



**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE**

**Université Abbes Laghrour-Khenchela  
Faculté Des Sciences Et Technologie**

**Département Mathématique Et Informatique**

**Mémoire de Master 2**

**En Informatique**

**Option : Génie Logiciel et Systèmes Distribués**

**Thème soutenu**

**Méthode géométrique pour la couverture dans  
les réseaux de capteurs sans fil**

**Travail réalisé par :**

**BIBI SAMI**

**SAOUDI WAIL**

**Dirigé par :**

**Mr. SLAMA SOFIANE**

---

# REMERCIEMENTS

---

*Ce mémoire de Master a été préparé au département d'informatique de l'université A. Laghrour – Khenchela, sous la Direction scientifique du Dr S. SLAMA maitre de conférences A.*

*Nous tenons en premier lieu à exprimer notre profonde gratitude et nos forts remerciements à notre encadreur Dr SOFIANE SLAMA qui nous à accompagner et conseillé tout au long de ce parcours.*

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

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

*Nous remercions tous nos enseignants du département informatique de l'université ABBAS LAGHROUR DE KHENCHELA.*

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

---

# DÉDICACES

---

*Cet évènement, qui marque l'achèvement de ma formation universitaire du deuxième cycle, m'offre l'opportunité de dédier ce mémoire de Master d'abord à mes parents, qui m'ont soutenu tout au long de mes études, à mes adorables frères et ma sœur, à tous mes amis.*

**SAMI**

*Je dédie ce travail à mes parents, à tous mes frères et sœurs et à tous mes amis.*

**WAIL**

## **Résumé**

Grâce au progrès récent dans le domaine de la micro-électronique et l'émergence des technologies de communication sans fil, les réseaux de capteurs ont vu le jour. L'un des problèmes majeurs de ce type de réseaux est la couverture. Pour résoudre ce problème plusieurs méthodes sont proposées dans la littérature ; les méthodes analytiques, les protocoles de couverture, les heuristiques et les méta-heuristiques et les méthodes géométriques.

Dans ce travail, nous proposons une solution basée sur des concepts géométriques et sur le principe de huit reines, appelé **QGMC**.

Cette approche nous a permis en premier lieu d'apporter une contribution pour résoudre le problème de déploiement des capteurs dans les RCSFs, d'une manière déterministe. Après et en se basant sur la notion des huit reines, nous avons développé quelques règles de base permettant la sélection d'un sous ensemble de nœuds actifs dans le but de prolonger la durée de vie du réseau. Les résultats de simulation montrent que **QGMC** est robuste et atteint le taux de couverture de 100%, et étend la durée de vie du réseau de manière très significative.

**Mots clés :** *Les Réseaux de Capteurs Sans fil ; Problème de couverture, Approches géométriques ; Méthodes de grilles ; la durée de vie du réseau*

## **Abstract**

Thanks to recent progress in the field of the micro-electronics and wireless communications, the sensor networks have emerged.

A fundamental challenge in Wireless Sensor Networks (WSNs) is the coverage problem. Whose objective is to observe a geographical area effectively. To solve this problem, several method are used such as analytical method, coverage protocols, heuristics and meta-heuristics and geometrical approaches. In this work we propose a solution based on geometrical concepts and the principle of eight queens called **QGMC**.

Our approach solves initially the problem of deployment in WSNs by proposing a deterministic placement of the sensors. Basing on the concept of grids, after the phase of placement, we inspired in problem of eight queens some rules for the scheduling of activity of the sensors with an aim to extend the network's lifetime. The results of simulation show that **QGMC** robust reached the rate which equalizes at 100%, and extends the lifetime of the network significantly.

**Keywords:** *Wireless Sensor Networks; coverage; Geometrical approach; Grid method; Network's lifetime.*

# Table des matières

Table des matières

Liste des acronymes

Liste des figures

**Introduction générale..... 1**

## **Chapitre 1: Introduction Au Problème De Couverture Dans Les RCSFs**

**1- Introduction..... 3**

**2- Généralités sur les réseaux de capteurs sans fil (RCSFs) ..... 3**

2.1-Définition d'un capteur..... 3

2.2-Architecture physique d'un capteur ..... 4

2.3-Un réseau de capteur sans fil ..... 4

2.4-Classification des réseaux de capteurs ..... 6

2.5-Les domaines d'application ..... 7

2.6-La topologie du réseau ..... 8

2.7-La consommation d'énergie..... 8

**3- Problème de couverture..... 9**

3.1-Les critères de couverture ..... 10

3.2-Les différents types de couverture ..... 11

3.3- L'ordonnancement d'activité dans les RCSFs ..... 12

**4- Conclusion ..... 15**

## **Chapitre2 : Etat de l'art sur les méthodes géométriques dédiées à la couverture dans les RCSFs**

**1- Introduction..... 16**

**2- Quelques méthodes géométriques..... 16**

2.1- Méthodes des grilles ..... 16

2.3- L'algorithme incrémental (plus grand cercle vide).....	21
<b>3- Conclusion .....</b>	<b>22</b>

