- **Informations riches** : La vidéo offre des informations riches et détaillées, permettant une meilleure perception de l'environnement.
- **Détection avancée** : La couverture vidéo permet une détection avancée d'événements ou d'objets en mouvement.
- **Surveillance en temps réel** : La capacité à surveiller en temps réel permet des réponses rapides aux situations critiques.
- **Adaptabilité** : Les systèmes de couverture vidéo peuvent s'adapter à des changements dynamiques dans l'environnement.

#### Inconvénients de la Couverture Vidéo :

- **Consommation énergétique** : Le traitement et la transmission de données vidéo peuvent être énergivores, réduisant la durée de vie des batteries des capteurs.
- **Bande passante** : La transmission de flux vidéo nécessite une bande passante plus importante, pouvant entraîner des problèmes de congestion du réseau.
- **Complexité du traitement** : Le traitement vidéo peut être complexe et nécessiter des ressources de calcul importantes.

#### Exemples de Protocoles de la Couverture Vidéo :

- **LEACH** (Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy) : Un protocole de clustering adaptatif qui peut être étendu pour prendre en charge la couverture vidéo.
- **SEP** (Stable Election Protocol) : Un protocole de clustering qui peut être utilisé pour la couverture vidéo en sélectionnant des nœuds stables comme chefs de cluster.
- **PR-LEACH** (Power-Adjusted and Reservation-based LEACH) : Une extension de LEACH qui prend en compte la consommation d'énergie des nœuds pour une meilleure gestion des ressources dans les applications vidéo.
- **MPEG** (Motion Picture Experts Group) : Un ensemble de normes de compression vidéo qui peuvent être utilisées pour réduire la taille des flux vidéo et économiser la bande passante.

### 2.1.5 Les Modèles de la Couverture

Les modèles de couverture dans les réseaux de capteurs sans fil peuvent être classés en deux grandes catégories : déterministes et incertains. La classification générale proposée est catégorisé sous deux modèles:

- **Modèles Déterministes:**
  - **Modèle de Couverture Déterministe Global:** Ce modèle considère que chaque capteur a une portée fixe et détermine la couverture globale du réseau en fonction de la disposition spatiale des capteurs.
  - **Modèle de Couverture Déterministe Local:** Ce modèle prend en compte des facteurs supplémentaires tels que les obstacles physiques, la propagation des ondes, et les interférences pour déterminer la couverture de chaque capteur individuel.
- **Modèles Incertains :**
  - **Modèle de Couverture Incertaine Probabiliste:** Ce modèle utilise des probabilités pour décrire la couverture des capteurs, prenant en compte des variations aléatoires telles que le bruit, la fluctuation du signal, et les conditions environnementales changeantes.
  - **Modèle de Couverture Incertaine Stochastique:** Ce modèle s'appuie sur des processus stochastiques pour modéliser la couverture des capteurs, en tenant compte de l'incertitude inhérente aux variables environnementales et aux performances des capteurs.

FIGURE 2.5 illustre de manière générale les différents types de couverture dans les RCSF proposés dans la littérature [13].

Chaque type de modèle (FIGURE 2.3) a ses propres avantages et limitations, et le choix du modèle dépend souvent des besoins spécifiques de l'application, de la complexité du réseau de capteurs, et des ressources disponibles pour la modélisation et l'analyse.

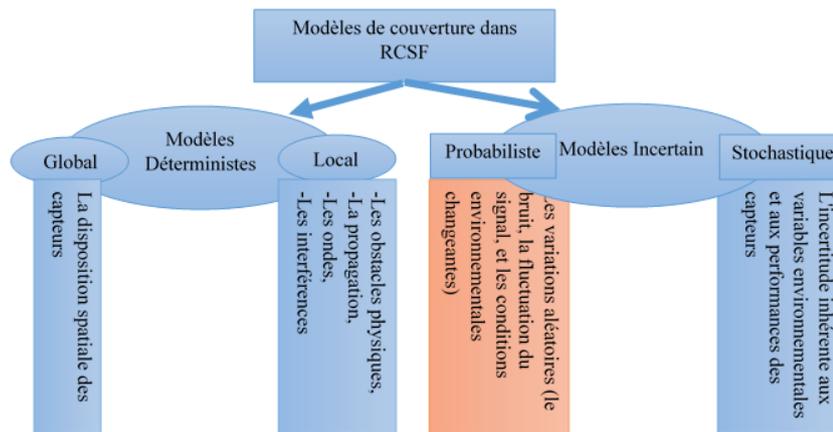


FIGURE 2.3: Classification Classique des modèles de Couverture dans RCSF [3]

La couverture constitue le principal défi des applications de réseaux de capteurs, car elle mesure la relation entre le réseau et l'environnement. Naturellement, la quantification de cette couverture dépend fortement des besoins de l'application dans des environnements certains et incertains, c'est pourquoi plusieurs notions de couverture ont émergé telles que la couverture de zone, la couverture de barrière et la couverture de cible [4]. Les besoins humains génèrent différents types et topologies, parmi lesquels on trouve des topologies dynamiques, des topologies statiques. Certains besoins exigent une couverture permanente de la zone d'intérêt, tandis que d'autres nécessitent une couverture périodique. Cela peut se faire avec une couverture complète ou partielle de la zone d'intérêt.

- **Couverture de Barrière** La couverture de barrière dans les réseaux de capteurs sans fil (RCSF) est une stratégie qui vise à assurer une surveillance efficace d'une zone spécifique. Elle implique le déploiement de capteurs le long des limites d'une région à surveiller. En conséquence; vise à réduire le risque de pénétration inaperçue à travers la barrière (réseau de capteurs) [22].

– **Avantages**

- \* **Efficacité de Surveillance** : La couverture de barrière maximise la détection des intrusions ou des événements en plaçant les capteurs le long des frontières, où ils sont susceptibles d'intercepter tout mouvement suspect.
- \* **Réduction de la Redondance** : En se concentrant sur les limites, la couverture de barrière peut réduire la redondance des capteurs à l'intérieur de la zone surveillée, optimisant ainsi l'utilisation des ressources.
- \* **Réponse Rapide** : Les capteurs le long de la barrière peuvent détecter rapidement toute activité anormale, permettant une réponse rapide aux événements.

– **Inconvénients:**

- \* **Sensibilité aux Contournements** : Les barrières peuvent être contournées par des intrus habiles, créant des lacunes dans la couverture.

- \* **Défi de Déploiement** : Placer les capteurs le long de toutes les frontières peut nécessiter une planification et un déploiement précis, ce qui peut être complexe dans des environnements étendus ou difficiles d'accès.
- \* **Coût Élevé** : Le déploiement le long des frontières peut nécessiter davantage de capteurs et, par conséquent, peut être coûteux en termes de matériel et de maintenance.

– **Exemples de protocoles de couverture barrière**

- \* Couverture de barrière K via l'interférence probabiliste des états de table de vérité dans un réseau de capteurs homogène (KBC-PITT): La principale contribution de ce robuste protocole de couverture K-barrière est qu'il est basée sur la planification des combinaisons de changement d'état (0/1) dans la table de vérité. Le changement d'état des nœuds (Actif/Passif) dépend de tables de vérité basées sur une formule mathématique de probabilité qui rend impossible le franchissement des barrières (la probabilité d'intrusion tend vers zéro) [22].
- \* l'algorithme du plus court chemin à plusieurs tours (MSPA): résoudre le problème d'optimisation, qui fonctionne de manière heuristique pour garantir l'efficacité tout en maintenant des solutions quasi-optimales. Plusieurs algorithmes classiques pour trouver le nombre maximal de barrières fortes disjointes sont également modifiés pour résoudre le problème de barrières croisées et dans le but de comparaison.

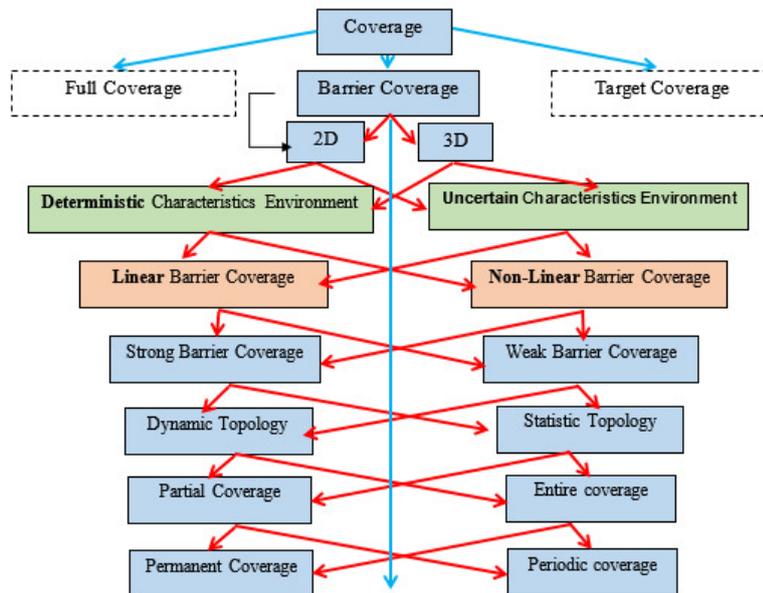


FIGURE 2.4: Classification de la Couverture K-Barrières dans RCSF [3]

• **Couverture de Zone**

Les RCSF sont le lieu où le principal objectif du réseau de capteurs est de couvrir une zone géographique (une région) [23].

– **Avantages :**

- \* **Surveillance Complète :** La couverture de zone garantit que l'ensemble de la zone d'intérêt est surveillé, permettant une collecte de données exhaustive.
- \* **Détection Précoce :** Les capteurs réagissent rapidement aux événements en surveillant en permanence la zone, ce qui permet une détection précoce d'anomalies.
- \* **Optimisation de la Gestion d'énergie :** Une couverture efficace peut contribuer à une utilisation plus efficace de l'énergie des capteurs en évitant la redondance.

– **Inconvénients :**

- \* **Consommation d'énergie :** Le maintien d'une couverture constante peut entraîner une consommation d'énergie élevée, réduisant la durée de vie de la batterie des capteurs.
- \* **Redondance Potentielle :** Certains capteurs peuvent se chevaucher, entraînant une redondance dans la collecte de données, ce qui peut être inefficace.
- \* **Difficulté dans les Environnements Dynamiques :** Dans les environnements changeants, maintenir une couverture constante peut être difficile, nécessitant une adaptation continue.