**Chapitre 3: Contribution : La méthode de grille royale : QGMC (A Queen'sGrid Method for Coverage)**

<b>1- Introduction.....</b>	<b>23</b>
<b>2- Description globale de l'approche QGMC .....</b>	<b>23</b>
<b>3- Caractéristiques principales de la QGMC .....</b>	<b>25</b>
<b>4- Hypothèses de travail.....</b>	<b>26</b>
<b>5- Principe de la QGMC .....</b>	<b>27</b>
5.1-Placement des capteurs dans la grille .....	27
5.2-Désignation d'un sous ensemble de nœuds actifs.....	32
<b>6- La généralisation de la QGMC .....</b>	<b>39</b>
<b>7- Conclusion .....</b>	<b>45</b>

**Chapitre 4 : Simulation et analyses de performances de l'approche QGMC**

<b>1- Introduction .....</b>	<b>46</b>
<b>2- Environnement et paramètres de simulation .....</b>	<b>47</b>
2.1-Environnement de simulation .....	47
2.2-Paramètres de simulation .....	47
<b>3- Les paramètres de performances.....</b>	<b>47</b>
<b>4- Évaluation des critères de performances de QGMC .....</b>	<b>48</b>
4.1-Placement des capteurs sur la zone d'intérêt .....	48
4.2-Nombre de nœuds déployés en fonction de la surface de la zone d'intérêt. ....	49
4.3- Nombre de nœuds actif en fonction de la surface de la zone d'intérêt. ....	49
4.4- Taux moyen de couverture en fonction de rayon du capteur .....	50
4.5- Comparaison avec le diagramme de Voronoi. ....	51
4.5- Nombre de nœuds actifs en fonction de nœuds déployés. ....	52
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>54</b>

<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>55-56</b>
-----------------------------------------	--------------

## Liste des acronymes

<b>DV</b>	Diagramme de Voronoi
<b>LECA</b>	Largest Empty Circle Algorithm
<b>PC</b>	Personal Computer
<b>QGMC</b>	A Queen's Grid Method for coverage in WSN.
<b>QoS</b>	Quality of Service
<b>RAM</b>	Read Access Memory.
<b>Rcap</b>	Rayon de capture.
<b>Rcom</b>	Rayon de communication.
<b>RCSF</b>	Réseau De Capteur Sans Fil.
<b>THT</b>	Tri-Hexagon Tiling.
<b>WSN</b>	Wireless Sensor Networks
<b>ZI</b>	Zone d'Intérêt

## Liste des figures

<b>Figure 1.1</b>	Architecture d'un capteur.....	4
<b>Figure1. 2</b>	Un réseau de capteurs.....	5
<b>Figure 1.3</b>	(a) Monodimensionnel, (b) bidimensionnel, (c) tridimensionnel .....	9
<b>Figure 1.4</b>	Couverture de zone, (b) Couverture de points, (c) Couverture de barrière .....	12
<b>Figure1.5</b>	Ordonnancement d'activité dans les réseaux de capteurs sans fils .....	13
<b>Figure 1.6</b>	Le problème de couverture.....	14
<b>Figure 2.1</b>	Déploiement utilisant (a) des triangles, (b) des carrés, (c) des hexagones .....	17
<b>Figure 2.2</b>	Placement aléatoire des capteurs sur une grille.....	17
<b>Figure 2.3</b>	Placement Déterministe Des Capteurs. ....	18
<b>Figure2.4</b>	Diagramme de Voronoi.....	20
<b>Figure2.5</b>	le procède de l'algorithme incrémental. ....	21
<b>Figure 3.1</b>	Illustration de la couverture sur une grille. ....	24
<b>Figure 3.2</b>	La grille minimale contenant la zone d'intérêt. ....	27
<b>Figure 3.3</b>	La relation entre le rayon de capture et la cellule de base.....	29
<b>Figure 3.4</b>	La grille résultante après le placement des capteurs. ....	32
<b>Figure 3.5</b>	Relation entre le problème de huit reines et notre approche .....	33
<b>Figure 3.6</b>	La couverture dans une grille composée de deux nœuds.....	33
<b>Figure 3.7</b>	La couverture dans une grille carrée composée de quatre nœuds [2x2] .....	34
<b>Figure 3.8</b>	La grille de base de l'approche QGMC .....	34
<b>Figure 3.9</b>	Couverture assurée avec 4 éléments dans une grille [4x4] .....	35
<b>Figure 3.10</b>	Couverture assurée par 4 éléments actifs dans une grille [5x5].....	35
<b>Figure 3.11</b>	Couverture assurée par 4 éléments actifs dans une grille [6x6].....	36

<b>Figure 3.12</b>	Couverture assurée par 9 éléments actifs dans une grille [8x8].....	36
<b>Figure 3.13</b>	Exécution sur une grille carrée de [9x9] .....	38
<b>Figure 3.14</b>	Exécution sur une grille quelconque de [4x9].....	38
<b>Figure 3.15</b>	Exécution sur une grille quelconque de [4x9].....	38
<b>Figure 3.16</b>	Grille de base [3 <sup>1</sup> x 3 <sup>1</sup> ]. .....	39
<b>Figure 3.17</b>	Grille de base [3 <sup>2</sup> x3 <sup>2</sup> ]. .....	40
<b>Figure 3.18</b>	Grille de base [3 <sup>3</sup> , 3 <sup>3</sup> ]. .....	40
<b>Figure 3.19</b>	La relation entre le rayon de capture et la grille de base .....	41
<b>Figure 3.20</b>	Application de l’algorithme généralisé sur une grille de [3 <sup>2</sup> x3 <sup>2</sup> ] .....	44
<b>Figure 4.1</b>	Résultat de l'application de la méthode QGMC .....	48
<b>Figure 4.2.</b>	Variation de nombre de nœuds déployés en fonction de la surface de la zone d’intérêt. ....	49
<b>Figure 4.3</b>	Variation de nombre de nœuds actif en fonction de la surface de la zone d’intérêt.....	50
<b>Figure 4.4</b>	Variation de nombre de nœuds actif en fonction de la surface de la zone d’intérêt.....	50
<b>Figure 4.5</b>	nombre de nœuds actifs de QGMC en fonction de la densité.....	51
<b>Figure 4.6</b>	nombre de nœuds actifs de diagramme de Voronoi en fonction de la densité .....	51
<b>Figure 4.7</b>	Variation de nombre de nœuds actif en fonction de nombre de capteurs déployés .....	52

### **Introduction générale**

Les réseaux de capteurs sans fil (RCSFs) sont des ensembles de capteurs autonomes conçus pour surveiller les conditions environnementales ou physiques, comme la température, le son, la pression, etc., et organiser les données collectées à un emplacement central. Les applications de ces réseaux vont du suivi des conditions environnementales à la surveillance militaire, en passant par la santé, l'agriculture et bien d'autres domaines.

Un défi majeur dans l'exploitation des réseaux de capteurs sans fil est la question de la couverture. La couverture, dans ce contexte, se réfère à la capacité d'un réseau à surveiller efficacement un espace donné. Cette couverture est souvent limitée par la portée des capteurs individuels et la disposition du réseau.

Les méthodes géométriques ont été largement utilisées pour améliorer la couverture dans les réseaux de capteurs sans fil. Ces méthodes utilisent des concepts de la géométrie pour analyser et améliorer la couverture du réseau. Par exemple, elles peuvent utiliser la géométrie pour déterminer les meilleures positions pour les capteurs afin de maximiser la couverture tout en minimisant la redondance.

Les approches géométriques pour la couverture des RCSFs peuvent prendre plusieurs formes. Par exemple, on peut utiliser des algorithmes de recouvrement par cercles ou de partitionnement de Voronoi pour déterminer où placer les capteurs. D'autres méthodes peuvent inclure l'utilisation de formes géométriques pour modéliser la portée des capteurs et déterminer comment ces portées se chevauchent pour fournir une couverture complète.

Il faut noter que les méthodes géométriques pour la couverture dans les réseaux de capteurs sans fil sont un domaine de recherche actif et en évolution. Ces méthodes sont généralement utilisées en combinaison avec d'autres techniques, comme les algorithmes d'optimisation, pour obtenir les meilleurs résultats possibles. Cependant, elles fournissent un cadre utile pour comprendre et améliorer la couverture dans les réseaux de capteurs sans fil.

Ce mémoire est organisé en quatre chapitres ; le premier est consacré à l'introduction des réseaux de capteurs et au traitement du problème de couverture. Le second chapitre est consacré à la présentation de quelques méthodes géométriques proposées dans la littérature. Le troisième chapitre est dédié à la présentation détaillée de notre contribution. Des résultats de simulation, comparant notre approche avec quelques autres méthodes géométriques seront présentés dans le dernier chapitre.

# **Chapitre 1: Introduction Au Problème De Couverture Dans Les RCSFs**

## **1. Introduction**

Les Réseaux de Capteurs Sans Fil (RCSFs) sont des systèmes constitués de capteurs sans fil distribués dans un environnement donné pour surveiller et collecter des informations sur celui-ci. Ces réseaux ont trouvé des applications dans de nombreux domaines tels que la surveillance de l'environnement, la détection d'incendies, la surveillance du trafic, etc. La fonction principale d'un capteur est de surveiller l'environnement de n'importe quelle zone (surface) d'intérêt. Ainsi, la couverture est devenue l'un des problèmes principaux dans RCSFs. En fait, c'est l'un des critères d'évaluation de la qualité du service (QoS) dans les RCSFs.

La couverture peut être catégorisée en trois types principaux : la couverture de zone, la couverture de points et la couverture de barrière. Notre focus dans cette étude se concentrera spécifiquement sur la problématique de la couverture de zone, où l'objectif est d'optimiser et de maximiser la couverture de la zone d'intérêt.

Dans ce chapitre, nous introduisons les Réseaux de Capteurs Sans Fil (RCSFs) pour fournir une base avant de plonger dans le cœur du sujet, le problème de couverture. Nous examinerons les critères de couverture, les différents types de couverture, l'ordonnancement des activités dans les RCSFs, un résumé de divers modèles de couverture existants et finalement, nous proposerons une classification pour les solutions qui abordent cette problématique.