– **Exemples de Protocoles :**

- \* **MDS (Maximum Distance Separable) :** Utilisé pour maximiser la couverture en sélectionnant judicieusement l'emplacement des capteurs afin de couvrir une zone maximale avec un nombre minimal de capteurs.
- \* **HEED (Hybrid Energy-Efficient Distributed) :** Un protocole hybride qui combine des approches de clustering et de sélection de capteurs pour améliorer l'efficacité énergétique et la couverture.

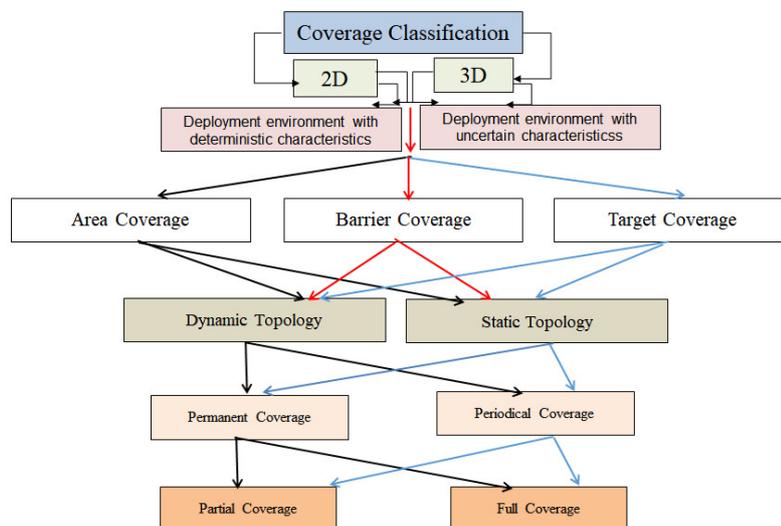


FIGURE 2.5: Classification de types de Couverture dans RCSF [4]

• **Couverture de Cible**

L'objectif principal de ce problème est de garantir la couverture d'un ensemble de cibles dont les positions géographiques sont préalablement connues ou en mouvement [24].

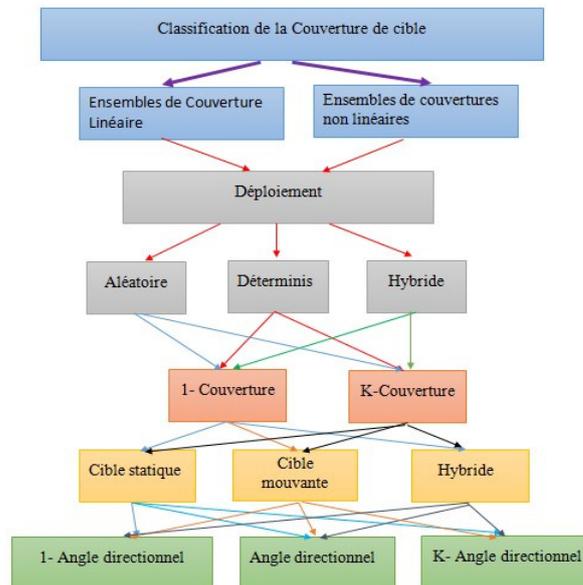


FIGURE 2.6: Classification de la Couverture de Cible dans le RCSF [5]

– **Formalisation du problème de la couverture de cible**

- \* Soit  $M = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$  un ensemble de  $m$  cibles déployé dans la zone d'intérêt.
- \* Soit  $C_k^i = \{thesensors_i; coverstargett_k\}$ .
- \* Soit  $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$  un ensemble de  $n$  noeuds de capteurs déployé dans la zone d'intérêt pour surveiller  $m$  cibles  $M = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$ .

Une cible  $p$  est considérée comme couverte par un capteur  $i$  si elle se trouve à l'intérieur de la région de détection des capteurs  $C_k^i$ . La durée de vie du réseau de capteurs peut être prolongée en trouvant les couvertures de capteurs disjointes (CCD). En pratique, la couverture des cibles est généralement exprimée en répondant à deux questions fondamentales [25] :

- \* Comment pouvons-nous trouver un ensemble minimal de couvertures disjointes de capteurs, noté  $C_m^i$ , pour suivre en continu un nombre observé de  $m$  cibles avec le capteur  $i$  ?
- \* Comment maximiser la durée de vie du réseau et les performances de couverture lorsque les couvertures disjointes de capteurs sont minimales ?

Nous avons proposé un algorithme (Algorithme 1) pour définir la relation entre les couvertures disjointes de capteurs (DSC) et le nombre maximal de cibles. La complexité arithmétique de notre stratégie est calculée en multipliant le nombre de fois qu'il

---

**Algorithm 1** Pseudo Algorithme pour trouver les couvertures disjointes de capteurs (DSC)

---

**Require:**  $n$ : correspond au nombre de nœuds à déployer;  
**Require:**  $k$ : correspond au nombre de cibles à couvrir (à surveiller);  
**Require:**  $C_k^i$ : correspond aux couvertures disjointes de  $k$  cibles à couvrir par le capteur  $i$ ;  
**Require:**  $d(x, y)$ : correspond à la distance euclidienne entre  $x$  et  $y$ ;  
**Require:**  $X$ : c'est une variable booléenne qui indique si la cible  $k$  peut être surveillée par le capteur  $s_i$ ;  
**Require:**  $X = 0$ ;

- 1: **for**  $j=1$  to  $k$  **do**
- 2:     **for**  $i=1$  to  $n$  **do**
- 3:         **if**  $d(t_j, s_i) < R_s$  **then;** //  $t_j$  dans la plage de surveillance du nœud capteur  $i$
- 4:              $C_k^i = \{C_k^i \cup t_j\}$ ; //  $C_k^i$  est l'ensemble de couvertures disjointes de  $k$  cibles à couvrir par le capteur  $i$
- 5:              $X = 1$ ;
- 6:         **end if**
- 7:         **if**  $X = 0$  **then** // **Aucun nœud capteur à proximité**
- 8:             Deploy a sensor node  $t_k$  where  $d(t_k, s_m) < R_s$  //  $t_k$  dans la plage de surveillance du nœud capteur  $m$
- 9:         **end if**
- 10:          $X = 0$ ;
- 11:     **end for**
- 12: **end for**

---

faut construire des ensembles (DSC) par le nombre maximum de nœuds capteurs dans chaque DSC de l'algorithme. Ainsi, pour  $n$ , le nombre de DSC :

$$n \times m \quad (2.1)$$

Le nombre d'instructions (Nbr\_Instructions) et la complexité arithmétique (C) nécessaires pour couvrir toutes les cibles dans le WSN avec  $n$  nœuds capteurs déployés sont :

Nbr\_Instructions= $n \times m$ . donc,  $C=O(n^2)$  (2.1).

- **Couverture à base d'ensemble de couverture linéaire**
- **Couverture à base d'ensemble de couverture non-linéaire**
- **Couverture suivant la Stratégie de Déploiement**

On cite:

- \* **Couverture avec Déploiement Déterministe**
- \* **Placement Optimal des Capteurs**
- **Couverture de cible avec Déploiement Aléatoire**
  - \* **Localisation des Nœuds Capteurs après Déploiement**
    - **Couverture suivant la stratégie d'angle à 1-direction (1-D):** Cette stratégie est proposée pour garantir une couverture d'une cible statique orientée vers un mode de détection unique (comme les pièges, les mines, ...)
    - **Couverture suivant la Stratégie la Direction d'angle (D):** Cette stratégie est proposée pour garantir une couverture

- du mode de détection unique orienté vers une cible mobile (180°) (exemple le contrôle cardiaque, ...)
- **Couverture suivant la Stratégie d'angle à K-Direction (K-D):** Cette stratégie est proposée pour couvrir les cibles mobiles et les événements spécifiques en 3D ou plus (exemple: les drones, ...)
  - \* **Algorithmes de Couverture de cible:**
  - \* **Métriques de Couverture de cible**
- **Comparaison entre les différentes stratégies de couverture de cible**

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

TABLEAU 2.1 cite quelques travaux récents dans la couverture de cibles, où:

- Type de Direction (Dec): Angle directionnel (D), Angle d'un seul direction (1-D), Angle multi-directionnel avec k directions (K-D),
- Types de cibles: Fixe (statique), en mouvement (mobile), ou hybride,
- Types de déploiement (Dep): Aléatoire (R), Déterministe (T)
- Type d'ensemble connectés (L/N CS): Non-linéaire (N) et Linéaire (L),
- Type d'environnement (Env): 2D ou 3D.

TABLEAU 2.2 illustre une étude comparative entre les différents travaux de couverture K-Cibles en fonction de la couverture, de la connectivité et de l'efficacité énergétique, où:

- Garantie de couverture (CovG) : couverture garantie ( $\checkmark$ ), sinon ( $\boxtimes$ ),
- Garantie de connectivité (ConG) : connectivité garantie ( $\checkmark$ ), sinon  $\boxtimes$ ,
- Garantie d'efficacité énergétique: énergie efficace ( $\checkmark$ ), sinon  $\boxtimes$ .

## Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons concentré nos travaux en trois catégories selon les techniques utilisées, en mettant particulièrement l'accent sur la couverture de cible. Ces trois catégories comprennent les approches protocolaires, les approches géométriques et les approches analytiques, pour lesquelles nous avons détaillé certaines solutions. Ce chapitre résume les différents types de couverture et est enrichi par plusieurs travaux de littérature décrivant diverses stratégies de couverture. Ces stratégies sont présentées sous forme de tableaux, accompagnés de comparaisons entre les différentes techniques utilisées, en mettant spécialement l'accent sur la couverture de cible.

L'objectif de ces solutions proposées est généralement de trouver le nombre minimal de nœuds connectés nécessaires pour assurer la couverture de cible.