## **2. Généralités sur les réseaux de capteurs sans fil (RCSFs)**

### **2.1 Définition d'un capteur**

Un nœud dans un réseau de capteurs peut être un dispositif de mesure, un dispositif d'interaction voire les deux en même temps. Un capteur a une capacité de traitement embarquée et une mémoire. Un nœud peut avoir un ou plusieurs dispositifs de captures : dispositif de capture acoustique, sismique, infrarouge, magnétique, etc ... Généralement un capteur se compose de trois unités de base et d'une ou plusieurs unités optionnelles suivant l'application envisagée [1].

# Chapitre 1 : Introduction au problème de couverture dans les RCSFs

## 2.2 Architecture physique d'un capteur

Un capteur est composé de 4 unités de base [1] :

- **L'unité d'acquisition**

Composée d'une unité d'acquisition, d'un convertisseur et d'un filtre. Nouer des capteurs mesurent des données environnementales (température, mouvement, pression, etc.).

Le signal analogique reçu est filtré pour éliminer les signaux parasites, puis converti en un signal numérisé pour pouvoir être traités par l'unité de traitement.

- **L'unité de traitement**

Se compose de deux interfaces pour assurer la connexion entre les unités de traitement unité d'acquisition et de transmission, qui permet de traiter les données récupérées à l'aide d'un un système d'exploitation dédié aux capteurs.

- **L'unité de communication (transmission)**

Elle permet de transférer des données vers d'autres appareils en médias audiovisuels.

- **L'unité de contrôle de l'énergie**

C'est une source d'énergie limitée et la plus précieuse réseau de capteurs, car il affecte directement la durée de vie du capteur et affecte également la connexion internet.

Ces quatre unités sont alimentées par une batterie comme la montre la figure ci-dessous :

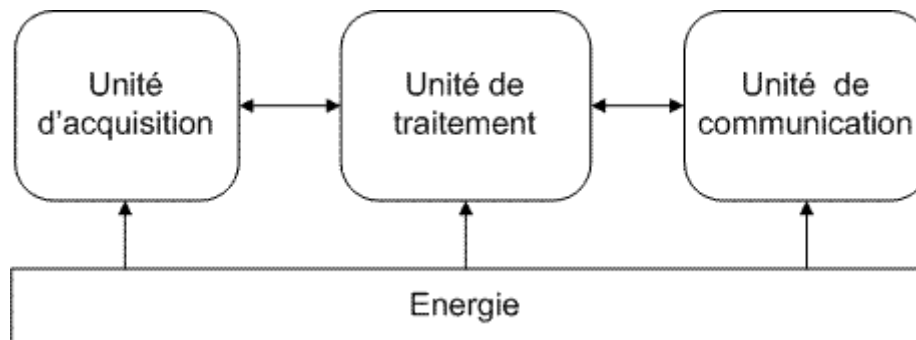


Figure 1.1 : Architecture d'un capteur

## 2.3 Un réseau de capteur sans fil

Un réseau de capteurs sans fil (RCSFs), également connu sous le nom de réseau de capteurs sans fil (WSN en anglais pour Wireless Sensor Network), est un groupe de capteurs déployés qui collectent des informations sur leur environnement, traitent ces informations et les communiquent à travers une structure de réseau sans fil. [2]. Chaque capteur est généralement équipé d'un microprocesseur, d'une source d'alimentation (par exemple,

## Chapitre 1 : Introduction au problème de couverture dans les RCSFs

une batterie ou une cellule solaire) et d'un dispositif de communication sans fil. Les RCSFs sont largement utilisés dans diverses applications, comme la surveillance environnementale, l'agriculture de précision, la surveillance de la santé, la surveillance de la structure des bâtiments, etc.

Chaque nœud de capteur dans le réseau est capable de collecter des informations, de les traiter de manière autonome et de les transmettre à d'autres nœuds de capteur, créant ainsi un réseau dynamique et flexible. Les RCSFs sont particulièrement utiles dans les environnements où l'installation de capteurs câblés est difficile ou coûteuse [2].

L'architecture d'un réseau de capteur est illustrée dans la figure 1.2 ci-après.