Ref/ No, Pub Année	Objectif	Techniques Utilisées	Type RCSF	Type Cible	Type Cove	Env	Drc	Dep	L/N CS
Zho P, et al [26], 2019	Les capteurs sont organisés en clusters équilibrés en charge à l'aide d'algorithmes distribués pour la surveillance des cibles. L'algorithme de chargement appelé <i>ambda</i> -GTSP est utilisé pour déterminer le nombre optimal de capteurs à charger dans chaque cluster afin de maintenir la couverture K des cibles	Assouplir la rigueur du fonctionnement continu en autorisant certains capteurs à s'épuiser temporairement en énergie tout en maintenant la couverture cible k dans le réseau à un faible coût de MC	S	Hybride	k	2D	D	R	N
Deepa R, et al [27], 2018	Algorithme de planification et approche de couverture par ensemble pour atteindre une couverture	L'approche de la couverture d'ensemble joue un rôle majeur dans la résolution du problème de couverture des cibles	S	Fixe	k	2D	1-D	T	L
Dione D, et al [28], 2022	Optimiser la durée de vie du réseau de capteurs couvrant des cibles en mouvement en minimisant la consommation d'énergie du réseau	Un modèle mathématique basé sur la programmation linéaire de variables entières mixtes et MINOS est utilisé pour déterminer sa résolution et obtenir des résultats numériques afin d'obtenir une planification appropriée de l'activation des capteurs en augmentant la durée de vie des capteurs	S	Mobile	k	2D	1-D	R	L
Dieyan L, et al [29], 2022	Un algorithme de répartition de capteurs maximisant les cibles couvertes sous la contrainte que la distance maximale de déplacement pour chaque capteur est utilisée	Quatre algorithmes pour le résoudre de manière heuristique ou approximative	M	En mouvement	k	2D	D	R	N
Wang K, et al [30], 2019	Algorithme hybride d'optimisation binaire des baleines (HBWOA) pour résoudre le modèle de sélection des capteurs construit	Les données de mesure actuelles et la borne inférieure postérieure conditionnelle de Cramer-Rao (CPCRLB)	M	En mouvement	k	3D	K-D	R	L

TABLE 2.1: Quelques travaux récents sur la couverture de différents K-Cibles

Ref/ No, Pub Année	Objectif du Papier	Techniques Utilisées	Cove	Conc	Ener
La Van Q, et al [31], 2023	La formulation de maximisation de la durée de vie multi-objectifs avec la couverture des cibles est appelée MO-MMTC, qui prend en compte les fluctuations d'énergie entre les capteurs mobiles après chaque déplacement	Utilise l'Algorithme Génétique de Tri Non Dominé II Amélioré (ENSGA-II), un algorithme génétique à multiples populations	√	√	√
Haribansh M, et al [24], 2023	Optimisation de la couverture des cibles, et trouver l'ensemble de couverture maximale pour une couverture des cibles (TC) économe en énergie	Les automates d'apprentissage basés sur un algorithme de planification appelé algorithme d'auto-adaptation de la consommation minimale d'énergie (SAMECA)	√	√	√
Subramanian K, et al [32], 2023	Concentrez-vous sur les problématiques de couverture de cible et de zone dans les RSN hétérogènes et prolongez la durée de vie du réseau	L'extension de la durée de vie des WSN est étudiée dans le contexte du problème de couverture des cibles	√	√	√
Deepa R, et al [27], 2021	Sur la base des algorithmes de planification et des méthodes de couverture d'ensemble, une enquête exhaustive a été menée pour analyser les différentes méthodes et leur complexité algorithmique	L'algorithme de planification est utilisé de manière intermittente pour fournir le service de données requis avec une efficacité garantie	√	√	√
R. Pavithra, et al [33], 2023	Cet article propose un algorithme de planification et de déploiement de capteurs basé sur le "vertex shading" pour déterminer le nombre maximal de couvertures de capteurs et le positionnement optimal des capteurs	En divisant les nœuds capteurs en groupes indépendants, chaque groupe surveillant l'ensemble de la cible et s'activant séquentiellement, nous parvenons à une surveillance énergétiquement efficace dans le réseau	√	√	√
Pingzhang G, et al [34], 2023	Proposition d'une technologie de planification énergétique en trois dimensions pour les réseaux de capteurs sans fil souterrains, basée sur un algorithme mémétique amélioré et une stratégie de collaboration entre les nœuds IMA-NCS-3D	Créer une fonction de fitness multi-objectifs pour optimiser l'ensemble d'ordonnancement du réseau en utilisant l'encodage des états des nœuds en tant que gènes, combinant la sélection, le croisement, la mutation et la recherche locale	√	√	√

TABLE 2.2: Étude comparative des différents travaux de couverture K-Cible selon la couverture, la connectivité et l'efficacité énergétique

Cela permet d'améliorer la qualité de la couverture, de prolonger la durée de vie du RCSF et d'optimiser la consommation d'énergie de chaque nœud.

Dans le prochain chapitre, nous allons présenter la conception des protocoles choisis pour la comparaison, en vue de leur implémentation.

# **Chapitre 3**

## **Réalisation**

## Chapitre 3

# Réalisation

### Introduction

Un réseau de capteurs sans fil (RCSF) peut être constitué de nœuds statiques (topologie statique), de nœuds mobiles (topologie dynamique) ou d'une combinaison des deux (topologie hybride). Chaque topologie est adaptée à la résolution de différents types de problèmes de couverture.

Dans ce mémoire nous avons développé et comparé deux types de stratégies de couverture de cible : une à base de clustering et l'autre à base de probabilités. L'objectif de cette étude est d'identifier les avantages et les inconvénients de chaque type de stratégie.

### 3.1 Les démarches de fonctionnement d'une stratégie à base de clustering

Le principe général de fonctionnement d'un protocole de couverture de cible à base de clustering dans un réseau de capteurs sans fil (WSN) repose sur la division du réseau en groupes de nœuds appelés clusters. Chaque cluster a un chef, appelé Cluster Head (CH), qui coordonne les activités des membres du cluster. Les étapes principales du fonctionnement de ce type de protocole sont les suivantes [35]:

- **Étape 1: Configuration du réseau et des nœuds:** Dans cette étape, une prés-configuration des nœuds de capteurs est réalisée (le nombre de capteurs à utiliser, le rayon de couverture, le rayon de surveillance, . . .)
- **Étape 2: Formation des clusters:** en utilisant une stratégie appropriée, tel que k-means, la distance (euclidienne, géométrique, . . .)
- **Étape 3: Sélection des cluster-heads (CH):** Pour chaque cluster, un nœud désigné Cluster-Head est choisi, généralement en fonction de critères tels que la puissance du signal, la capacité de traitement ou la réserve d'énergie.
- **Étape 4: Communication des données inter-cluster:** Les nœuds membres dans chaque cluster communiquent avec leur cluster head et envoient leurs données.
- **Étape 5: Agrégation des données:** Le cluster-Head agrège et traite les données reçues des nœuds membres.

- **Étape 6: Communication des données intracluster:** Les données peuvent être transmises entre les cluster heads ou vers une station de base centrale. Le processus se répète périodiquement pour garantir un bon fonctionnement du protocole de clustering.

## 3.2 Les Étapes de simulation du protocole à base de clustering

Nous avons élaboré une stratégie de clustering en suivant les étapes décrites dans la section précédente.

### 3.2.1 Étape 1: Initialisation des Paramètres

Cette section initialise les paramètres de la simulation, tels que le nombre de capteurs, le nombre de cibles, la taille de la zone de déploiement, le rayon de couverture des capteurs, et le nombre de clusters (FIGURE 3.1)

```
numSensors = nbrN; % Nombre de Noeuds déployés
numTargets = nbrT; % Nombre de Cibles Mobiles
areaSize = arS; % Taille de la zone (par exemple, 100×100)
sensorRange = rs; % Rayon de couverture du capteur
numClusters = nbrcls; % Nombre de clusters
```

FIGURE 3.1: Étape 1:Initialisation des paramètres de simulation

### 3.2.2 Étape 2: Déploiement initiale

Les positions initiales des capteurs et des cibles sont générées de manière aléatoire dans les limites de la zone définie (FIGURE 3.2).

```
sensors = rand(numSensors, 2) * areaSize; % Positions aléatoires des capteurs
targets = rand(numTargets, 2) * areaSize; % Positions aléatoires des cibles
```

FIGURE 3.2: ajustement des positions initiales

### 3.2.3 Étape 3: Formation des Clusters

Les capteurs sont groupés en clusters en utilisant l'algorithme de k-means (FIGURE 3.3).

```
clusterIndices = kmeans(sensors, numClusters);
```

FIGURE 3.3: Formation de Clusters

```

clusterHeads = zeros(numClusters, 2);
for k = 1:numClusters
    clusterMembers = sensors(clusterIndices == k, :);
    if ~isempty(clusterMembers)
        clusterHeads(k, :) = clusterMembers(randi(size(clusterMembers, 1)), :);
    end
end
end

```

FIGURE 3.4: Sélection des Clusters-Heads

### 3.2.4 Étape 4: Sélection des Têtes de Clusters (CHs)

Un noeud de capteur est sélectionné aléatoirement dans chaque cluster pour être la tête de cluster (FIGURE 3.4).

### 3.2.5 Étape 5: Ajustement du déploiement Initiale

Cette section trace les positions initiales des capteurs, des cibles et des têtes de clusters. Les capteurs de chaque cluster sont affichés dans une couleur distincte, et des cercles représentant la portée des capteurs sont tracés autour des têtes de clusters (FIGURE 3.5).

```

figure;
hold on;
colors = lines(numClusters);
for k = 1:numClusters
    clusterMembers = sensors(clusterIndices == k, :);
    plot(clusterMembers(:,1), clusterMembers(:,2), 'o', 'Color', colors(k,:),...
        'MarkerSize', 10, 'DisplayName', ['Cluster ', num2str(k)]);
end
plot(targets(:,1), targets(:,2), 'rx', 'MarkerSize', 10, 'DisplayName', 'Targets');
plot(clusterHeads(:,1), clusterHeads(:,2), 'ks', 'MarkerSize', 12, 'DisplayName',...
    'Cluster Heads', 'LineWidth', 2);
for k = 1:numClusters
    rectangle('Position', [clusterHeads(k,1)-sensorRange, clusterHeads(k,2)-sensorRange,...
        sensorRange*2, sensorRange*2], ...
        'Curvature', [1, 1], 'EdgeColor', colors(k,:), 'LineWidth', 1.5, 'LineStyle', '--');
end
legend;
xlabel('Coordonnées X');
ylabel('Coordonnées Y');
title('Positions initiales des capteurs, des cibles et des têtes de Clusters');
hold off;

```

FIGURE 3.5: Ajustement du déploiement initiale

### 3.2.6 Étape 6: Calcul du taux de la Couverture Initiale

La couverture initiale des cibles par les clusters est calculée et affichée (FIGURE 3.6).