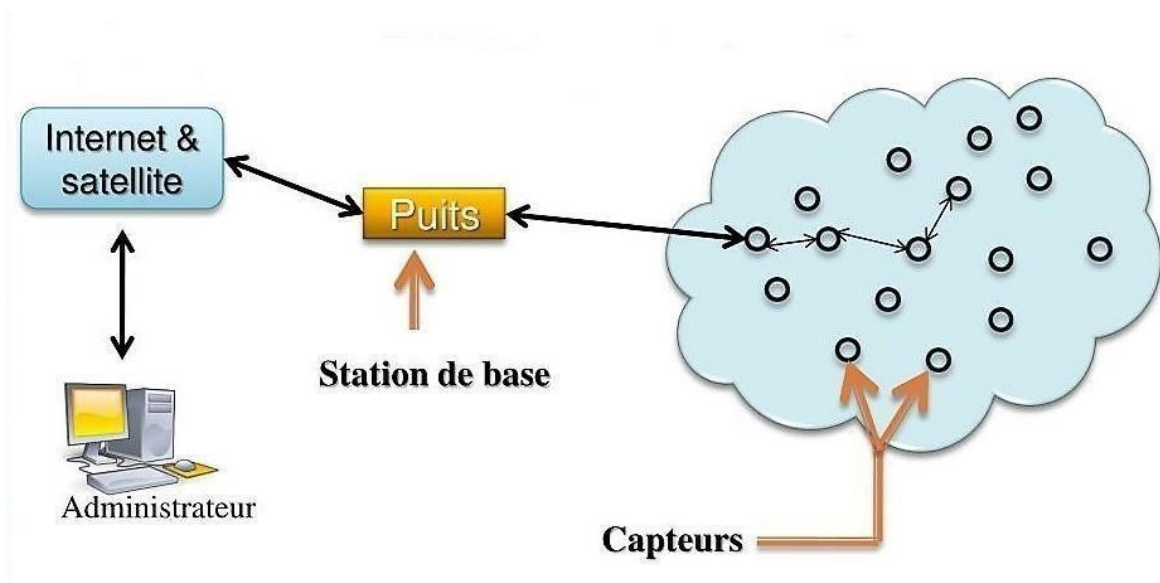


Figure 1.2 Un réseau de capteurs

Un réseau de capteurs se compose de plusieurs stations de base (également appelées puits) et d'un grand nombre de nœuds dispersés de manière aléatoire ou déterministe pour observer une zone géographique spécifique.

Les nœuds de RCSF sont organisés sans infrastructure, c'est-à-dire que les rapports d'informations collectés sont acheminés dans le temps via une communication multi-sauts jusqu'à ce qu'ils atteignent la station de base, qui agit comme un point de collecte. La communication entre la station d'agrégation et les utilisateurs s'effectue via Internet ou par satellite.

# ***Chapitre1 : Introduction au problème de couverture dans les RCSFs***

## **2.4 Classification des réseaux de capteurs**

Les réseaux de capteurs sans fil (RCSFs) peuvent être classés selon plusieurs critères différents, y compris leur topologie de réseau, leur mode d'alimentation, leur mobilité et leur mode de déploiement. [3].

### **a) Selon la topologie du réseau :**

- Un réseau en étoile : Dans cette configuration, chaque capteur communique directement avec une station de base.
- Un réseau en arbre : Les capteurs sont organisés en hiérarchie, avec un capteur racine au sommet.
- Un Réseau maillé : Dans cette configuration, chaque capteur peut communiquer avec plusieurs autres capteurs dans le réseau.

### **b) Selon le mode d'alimentation :**

- Réseaux alimentés par batterie : Ces réseaux sont généralement conçus pour minimiser la consommation d'énergie, car remplacer les batteries peut être coûteux ou impossible.
- Réseaux alimentés par énergie renouvelable : Ces réseaux utilisent des sources d'énergie comme la lumière solaire ou l'énergie éolienne pour alimenter les capteurs.

### **c) Selon la mobilité des nœuds :**

- Réseaux mobiles : dans ces réseaux, les capteurs peuvent se déplacer. Par exemple, ils peuvent être attachés à des animaux ou à des drones.
- Réseaux statiques : dans ces réseaux, une fois les capteurs déployés, ils restent à leur emplacement initial.

### **d) Selon le mode de déploiement :**

- Déploiement structuré : Les capteurs sont déployés à des endroits précis, souvent manuellement.
- Déploiement non structuré : Les capteurs sont déployés de manière aléatoire, par exemple en les larguant d'un avion.

# ***Chapitre1 : Introduction au problème de couverture dans les RCSFs***

## **2.5 Les domaines d'application**

Les applications des réseaux de capteurs sans fil (RCSF) sont utilisées dans de nombreux domaines en raison de leur capacité à collecter, traiter et communiquer des données de manière autonome [4]

Voici quelques-uns de ces domaines :

### **➤ Surveillance environnementale :**

Les RCSFs sont souvent utilisés pour surveiller divers aspects de l'environnement, tels que la qualité de l'air, la température, l'humidité, la pression atmosphérique, etc. Ils peuvent également être utilisés pour détecter des phénomènes naturels comme les tremblements de terre ou les inondations.

### **➤ Applications de la sécurité :**

L'application des réseaux de capteurs dans le domaine de la sécurité permet de réduire considérablement les dépenses financières engagées pour assurer la sécurité des lieux et des personnes. Par exemple, l'intégration de capteurs dans de grandes structures telles que des ponts ou des bâtiments aidera à détecter les fissures et les changements dans les structures après des tremblements de terre ou une dégradation structurelle. De plus, le déploiement d'un réseau de capteurs de mouvement peut constituer un système d'alarme pour détecter des intrusions dans une zone de surveillance [1].

### **➤ Surveillance militaire :**

Dans le domaine militaire, le faible coût, le déploiement rapide, l'auto-organisation et la tolérance aux pannes sont autant de caractéristiques qui ont rendu les réseaux de capteurs efficaces pour les applications militaires.

Les RCSFs peuvent être utilisés pour la reconnaissance, la surveillance des champs de bataille, la détection d'activités ennemies, etc...