### 3.2.7 Étape 7: Calcul des positions des Cibles en mouvement

les cibles sont en mouvement de manière aléatoire à chaque étape de la simulation, met à jour les positions des cibles, recalcule la couverture et affiche les résultats. Les positions des capteurs, des cibles et des têtes de clusters sont retracées à chaque étape, comme illustré dans FIGURE 3.7 et FIGURE 3.8.

```

coverage = calculateClusterCoverage(clusterHeads, targets, sensorRange);

disp('Initial Coverage:');
disp(coverage);

```

FIGURE 3.6: Calcule du pourcentage de la couverture de cible initiale

```

numSteps = 100; % Nombre de pas de simulation iteration
targetSpeed = 1; % Vitesse des cibles
coverageHistory = zeros(numSteps, 1);
for step = 1:numSteps
    targets = targets + (rand(numTargets, 2) - 0.5) * targetSpeed;
    targets = max(min(targets, areaSize), 0);
    coverage = calculateClusterCoverage(clusterHeads, targets, sensorRange);
    coverageHistory(step) = mean(coverage) * 100;
    clf;
    hold on;
    for k = 1:numClusters
        clusterMembers = sensors(clusterIndices == k, :);
        plot(clusterMembers(:,1), clusterMembers(:,2), 'o', 'Color', colors(k,:),...
            'MarkerSize', 10, 'DisplayName', ['Cluster ', num2str(k)]);
    end
end

```

FIGURE 3.7: Simulation des Déplacements des Cibles

```

plot(targets(:,1), targets(:,2), 'rx', 'MarkerSize', 10, 'DisplayName', 'Targets');
plot(clusterHeads(:,1), clusterHeads(:,2), 'ks', 'MarkerSize', 12, 'DisplayName',...
    'Cluster Heads', 'LineWidth', 2);
for k = 1:numClusters
    rectangle('Position', [clusterHeads(k,1)-sensorRange, clusterHeads(k,2)-sensorRange,...
        sensorRange*2, sensorRange*2], ...
        'Curvature', [1, 1], 'EdgeColor', colors(k,:), 'LineWidth', 1.5, 'LineStyle', '--');
end
legend;
xlabel('Coordonnées X de la zone de déploiement');
ylabel('Coordonnées Y de la zone de déploiement');
title(['etape ', num2str(step)]);
hold off;
drawnow;
disp(['Etape ', num2str(step), ' Coverage:']);
disp(coverage);
pause(0.1);
end
Temp_final = coverage;

```

FIGURE 3.8: Simulation des Déplacements des Cibles

### 3.2.8 Étape 8: Calcul du taux de la Couverture de cible final

Le calcul de garantie de la couverture d'une cible (si elle couverte ou non) se fait par la fonction `isCovered`, et le calcul de couverture totale des cibles se fait par la fonction `calculateClusterCoverage`, comme il est illustré dans la FIGURE 3.9.

```
function covered = isCovered(sensor, target, range)
    distance = sqrt((sensor(1) - target(1))^2 + (sensor(2) - target(2))^2);
    covered = distance <= range;
end

function coverage = calculateClusterCoverage(clusterHeads, targets, range)
    numTargets = size(targets, 1);
    numClusters = size(clusterHeads, 1);
    coverage = zeros(numTargets, 1);
    for i = 1:numTargets
        for j = 1:numClusters
            if isCovered(clusterHeads(j, :), targets(i, :), range)
                coverage(i) = 1;
                break;
            end
        end
    end
end
```

FIGURE 3.9: Quelques fonctions de simulation

## 3.3 Motivations et Objectifs derrière la couverture à base de clustering

En combinant ces motivations, les protocoles de couverture de cible à base de clustering visent à améliorer les performances globales des réseaux ad-hoc sans fil en optimisant l'utilisation des ressources, en facilitant la gestion et le routage, et en améliorant la fiabilité et l'efficacité énergétique. Parmi les principales motivations derrière ces protocoles sont les suivantes :

- **Facilitation du routage de données** : En structurant le réseau en clusters, les protocoles de clustering facilitent le routage en réduisant la complexité des tables de routage et en limitant la portée des messages de routage.
- **Amélioration de la fiabilité** : En limitant la portée des communications à l'intérieur des clusters, les protocoles de clustering peuvent améliorer la fiabilité en réduisant les pertes de paquets et les retards de transmission.

Dans ce qui suit, on cite quelques objectifs visant à améliorer les performances globales du réseau de cluster de couverture de cible, en garantissant une couverture efficace, une utilisation efficiente des ressources et une fiabilité élevée des communications. Parmi les principaux objectifs du protocole de couverture de cible basé sur le clustering sont les suivants :

- **Gestion de la connectivité** : Assurer une connectivité robuste et fiable entre les nœuds, en particulier entre les nœuds frontières et les nœuds de cluster, pour maintenir une couverture homogène de la cible.
- **Adaptabilité dynamique** : Ajuster dynamiquement la configuration du cluster et la répartition des tâches en fonction des changements dans l'environnement réseau, tels que la mobilité des nœuds ou les variations de la demande de couverture.
- **Réduction de la latence** : Minimiser le délai de transmission des données en optimisant les chemins de communication et en évitant les congestions, ce qui est essentiel pour les applications sensibles à la latence comme la télémédecine ou le contrôle à distance.

### 3.4 Les démarches de fonctionnement d'une stratégie à base probabiliste

Le principe général de fonctionnement d'un protocole basé sur les probabilités est le suivant [36]:

- **Étape 1: Pré-Configuration** Au début, chaque nœud du réseau attribue une probabilité, généralement 1. Cela peut être lié à des tâches spécifiques, des choix de routage, des décisions de transmission, etc.
- **Étape 2: Évaluation des probabilités** : Chaque nœud évalue les probabilités en fonction de différents critères tels que l'état du réseau (environnement dur ou simple), les mesures de performance (quelle performance demandée), les informations locales disponibles (2D ou 3D), etc. Ces critères peuvent varier en fonction de l'objectif du protocole.
- **Étape 3: Sélection basée sur des probabilités** : Les nœuds prennent des décisions en utilisant des probabilités. Par exemple, un nœud peut décider de transmettre des données vers un autre nœud en fonction d'une probabilité de transmission déterminée. Les actions sont choisies en fonction des probabilités attribuées à chaque option.
- **Étape 4: Adaptation dynamique de probabilités** : Les probabilités peuvent être ajustées dynamiquement en fonction de l'évolution des conditions du réseau. Par exemple, si la qualité du lien diminue, un nœud peut augmenter la probabilité de choisir une autre route de communication.
- **Étape 5: Analyse des résultats** : Les résultats des actions basées sur les probabilités sont collectés et analysés pour évaluer les performances du protocole.  
Cela peut inclure des mesures telles que le débit, la latence, l'utilisation de la bande passante, etc.
- **Étape 6: Mise à jour des probabilités** : Les probabilités peuvent être mises à jour périodiquement ou en fonction d'événements spécifiques. Cela permet d'adapter les décisions en fonction des changements dans

le réseau ou dans les objectifs du protocole. L'utilisation de probabilités dans un protocole permet une prise de décision adaptative et distribuée, en tenant compte de divers critères et conditions du réseau. Cela permet d'optimiser les performances, d'ajuster les actions en fonction des fluctuations du réseau et de faciliter l'adaptation aux changements dynamiques.

## 3.5 Étapes de la simulation de notre stratégie à base de probabilités

Nous avons développé une stratégie de clustering en suivant les étapes décrites dans la section précédente

### 3.5.1 Étape 1: Initialisation des Paramètres

Cette étape est illustrée par la FIGURE 3.10 et la FIGURE 3.11

- Variables de simulation : Cette étape est illustrée par la FIGURE 3.10.

```
numSensors = nbrN; % Nombre de capteurs
numTargets = nbrT; % Nombre de cibles mobiles
areaSize = arS; % Taille de la zone (par exemple, 100x100)
sensorRange = rs; % Portée de couverture des capteurs
numClusters = nbrcls; % Nombre de clusters
```

FIGURE 3.10: Paramètres de simulation

- Les positions initiales des neuds de capteurs et des cibles: Cette étape est illustrée par la FIGURE 3.11.

La distance entre un capteur et une cible est calculée par l'équation 3.3 [37] :

$$D = \sqrt{(x_s - x_t)^2 + (y_s - y_t)^2} \quad (3.1)$$

où  $(x_s, y_s)$  sont les coordonnées du capteur et  $(x_t, y_t)$  sont les coordonnées de la cible.

```
sensors = rand(numSensors, 2) * areaSize; % Positions aléatoires des capteurs
targets = rand(numTargets, 2) * areaSize; % Positions aléatoires des cibles
```

FIGURE 3.11: Calcul des positions initiales des noeuds de capteurs et des cibles

### 3.5.2 Étape 2: Calcul des positions initiales

Le déploiement initial (positions initiales) des capteurs et des cibles est illustrée par la FIGURE 3.12.

Mise à jour des positions des cibles (*targets*) est définie par l'équation 3.2 :

$$\text{Cibles} \begin{cases} = \text{targets} + (\text{rand}(\text{numTargets}, 2) - 0.5) \times \text{targetSpeed} \\ = \text{targets} + (\text{rand}(\text{numTargets}, 2) - 0.5) \times \text{targetSpeed} \end{cases} \quad (3.2)$$

```
figure;
hold on;
plot(sensors(:,1), sensors(:,2), 'bo', 'MarkerSize', 10, 'DisplayName', 'Capteurs');
plot(targets(:,1), targets(:,2), 'rx', 'MarkerSize', 10, 'DisplayName', 'Cibles');
```

FIGURE 3.12: Déploiement des capteurs et des cibles

Les rayons de couverture de chaque capteur sont illustrées par la FIGURE 3.13. L'ajout d'éléments graphiques et l'affichage de la figure (grille) est

```
for i = 1:numSensors
    rectangle('Position', [sensors(i,1)-sensorRange, sensors(i,2)-sensorRange,...
        sensorRange*2, sensorRange*2], ...
        'Curvature', [1, 1], 'EdgeColor', 'b', 'LineWidth', 1.5, 'LineStyle', '--');
end
```

FIGURE 3.13: Les Rayons  $R_c$  de couverture

illustré par la FIGURE 3.14.

```
legend;
xlabel('Coordonnée X');
ylabel('Coordonnée Y');
title('Positions Initiales des Capteurs et des Cibles');
hold off;
```

FIGURE 3.14: L'ajout d'éléments graphiques et l'affichage

### 3.5.3 Étape 3: Calcul du taux de la couverture initiale

Le calcul du taux de la couverture initiale avec une probabilité est illustrée par la FIGURE 3.15

### 3.5.4 Étape 4: Simulation de la couverture au fil du temps

Dans cette étape, nous avons illustré comment nous avons calculé le taux de couverture de cibles.

- Calcul de la distance euclidienne  $D$  : La distance entre un capteur et une cible est calculée par l'équation 3.3 [37] :

$$D = \sqrt{(x_s - x_t)^2 + (y_s - y_t)^2} \quad (3.3)$$

```
coverage = calculateCoverageProbability(sensors, targets, sensorRange);
disp('Couverture Initiale :');
disp(coverage);
```

FIGURE 3.15: Calcule de la couverture initiale

où  $(x_s, y_s)$  sont les coordonnées du capteur et  $(x_t, y_t)$  sont les coordonnées de la cible.

- Calcul de probabilité de la détection: Nous avons utilisé une distribution exponentielle (la probabilité de détection diminue exponentiellement avec la distance). Cette loi est définie généralement avec l'équation 3.4:

$$f(x, \lambda) = \lambda e^{-\lambda x} \quad (3.4)$$

où  $\lambda$  est le taux (rate parameter) de la distribution. Dans notre cas, la probabilité de détection d'un capteur est définie comme une fonction exponentielle décroissante de la distance. Si la distance est inférieure ou égale à la portée du capteur, la probabilité de détection  $P_d$  est donnée par l'équation 3.5 :

$$P_d = e^{(-\frac{d}{R_c})} \quad (3.5)$$

où  $R_c$  est la portée de couverture du noeud de capteur,  $d$  est la distance entre le capteur et la cible.

- Garantie de la Couverture : Dans notre cas, une cible est considérée comme couverte si un nombre aléatoire  $rand()$  (uniformément distribué entre 0 et 1), est inférieur à la probabilité de détection  $P_c$  (équation 3.6) :

$$P_c = \begin{cases} e^{(-\frac{d}{R_c})} : (d \leq R_c), \\ 0 & else \end{cases} \quad (3.6)$$

Le calcul de la couverture globale est définie par l'équation 3.7.

$$cov = \frac{\sum(coverage)}{numTargets} \times 100 \quad (3.7)$$

où  $\sum(coverage)$  est la somme de toutes les zones couvertes par les noeuds actives, et  $numTargets$  est le nombre de cibles en mouvement dans ces zones.

Les paramètres de simulation sont illustrées par la FIGURE 3.16.

```
numSteps = 100; % Nombre d'étapes de simulation
targetSpeed = 1; % Vitesse des cibles
coverageHistory2 = zeros(numSteps, 1); % Historique de couverture
```

FIGURE 3.16: Les Paramètres de la simulation

```
function covered = isCovered(sensor, target, range)
    distance = sqrt((sensor(1) - target(1))^2 + (sensor(2) - target(2))^2);
    if distance <= range
        % Définir une probabilité de détection basée sur la distance
        detectionProbability = exp(-distance / range);
        covered = rand() < detectionProbability;
    else
        covered = false;
    end
end
```

FIGURE 3.17: La Fonctions "iscovered"

```
function coverage = calculateCoverageProbability(sensors, targets, range)
    numTargets = size(targets, 1);
    numSensors = size(sensors, 1);
    coverage = zeros(numTargets, 1);
    for i = 1:numTargets
        for j = 1:numSensors
            if isCovered(sensors(j, :), targets(i, :), range)
                coverage(i) = 1;
                break;
            end
        end
    end
end
```

FIGURE 3.18: La fonction calculateCoverageProbability

Protocole à base de Probabilités	
Fonction utilisée	Description de rôle de la fonction
isCovered	Vérifie si une cible est couverte par un capteur avec une certaine probabilité.
calculateCoverageProbability	Calcule la couverture des cibles par les capteurs en utilisant la fonction isCovered.
Protocole à base de clustering	
isCovered	Cette fonction détermine si une cible est couverte par un capteur en fonction de leur distance.
calculateClusterCoverage	Cette fonction calcule la couverture des cibles par les têtes de clusters en utilisant la fonction isCovered.

TABLE 3.1: Les fonctions utilisées

### 3.5.5 Les Fonctions Auxiliaires

La fonction pour vérifier si une cible est couverte par un capteur avec une probabilité est illustrée par la FIGURE 3.17.

La fonction pour calculer la couverture des cibles par les capteurs est illustrée par la FIGURE 3.18 La TABLE 3.1 résume toutes les fonctions utilisées pour la simulation, soit à base de clustering ou à base de probabilités.

## 3.6 Motivation et Objectif derrière la couverture à base de probabilités

Les objectifs principaux du protocole probabiliste choisi sont [38]:

- Optimisation de la couverture : L'objectif principal est d'optimiser la couverture des cibles surveillées par les capteurs. Cela implique de maximiser la probabilité qu'une cible soit couverte par au moins un capteur dans le réseau.
- Fiabilité de la communication : Le protocole vise également à assurer une communication fiable entre les capteurs et la base de données ou le centre de contrôle. Cela peut inclure des mécanismes de réacheminement probabilistes pour contourner les zones de faible connectivité ou de congestion.
- Adaptabilité et évolutivité : Enfin, le protocole devrait être adaptable aux changements dynamiques de l'environnement, tels que l'ajout de nouveaux capteurs ou le déplacement des cibles. Il doit également être scalable pour fonctionner efficacement dans des réseaux de capteurs de différentes tailles.

### 3.7 Objectifs derrière cette Comparaison de deux protocoles

Nous avons sélectionné pour notre étude deux protocoles : l'un basé sur des techniques probabilistes et l'autre sur le clustering.

- Le protocole de couverture de cible à base clustering dans un RCSF fonctionne en initialisant le réseau, en sélectionnant les capteurs cluster-heads, en formant des clusters en fonction de la proximité géographique, en assurant la communication et la coordination entre les cluster-heads et les capteurs membres du cluster, en gérant efficacement l'énergie et en permettant une adaptation dynamique en fonction des changements de la cible et de l'état du réseau. L'objectif global de ce protocole est d'optimiser la surveillance de la cible en utilisant de manière efficace les capteurs disponibles tout en préservant l'énergie du réseau. Les détails précis du fonctionnement dépendent des algorithmes et des approches utilisés, ainsi que des contraintes et des objectifs spécifiques de l'application du réseau de capteurs sans fil [39].
- Le protocole de couverture de cible à base probabiliste dans RCSF calcule la probabilité de couverture d'une cible et décide à l'aide de ce probabilité si la cible est couverte ou non.

### 3.8 Conclusion

Ce chapitre vise à offrir une vue d'ensemble des deux protocoles sélectionnés pour la comparaison dans notre étude, l'un étant basé sur des méthodes probabilistes et l'autre sur le clustering. Nous avons exposé les points clés de chaque stratégie proposée, expliqué leur fonctionnement et mis en avant la motivation et les objectifs respectifs.

Cette présentation reflète le but de notre comparaison, qui consiste à évaluer l'impact de la technique de clustering dans le traitement des problèmes affectant les réseaux de capteurs sans fil. Dans le prochain chapitre, nous présenterons les résultats de cette comparaison en termes de taux de couverture pour chaque protocole, puis nous analyserons les conclusions tirées.

# **Chapitre 4**

## **Simulation et Comparaison**

## Chapitre 4

# Simulation et Comparaison

### Introduction

Les réseaux de capteurs sans fil (RCSF) jouent un rôle crucial dans divers domaines, tels que la surveillance environnementale, la sécurité, et les systèmes de santé. L'efficacité de ces réseaux repose largement sur la performance des protocoles de couverture, qui assurent que les zones d'intérêt sont adéquatement surveillées tout en optimisant l'utilisation des ressources. Dans ce chapitre, nous explorons la simulation des protocoles de couverture dans les RCSF. Nous commençons par une discussion sur les simulateurs disponibles pour cette tâche, à savoir NS-2, TOSSIM et OPNET, Matlabe, . . . [40], suivie d'une justification de notre choix d'utiliser MATLAB. Ensuite, nous présentons la conception de deux protocoles choisis pour la comparaison, les différents écrans d'exécution, une analyse des résultats obtenus, et nous terminons par une section de comparaison et une conclusion résumant nos observations.

- **NS-2/NAM (Network Simulator 2)** : NS-2 est un simulateur générique à événements discrets largement utilisé pour les réseaux. Il a été développé en C++ et offre une prise en charge étendue pour une variété de protocoles dans toutes les couches du réseau. NS-2 utilise OTcl comme interface de configuration et de script.
- **TOSSIM** : TOSSIM est un émulateur de réseaux de capteurs sans fil (RCSF) conçu pour fonctionner avec le système d'exploitation TinyOS. Il effectue des simulations au niveau du bit, offrant ainsi une granularité fine. Pour faciliter l'interaction avec les simulations, TOSSIM est accompagné de TinyViz, un outil graphique doté d'une interface utilisateur (GUI). TinyViz permet aux utilisateurs de visualiser, afficher, contrôler et déboguer les simulations en cours. De plus, il offre la possibilité de capturer et d'injecter des messages sur le canal radio, ce qui permet des analyses plus avancées et une meilleure compréhension du fonctionnement des réseaux de capteurs sans fil simulés.
- **OMNet++ (Objective Modular Network Testbed in C++)** OMNet++ est un simulateur à événements discrets basé sur des composants et implémenté en C++. Il est utilisé pour simuler des réseaux filaires et sans fil, et il est considéré comme plus générique que NS-2 [41]. L'architecture d'OMNet++ est modulaire, ce qui permet la programmation et le débogage en C++ de nœuds simples. De plus, il offre une bibliothèque graphique puissante. Cependant, son principal inconvénient réside dans le nombre limité de protocoles disponibles dans sa bibliothèque.

## 4.1 Choix de MATLAB

Nous avons choisi MATLAB pour la simulation des protocoles de couverture dans les RCSF pour plusieurs raisons :

- **Facilité d'Utilisation** : MATLAB offre une interface conviviale et une syntaxe de programmation intuitive, ce qui permet une prise en main rapide et efficace.
- **Visualisation Graphique** : Les capacités de visualisation de MATLAB permettent de générer des graphes et des animations facilement, facilitant ainsi l'analyse et la présentation des résultats.
- **Prototypage Rapide** : MATLAB permet de développer et tester rapidement de nouveaux algorithmes grâce à ses vastes bibliothèques de fonctions mathématiques et de traitement de données.
- **Communauté et Support** : MATLAB dispose d'une vaste communauté d'utilisateurs et de nombreuses ressources pédagogiques, ce qui facilite la résolution des problèmes et l'apprentissage de nouvelles techniques.