# ***Chapitre 1 : Introduction au problème de couverture dans les RCSFs***

## **➤ Applications médicales**

Les RCSFs peuvent être utilisés pour surveiller en continu l'état de santé des patients, par exemple en suivant des paramètres comme la fréquence cardiaque, la pression artérielle, le niveau de glucose, etc. Ils peuvent également être utilisés dans des environnements de réadaptation pour suivre les progrès des patients.

## **2.6 La topologie du réseau**

La forte probabilité de panne, le fonctionnement autonome et la possibilité de rajouter des capteurs donnent le pouvoir à une topologie dynamique. Il faut donc gérer avec précision la maintenance et les changements de cette topologie. Dans ce qui suit, nous donnons les différents problèmes liés aux topologies des réseaux de capteurs [5].

- **Le pré-déploiement**

Les capteurs sont dispersés d'une manière précise et déterministe sur la zone à surveiller ; c'est-à-dire que le schéma général de déploiement des capteurs doit être établi initialement.

- **Le post déploiement**

Bien que les nœuds des réseaux de capteurs puissent être déployés de manière statique, une défaillance due à l'épuisement ou à la destruction d'énergie est un événement courant. Il est également possible d'avoir un réseau de capteurs avec des nœuds à haute mobilité. Par conséquent, la topologie du réseau change fréquemment après la phase de déploiement.

- **Le redéploiement**

Afin de remplacer les nœuds défaillants, des nœuds additionnels peuvent être installés après le déploiement initial. Cette addition entraîne la réorganisation du réseau et le changement de sa topologie.

## **2.7 La consommation d'énergie**

Un capteur est un dispositif microélectronique équipé d'une source d'énergie limitée. Dans la majorité des applications des réseaux de capteurs sans fil, la recharge de la batterie est impossible. Par conséquent la durée de vie d'un capteur est largement liée à celle de sa batterie. Les opérations principales d'un capteur sont [1] :

- La détection d'événements.
- Le traitement de données perçues.
- La transmission des données.

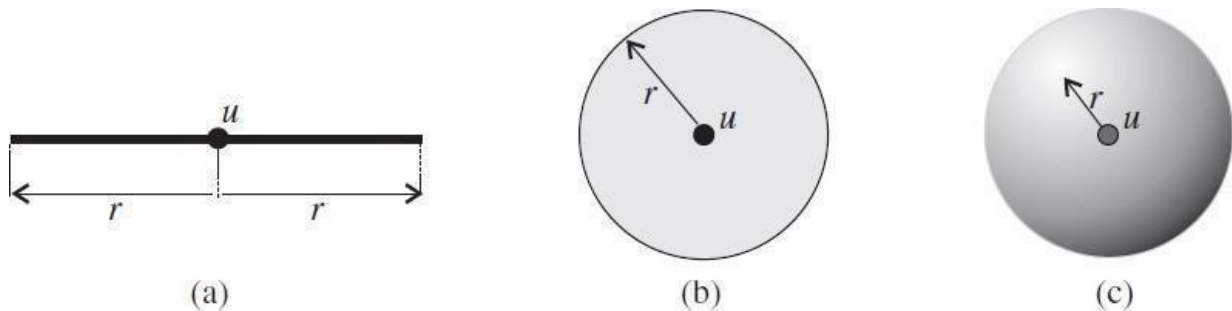
# Chapitre 1 : Introduction au problème de couverture dans les RCSFs

## 3. Problème de couverture

Le problème de couverture est un défi majeur dans les réseaux de capteurs sans fil (RCSFs). Il se réfère à la capacité d'un réseau à surveiller adéquatement une zone ou un environnement d'intérêt. Le concept de "couverture" peut avoir différentes significations en fonction du contexte de l'application, mais en général, il se réfère à la qualité de la surveillance fournie par le réseau de capteurs.

La question fondamentale posée est : « comment un nœud capteur peut-il mieux couvrir le milieu physique et quelle est la meilleure position pour le faire ? » [6]. Vu son importance, la notion de couverture est définie comme étant la mesure de la qualité du service (QoS) de la détection. L'objectif recherché est d'avoir tous les points de la zone d'intérêt surveillés au moins par un capteur. Chaque nœud capteur perçoit une vision limitée et purement locale de son environnement, qui est relative uniquement à sa zone de perception, mais la finalité est d'avoir en chaque endroit de l'espace physique un nœud capteur qui a un rayon de couverture adéquat afin de couvrir une zone localisée.

Notre travail sera consacré au problème de couverture dans les RCSFs statiques. Les nœuds capteurs, dotés d'une antenne omnidirectionnelle, ne se déplacent pas une fois déployés et peuvent couvrir un disque d'un rayon  $r$  appelé rayon de couverture.



**Figure 1.3 :**(a) Monodimensionnel, (b) bidimensionnel, (c) tridimensionnel.

Cette figure montre les différentes zones de perceptions des capteurs.

# ***Chapitre 1 : Introduction au problème de couverture dans les RCSFs***

## **3.1 Les critères de couverture :**

La couverture est la surface totale se trouvant en dessous de la marge ou de la portée de capture des données au moins d'un nœud. Cardei et Wu [6] ont effectué récemment un état de l'art sur les techniques de couverture dans RCSFs et ont dégagé un classement de ces techniques sur la base des critères suivants :

### ➤ **Objectif visé**

Dans les réseaux de capteurs sans fil, l'objectif principal est de maximiser la durée de vie du réseau et de minimiser le nombre de capteurs déployés [6], tout en assurant une couverture maximale de la zone d'intérêt.