MATLAB propose une interface graphique puissante et peut être enrichi en ajoutant des "boîtes à outils" (toolboxes) (FIGURE 4.1), qui sont des ensembles de fonctions supplémentaires conçues pour des applications spécifiques telles que le traitement de signaux, les analyses statistiques, l'optimisation, etc. De plus, MATLAB comprend un langage de programmation de haut niveau qui intègre la plupart des concepts des langages de programmation modernes tels que Pascal et C (FIGURE 4.2). L'ordre d'exécution des instructions est déterminé par des structures de contrôle. Il permet également la création de fonctions et fait la distinction entre les données locales et les données globales. Ces avantages font de MATLAB un langage de programmation et de simulation très demandé [42].

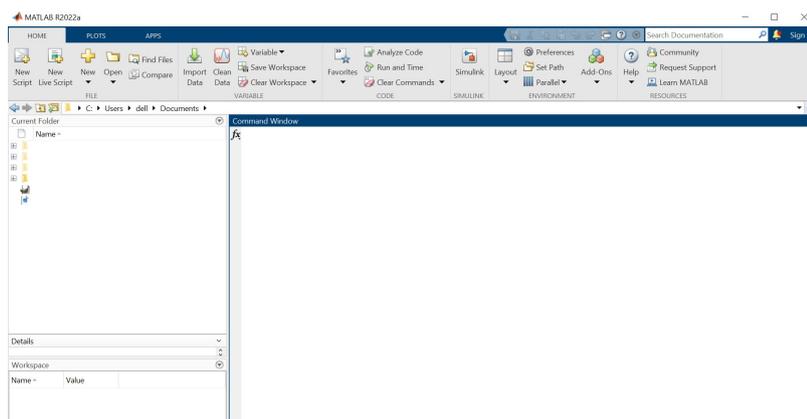


FIGURE 4.1: Le Simulateur MATLAB.

## 4.2 Simulation et Analyse de Résultats

Nous avons développé une application de simulation pour comparer deux protocoles de couverture de cible : l'un est à base de clustering et l'autre à base de probabilités ( FIGURE 4.3).

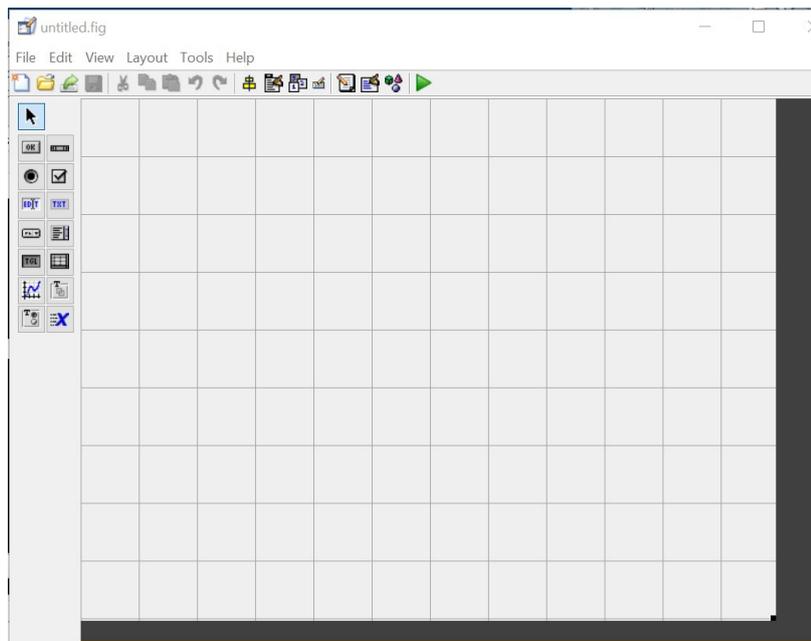


FIGURE 4.2: L'interface Graphique du MATLAB

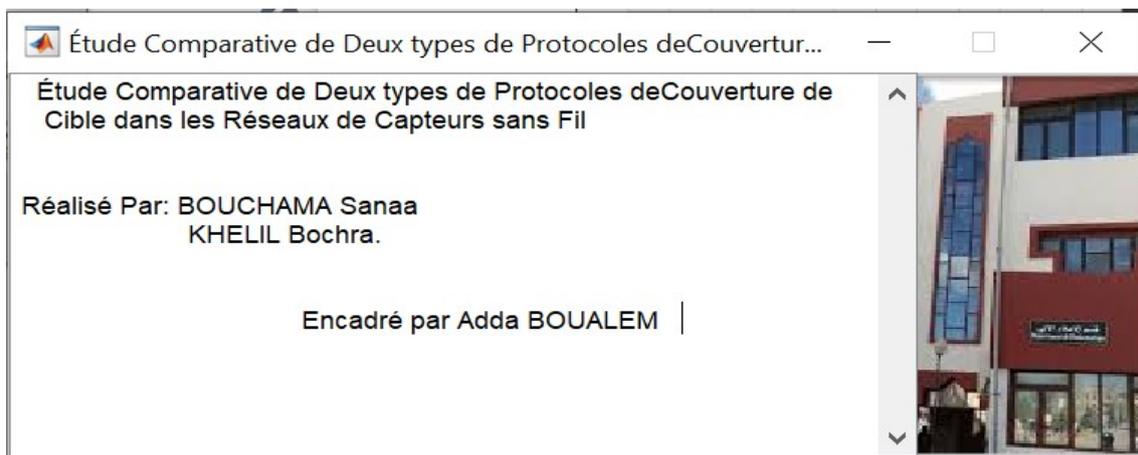


FIGURE 4.3: Fenêtre "A propos" de Notre Application de Simulation

Lorsque la simulation est lancée, le menu principal apparaît pour saisir les paramètres de simulation (FIGURE 4.4).

#### 4.2.1 Description de la simulation de couverture de cible à base de clustering

Nous avons présenté le menu principal de la simulation, contenant les paramètres suivantes: le nombre de noeuds utilisés, le nombre de cibles choisis, la zone de déploiement utilisé (YxY exemple 100x100, ou autre), le nombre de clusters (têtes de clusters).

Lors de l'affichage initial, chaque cluster est représenté par des points (capteurs) regroupés et colorés différemment. Les cibles sont représentées par des croix rouges, et les têtes des clusters sont représentées par des carrés noirs.

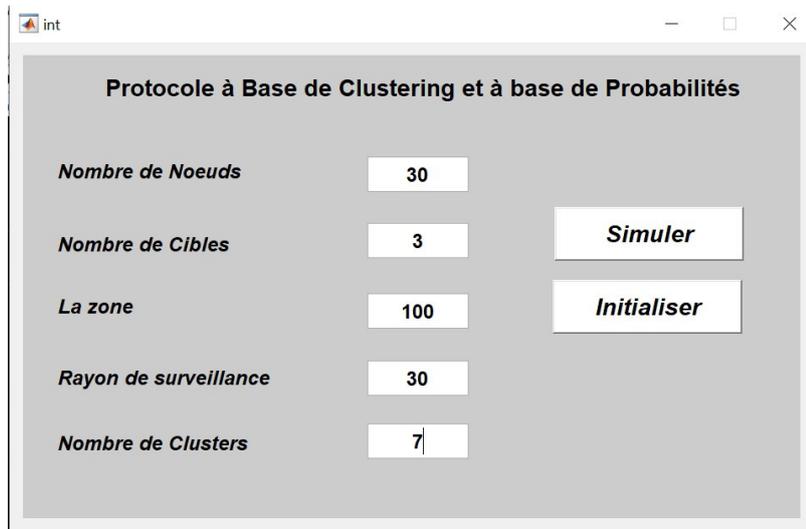


FIGURE 4.4: L'interface de la simulation

Les cercles sont tracés autour de chaque tête de cluster (CH) pour représenter la portée de communication. Les cercles autour des noeuds de capteurs indiquent la zone dans laquelle les capteurs peuvent détecter les cibles.

Pour chaque étape de la simulation, les positions des noeuds de capteurs, des cibles et des têtes de cluster sont mises à jour. Les nouvelles positions sont ensuite tracées pour refléter les changements. FIGURE 4.5 illustre les

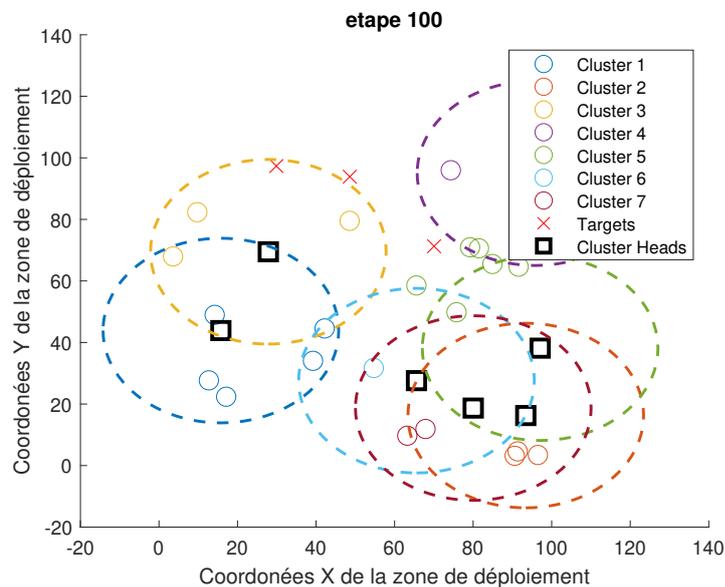


FIGURE 4.5: Fenêtre montrant la simulation à base de clustering à l'étape finale (100).

positions des capteurs et les clusters en fonction du temps de simulation.

### 4.3 Description de la simulation de couverture cible à base de probabilités

La simulation montre les positions initiales des capteurs (représentés par des points bleus) et des cibles (représentées par des croix rouges) dans une zone donnée (FIGURE 4.6). Des cercles entourent chaque capteur pour indiquer leur portée. La couverture des cibles dans la zone d'intérêt est assurée par la capacité du protocole appliqué à détecter les cibles en mouvement.