La durée de vie, qui est étroitement liée à la consommation d'énergie, est un paramètre essentiel de tout réseau de capteurs sans fil. En fait, pour la plupart des applications, les nœuds doivent être placés sur site pendant des mois, voire des années. Par conséquent, quel que soit le problème à résoudre, une optimisation énergétique doit être envisagée, sinon une perte de communication due à de très grandes distances entre les nœuds restants sera enregistrée. Par conséquent, il est très important que la durée de vie de la batterie soit aussi longue que possible, car le remplacement de la batterie n'est pas possible dans la plupart des applications [7].

Un nœud capteur peut se trouver dans l'un des quatre états suivants : actif en mode d'écoute, actif en mode de traitement de données, actif en mode de transmission ou non actif en mode veille. Un capteur est en veille lorsque sa radio est éteinte ; dans ce cas sa consommation d'énergie est presque nulle. En effet, la principale source de consommation d'énergie d'un capteur est l'utilisation du réseau sans fil via son module de radiocommunications. Cette consommation d'énergie peut être réduite par la diminution de la transmission des données, d'où la nécessité du traitement local [8].

### ➤ **La méthode de déploiement du capteur :**

Le mode de déploiement des capteurs peut affecter la couverture. Par exemple, dans un déploiement structuré, les capteurs sont placés à des endroits spécifiques pour garantir une couverture adéquate. Dans un déploiement aléatoire, les capteurs peuvent être largués d'un avion, ce qui peut entraîner des zones de sur-couverture et des zones de sous-couverture.

## ***Chapitre1 : Introduction au problème de couverture dans les RCSFs***

### ➤ **Condition critiques (l'efficacité énergétique et la connectivité) :**

La conservation d'énergie est une préoccupation principale dans les réseaux de capteurs : les batteries ont une petite capacité et leur remplacement et rechargement sont généralement difficiles voire impossible. Par conséquent, la consommation d'énergie d'un capteur doit être bien contrôlée parce que lorsque les capteurs épuisent leurs batteries, la connectivité diminue et le réseau peut devenir dysfonctionnel [9].

### ➤ **Caractéristiques des algorithmes utilisés :**

Dans le contexte des réseaux de capteurs sans fil, différents algorithmes sont utilisés pour répondre aux besoins de couverture et de gestion des capteurs. Ces algorithmes peuvent être classés en deux catégories principales :

- **Les algorithmes centralisés :** Les algorithmes centralisés sont basés sur un nœud ou un ensemble de nœuds qui ont une vue d'ensemble du réseau et prennent des décisions pour l'ensemble du réseau. Ces algorithmes ont l'avantage d'être généralement plus efficaces en termes de performance car ils ont accès à toutes les informations du réseau.
- **Les algorithmes distribué et localisé :** Les algorithmes distribués et localisés sont conçus de manière que chaque nœud prenne des décisions basées uniquement sur ses informations locales et celles de ses voisins.

### **3.2 Les différents types de couverture :**

Les réseaux de capteurs sans fil (RCSFs) peuvent être déployés pour répondre à divers types de couverture, en fonction des exigences spécifiques de la tâche ou de l'application [10].

Voici les types de couverture les plus couramment utilisés :

#### **- Couverture de zone :**

Tous les points dans la zone d'intérêt sont couverts par au moins un capteur. C'est le niveau le plus élevé de couverture, et il est généralement nécessaire dans les applications critiques où la surveillance complète est nécessaire. Dans notre travail nous nous focalisons sur ce type de couverture.

La figure 1.4 (a) montre un exemple où des capteurs sont déployés aléatoirement sur une zone Rectangulaire pour la surveiller.

## Chapitre 1 : Introduction au problème de couverture dans les RCSFs

### - Couverture de points d'intérêt (cibles) :

Seuls certains points spécifiques ou zones d'intérêt dans la zone sont surveillés. Cela peut être utilisé lorsque certains points sont plus importants que d'autres, par exemple, pour surveiller des points d'accès ou des sites d'activité spécifiques.

La figure 1.4 (b) illustre un ensemble de capteurs déployés aléatoirement pour couvrir un certain nombre de cibles. Les nœuds en couleur noire connectés forment l'ensemble des capteurs actifs.

### - Couverture de barrière (frontière) :

Le but de ce type de couverture est de détecter tout mouvement à travers une zone. Pour cela, une chaîne ininterrompue de capteurs est nécessaire, créant une "barrière" de surveillance.