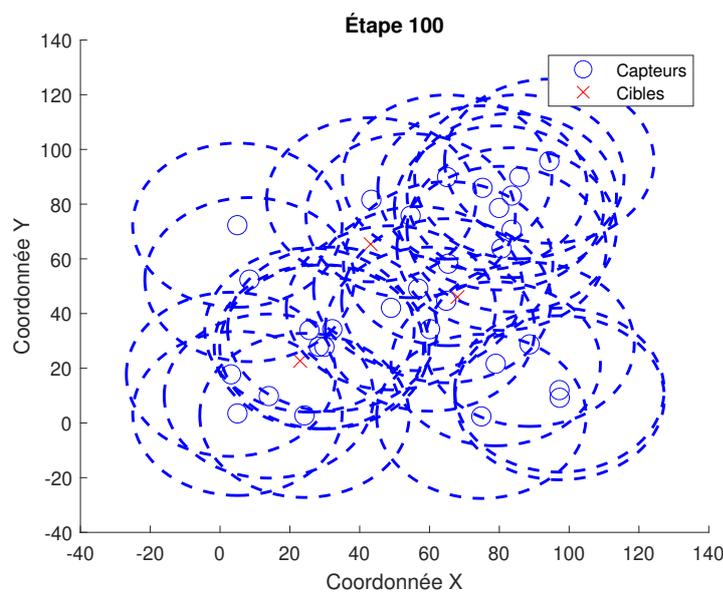


FIGURE 4.6: Fenêtre montrant la simulation à base de probabilités à l'étape finale (100)

### 4.4 Analyse de résultats

La FIGURE 4.7 montre le pourcentage de couverture de cible des deux protocoles simulés avec des paramètres identiques : nombre de nœuds, rayons de communication et de surveillance, zone de déploiement (zone d'intérêt) et nombre de cibles mobiles. Le protocole de couverture de cible à base de probabilité montre un pourcentage de couverture équilibré entre 67% et 100 %, car la probabilité de détection des cibles mobiles dépend de la position initiale des nœuds et de la vitesse constante des cibles. En revanche, le protocole à base de clustering offre un pourcentage de couverture stable, car la répartition périodique des rôles de Cluster-Head maintient la connectivité entre les nœuds de chaque cluster, assurant ainsi une couverture des cibles de 60 % dans cette simulation pendant toute la durée de vie du réseau.

Nous n'avons utilisé qu'une seule issue de simulation, ce qui a conduit à une légère augmentation du pourcentage en faveur des protocoles basés sur les probabilités par rapport à ceux basés sur le clustering.

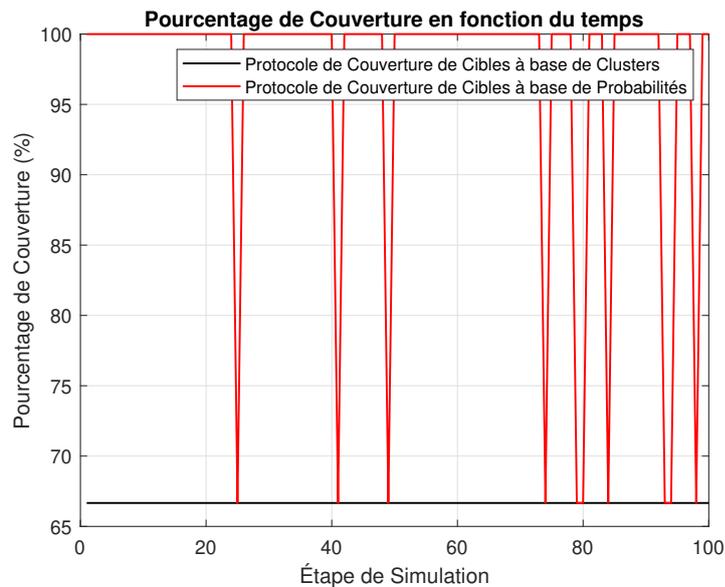


FIGURE 4.7: Le pourcentage de couverture des deux stratégies en fonction des étapes de simulations

## 4.5 Comparaison entre les stratégies à Base de Probabilités et à base de Clustering

Cette comparaison repose sur l'impact de la couverture sur la connectivité et la consommation énergétique dans le réseau sans les simulées. Pour ces raisons, nous avons ajouté les gains en termes de connectivité et de réduction de l'énergie consommée.

- **Fiabilité de Couverture**

- **Protocoles à base de Probabilités** : La couverture des cibles est souvent variable, car elle dépend de la position initiale des nœuds et de la probabilité de détection des cibles en mouvement. Cette variabilité peut entraîner des zones non couvertes, rendant la couverture moins fiable.
- **Protocoles à base de Clustering** : La répartition des rôles de Cluster-Head (CH) et la connectivité maintenue au sein des clusters assurent une couverture plus stable et fiable des cibles. La structure hiérarchique des clusters aide à maintenir une couverture cohérente, même avec des cibles en mouvement.

- **Connectivité**

- **Protocoles à base de Probabilités** : La connectivité entre les nœuds peut être aléatoire, car elle dépend des probabilités associées à chaque nœud. Cela peut entraîner des périodes de déconnexion, affectant la transmission de données et la coordination entre les nœuds.
- **Protocoles à base de Clustering** : La connectivité est généralement plus robuste, car les Cluster-Heads gèrent la communication et la coordination au sein de chaque cluster. La structure en clusters

Critère	Protocoles à Base de Probabilités	Protocoles à Base de Clustering
Fiabilité de Couverture	Variable, dépend de la position initiale et de la probabilité	Stable, assurée par la structure en clusters et les CH
Connectivité	Aléatoire, risque de déconnexion	Robuste, maintenue par les CH et la structure hiérarchique
Efficacité Énergétique	Moins optimale, énergie dépensée de manière redondante	Optimisée, rotation des CH et centralisation des tâches

TABLE 4.1: Comparaison entre les protocoles de couverture de cible basés sur probabilités et basés sur clustering

assure une meilleure gestion des chemins de communication et réduit les risques de déconnexion.

- **Efficacité Énergétique**

- **Protocoles à base de Probabilités** : L'efficacité énergétique peut être moins optimale, car les nœuds travaillent de manière indépendante et peuvent dépenser de l'énergie de manière redondante pour détecter les mêmes cibles ou maintenir la connectivité.
- **Protocoles à base de Clustering** : Ils tendent à être plus efficaces sur le plan énergétique, car les Cluster-Heads centralisent la communication et peuvent optimiser les tâches de détection et de transmission. La rotation des rôles de CH permet de répartir la consommation d'énergie entre les nœuds, prolongeant ainsi la durée de vie du réseau.

TABLE 4.1 illustre une comparaison générale entre les protocoles de couverture à base de clustering et à base de probabilités

## Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons décrit les étapes de la simulation de nos stratégies de couverture de cible dans RCSF, en justifiant notre choix d'utiliser MATLAB pour ces simulations. Nous avons commencé par une introduction détaillant les objectifs et les motivations de cette étude, en soulignant l'importance d'une couverture efficace dans les RCSF pour diverses applications.

La section de simulation a décrit en détail la conception des deux protocoles choisis pour la comparaison. Nous avons présenté les différents écrans et fenêtres d'exécution de la simulation, en illustrant les performances et les comportements à travers des graphes et des animations générés par MATLAB.

L'analyse des résultats obtenus a permis de mettre en évidence les points forts et les faiblesses de chaque protocole. Nous avons comparé les performances en termes de couverture, de consommation d'énergie et

d'efficacité globale, fournissant ainsi une évaluation complète et objective des protocoles étudiés.

En conclusion, ce chapitre les analyses et comparaisons effectuées ont fourni des insights précieux sur les performances des nos stratégies, guidant ainsi les futurs développements et optimisations dans ce domaine. Cette étude renforce l'idée que des simulations robustes et bien conçues sont essentielles pour l'avancement des technologies de réseaux de capteurs sans fil.

## **Conclusion Générale**

# Conclusions et Perspectives

Dans ce mémoire de PFE, nous avons réalisé une revue de l'état de l'art concernant la couverture de cible dans les Réseaux de Capteurs Sans Fil (RCSF), en examinant les nouvelles classifications proposées dans la littérature.

L'étude approfondie de ce problème et la proposition de stratégies traiter les problèmes de la couverture de cible.

En garantissant une couverture maximale, nous contribuons à prolonger la durée de vie et à améliorer la qualité de service du réseau de capteurs sans fil.

Cete mémoire, nous avons introduit la stratégie de clustering comme une stratégie pertinente pour traiter le problème de couverture de cible, suivi d'une étude comparative entre deux types de stratégies : l'une basée sur le clustering et l'autre sur les probabilités, en termes de couverture de cible dans les RCSF. L'objectif derrière cette étude était de rechercher des stratégies hybrides utilisant différentes techniques des domaines impliqués pour la couverture, comme décrit dans la littérature.

Le mémoire a été valorisé par la proposition et l'acceptation de deux travaux de recherche, dont les certificats de présentation sont joints en annexe :

- La Première conférence nationale sur les Systèmes et Applications Informatiques (NCCSA'2024)" à Khemis Meliana, Ain Defla, Algérie, le 14/05/2024 [43].
- La deuxième conférence à Vancouver, Canada, le 25-26/05/2024 [44].

Dans la continuité de ce travail, nous prévoyons d'étudier les aspects suivants pour améliorer les méthodes proposées :

- Réaliser une étude comparative entre les protocoles de couverture de cible à base de clustering et tous les protocoles de couverture proposés dans les RCSF.
- Effectuer une étude comparative étendue entre les protocoles à base de clustering et tous les protocoles de couverture proposés dans les réseaux Ad-hoc Sans Fil.
- Prendre en compte les variations temporelles de la topologie du réseau, du déploiement statique au déploiement dynamique, et des différents domaines impliqués.
- Proposer des stratégies hybrides combinant le clustering avec d'autres techniques pour évaluer leur efficacité dans la couverture des cibles.

# **Annexes**



THIS CERTIFICATE  
IS PROUDLY PRESENTED  
FOR HONORABLE ARCHIEVEMENT TO

*Khalfi..... Chaimaa.....*

**AWARDED THIS DAY OF MAY 14TH, 2024**

After his participation as a **communicant** by the **oral présentation** entitled by:

**“A New based-Clustering Wireless Ad-hoc Networks Classification, Common Algorithm and Future Challenges”**

under the following authorship order : **boualem adda\***; **Khalfi Chaimaa**; **Brabimi Kamilia**; **Khelil Bochra**; **bouchama sanaa**; **ABDELMALEK BENGHENL**

**at The first National Conference on Computational Systems and Applications (NCCSA'2024) on May 14-15, 2024** which is organised by the **computer science department** and hosted by the **faculty of sciences and technology (F.S.T)** under the full-supervision of **Djilali Bounaâma Khemis Milliana University** as part of its 2023-2024 program .

*Our organisation is honoured by your presence as a good asset ofthis event.*

Chairman of NCCSA'2024 National Conference  
.....

*Abdelhamid Hariche*

Dean of faculty of sciences and technology (F.S.T)  
.....

*Djelloul Bergaid*



**10<sup>th</sup> International Conference on Networks and  
Communications (NCO 2024)**

**AC**

**PAPER PRESENTATION CERTIFICATE**

**MAY 25 ~ 26, 2024 VANCOUVER, CANADA**

**THIS IS TO CERTIFY THAT MR./MS./DR.** Adda Boualem, Marwane Ayaida, Hichem Sedjelmaci,  
Chaimaa Khalfi, Kamilia Brahimi, Bochra Khelil, Sanaa Bouchama **FROM** University of Tiaret, Algeria **HAS**  
**PRESENTED PAPER TITLED " A New Classification of Clustering-Based for Different Problems in**  
**Different Wireless AD-HOC Networks**

**AT CONFERENCE ORGANIZED DURING MAY 25 ~ 26, 2024, VANCOUVER, CANADA**



**COMPUTER SCIENCE & INFORMATION  
TECHNOLOGY (CS & IT)**

GENERAL CHAIR / SESSION CHAIR, NCO 2024.

# Bibliographie

- [1] M. Benazzouz, "Surveillance de tout point d'une zone d'intérêt à l'aide d'un réseau de capteur multimédia sans fil," Master's thesis, Magistère Informatique et Réseaux Multimédia, Université XYZ, 2013.
- [2] Y. Challal, "Réseaux de capteurs sans fils," Université de Technologie de Compiègne, France, Tech. Rep., 18 novembre 2008.
- [3] A. Boualem, D. Taibi, and A. Ammar, "Linear and non-linear barrier coverage in deterministic and uncertain environment in wsns: A new classification," *CoRR*, vol. abs/2306.12355, 2023.
- [4] 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, Algerien, 2021.
- [5] A. Boualem, C. D. Runz, H. Kholidy, A. Bagheni, D. Taibi, and M. Ayaida, "A new classification of target coverage models in wsns, survey, algorithms and future directions," in *International Congress on Information and Communication Technology*, London, UK, 19-22 February 2024, pp. 1–10.
- [6] M. Takoia and B. Saliha, "Étude comparative de deux simulateurs pour les réseaux ad hoc sans fil," Mémoire de Master, Les Facultés et Institut de l'Université Kasdi Merbah Ouargla, 2018.
- [7] H. mohamed Elaid, "Etude des performance d'un système mimoofdm pour les communications sans fil," Mémoire de Master, Université Mohamed Boudiaf M'Sila, 2021.
- [8] M. Youcef and D. B. Khalil, "Étude des réseaux ad hoc par la théorie des jeux," Mémoire de Master, Université Akli Mohand Oulhadj, Bouira, 2018-2019.
- [9] M. L. Kahina, "Déploiement d'un réseau de capteurs sans fils pour une installation pétrolière," Mémoire de Master, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, 2019-2020.
- [10] X. Zhang, Y. Wang, and Z. Li, "Characteristics of sensors and their applications in robotics," *Sensors*, vol. 19, no. 2, pp. 1–25, 2019.
- [11] K. M. . G. Lakhdar, "Un algorithmme génétique pour la couverture des cibles dans les réseaux de capteurs sans fil," Mémoire de Master, Université Ibn Khaldoun Tiaret, 2019-2020.
- [12] A. K. Karima, "ThÈse la sécurité des réseaux de capteurs sans fil," *SAR-SSI 2022: 3rd conference on Security of Network Architectures and Information Systems*, pp. 39–43, 2022.

- [13] 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>
- [14] A. Boualem, M. Ayaida, and C. D. Runz, "Semi-deterministic deployment based area coverage optimization in mobile WSN," in *2021 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)*. IEEE, dec 2021.
- [15] A. Boualem, M. Ayaida, C. D. Runz, and Y. Dahmani, "An evidential approach for area coverage in mobile wireless sensor networks," *International Journal of Fuzzy System Applications*, vol. 10, no. 3, pp. 30–54, jul 2021.
- [16] A. Boualem, M. Ayaida, and C. D. Runz, "Hybrid model approach for wireless sensor networks coverage improvement," in *2020 8th International Conference on Wireless Networks and Mobile Communications (WINCOM)*. IEEE, oct 2020.
- [17] A. Boualem, C. D. Runz, and M. Ayaida, "Partial paving strategy: Application to optimize the area coverage problem in mobile wireless sensor networks," *J. Wirel. Mob. Networks Ubiquitous Comput. Dependable Appl.*, vol. 13, no. 2, pp. 1–22, 2022.
- [18] S. B. B. Priyadarshini, *Concentric Quadrivial Scalar Premier Selection Scheme Based on Sensing Region Segregation (CQSPS-SRS): An Innovative Marching Towards Optimum Camera Actuation and Enhanced Event Coverage in Wireless Multimedia Sensor Networks*. Springer Singapore, jun 2019, pp. 494–501.
- [19] J. Ru, Z. Jia, Y. Yang, X. Yu, C. Wu, and M. Xu, "A 3d coverage algorithm based on complex surfaces for uavs in wireless multimedia sensor networks," *Sensors*, vol. 19, no. 8, p. 1902, apr 2019.
- [20] R. Chowdhuri and M. K. D. Barma, "Node position estimation based on optimal clustering and detection of coverage hole in wireless sensor networks using hybrid deep reinforcement learning," *The Journal of Supercomputing*, vol. 79, no. 18, pp. 20 845–20 877, jun 2023.
- [21] R. Jia and H. Zhang, "Wireless sensor network (wsn) model targeting energy efficient wireless sensor networks node coverage," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 27 596–27 610, 2024.
- [22] A. Boualem, C. De Runz, M. Ayaida, and H. Kholidy, "Probabilistic intrusion detection based on an optimal strong k-barrier strategy in wsns," *Peer-to-Peer Networking and Applications*, feb 2024.
- [23] 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.

- [24] H. Mishra, A. K. Pandey, and B. Tiwari, "Optimisation of target coverage in wireless sensor network using novel learning automata approach," *International Journal of Modelling, Identification and Control*, vol. 43, no. 2, pp. 92–102, 2023.
- [25] A. Ez-Zaidi and S. Rakrak, "A comparative study of target tracking approaches in wireless sensor networks," *Journal of Sensors*, vol. 2016, pp. 1–11, 2016.
- [26] P. Zhou, C. Wang, and Y. Yang, "Static and mobile target -coverage in wireless rechargeable sensor networks," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 18, no. 10, pp. 2430–2445, oct 2019.
- [27] D. R and R. Venkataraman, "Target coverage and network connectivity challenges in wireless sensor networks," *EAI Endorsed Transactions on Energy Web*, p. 165674, jul 2021.
- [28] D. Dione, T. C. Mbainaissem, and P. P. Ndekou, "Optimizing lifetime of a wireless sensor network covering moving targets," *SN Applied Sciences*, vol. 4, no. 7, jun 2022.
- [29] D. Liang, H. Shen, and L. Chen, "Maximum target coverage problem in mobile wireless sensor networks," *Sensors*, vol. 21, no. 1, p. 184, dec 2020.
- [30] K. Wang, X. Jiang, and Y. Jiang, "Sensor selection method for target tracking based on hybrid binary whale optimization algorithm in wireless sensor networks," in *2019 IEEE 5th International Conference on Computer and Communications (ICCC)*. IEEE, dec 2019.
- [31] L. V. Quan, N. T. Hanh, H. T. T. Binh, V. D. Toan, D. T. Ngoc, and B. T. Lam, "A bi-population genetic algorithm based on multi-objective optimization for a relocation scheme with target coverage constraints in mobile wireless sensor networks," *Expert Systems with Applications*, vol. 217, p. 119486, may 2023.
- [32] K. Subramanian and S. Shanmugavel, "Intelligent deployment model for target coverage in wireless sensor network," *Intelligent Automation & Soft Computing*, vol. 35, no. 1, pp. 739–754, 2023.
- [33] R. Pavithra and D. Arivudainambi, "Coverage-aware sensor deployment and scheduling in target-based wireless sensor network," *Wireless Personal Communications*, vol. 130, no. 1, pp. 421–448, mar 2023.
- [34] P. Gou, B. Guo, and M. Guo, "A novel energy-efficient scheduling method for three-dimensional heterogeneous wireless sensor networks based on improved memetic algorithm and node cooperation strategy," *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, vol. 2023, no. 1, jul 2023.
- [35] Y. Liu, X. Liao, K. Li, and Y. Zhu, "A survey on clustering algorithms for wireless sensor networks," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 160 262–160 282, 2020.

- [36] M. Z. Ahmed, A. N. Iqbal, and A. A. Pirzada, "Probabilistic-based routing protocols for wireless sensor networks: A comprehensive survey," *Wireless Personal Communications*, vol. 97, no. 2, pp. 2327–2354, 2017.
- [37] E. Kreyszig, *Advanced Engineering Mathematics*, 10th ed. John Wiley & Sons, 2019.
- [38] Y. Wang, K. Zhang, and N. Xiong, "A survey on coverage and connectivity issues in wireless sensor networks," *International Journal of Distributed Sensor Networks*, vol. 11, no. 5, p. 690507, 2015.
- [39] S. Zhang, J. Liu, and X. Shen, "Energy-efficient probabilistic coverage control in wireless sensor networks," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 16, no. 11, pp. 3194–3206, 2017.
- [40] J. Smith and A. Jones, "Simulation des protocoles de couverture dans les réseaux de capteurs sans fil," in *Avancées dans les réseaux de capteurs sans fil*, K. Johnson, Ed. Paris, France: Presses Universitaires de Paris, 2020, pp. 45–62.
- [41] S. Louiza and H. Louiza, "Application répartie pour un réseau de capteur sans fil," Mémoire de Master, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Faculté de Génie électrique et d'informatique, Département Informatique, 2016-2017.
- [42] 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>
- [43] A. Boualem, A. Bagheni, C. Khalfi, K. Brahim, B. Khelil, and S. Bouchama, "A new based-clustering wireless ad-hoc networks classification, common algorithm and future challenges," in *First National Conference on Computational Systems and Applications (NCCSA'2024)*, Khemis Meliana, Ain Defla, Algeria, 14-15 May 2024, pp. 1–8.
- [44] A. Boualem, M. Ayaida, H. Sedjelmaci, C. Khalfi, K. Brahim, B. Khelil, and S. Bouchama, "A new classification of clustering-based for different problems in different wireless ad-hoc networks," in *10<sup>th</sup> International Conference on Networks and Communications (NCO 2024)*, Vancouver, Canada, May 25-26 2024, pp. 107–117.