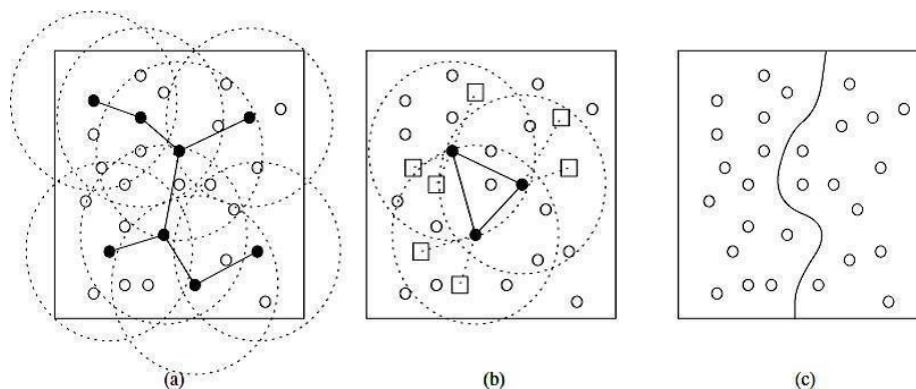


Figure 1.4 Couverture de zone, (b) Couverture de points, (c) Couverture de barrière

### 3.3 L'ordonnement d'activité dans les RCSFs

L'ordonnement d'activité dans les Réseaux de Capteurs Sans Fil (RCSFs) fait référence à la manière dont les nœuds du réseau (c'est-à-dire les capteurs) alternent entre des états actifs et passifs (ou de veille) pour prolonger la durée de vie de la batterie et maximiser l'efficacité du réseau.

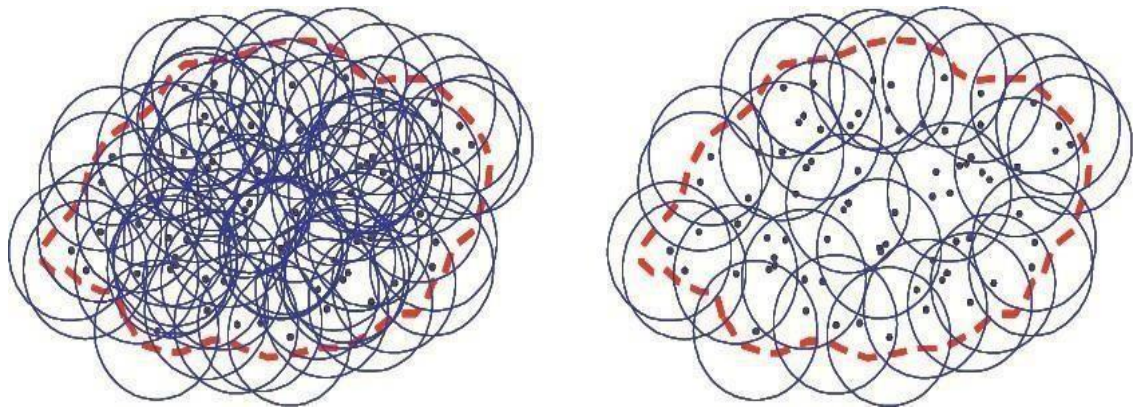
En raison de la nature distribuée des RCSFs et des contraintes d'énergie, une gestion efficace de l'énergie est cruciale. L'ordonnement d'activité est une technique clé pour réaliser cette gestion.

## Chapitre 1 : Introduction au problème de couverture dans les RCSFs

L'idée est qu'à tout moment, seuls les capteurs nécessaires pour maintenir la qualité requise de surveillance (ou de couverture) et de connectivité soient actifs, tandis que les autres passent en mode veille pour économiser l'énergie. [11].

Il existe plusieurs stratégies d'ordonnancement d'activité, dont certaines sont :

- **Ordonnancement basé sur la redondance** : dans ce cas, les capteurs qui fournissent une couverture redondante à la zone cible peuvent être mis en veille sans affecter la qualité de la surveillance.
- **Ordonnancement périodique** : Chaque capteur passe alternativement entre les états actif et passif à des intervalles de temps prédéfinis.
- **Ordonnancement adaptatif** : L'état des capteurs est ajusté dynamiquement en fonction des conditions environnementales ou des événements détectés.
- **Ordonnancement basé sur le pronostic** : Il est déterminé en fonction de l'estimation de la durée de vie restante de la batterie des capteurs, les capteurs ayant une batterie faible étant plus souvent mis en veille.



**Figure 1.5 :** Ordonnancement d'activités des nœuds capteurs

(a) : Tous les capteurs sont actifs

(b) : Uniquement une partie est active

## Chapitre 1 : Introduction au problème de couverture dans les RCSFs

Lors de la conception d'une solution pour planifier l'activité des capteurs et atteindre une couverture complète de la zone, le premier défi consiste à déterminer si la zone couverte par un capteur est également entièrement couverte par ses voisins ? Si tel est le cas, le nœud est redondant et peut être placé dans un état passif. Le deuxième défi est de déterminer les périodes d'activité et d'inactivité pour chaque capteur.

Le schéma de la Figure 1.8 résume les problèmes de couverture dans les réseaux de capteurs sans fil. La plupart des travaux de la littérature réalisés dans ce domaine peuvent être classés en fonction du déploiement de capteurs, puisqu'il s'agit de la première étape de construction d'un réseau. Notre travail est une solution basée sur un concept géométrique qui vise à résoudre de manière déterministe et optimale le problème de placement des nœuds et à maximiser la durée de vie du réseau en sélectionnant un sous-ensemble de nœuds actifs couvrant toute la région d'intérêt.

Ce schéma présente les différents types de couverture et les solutions dédiées à chaque type.

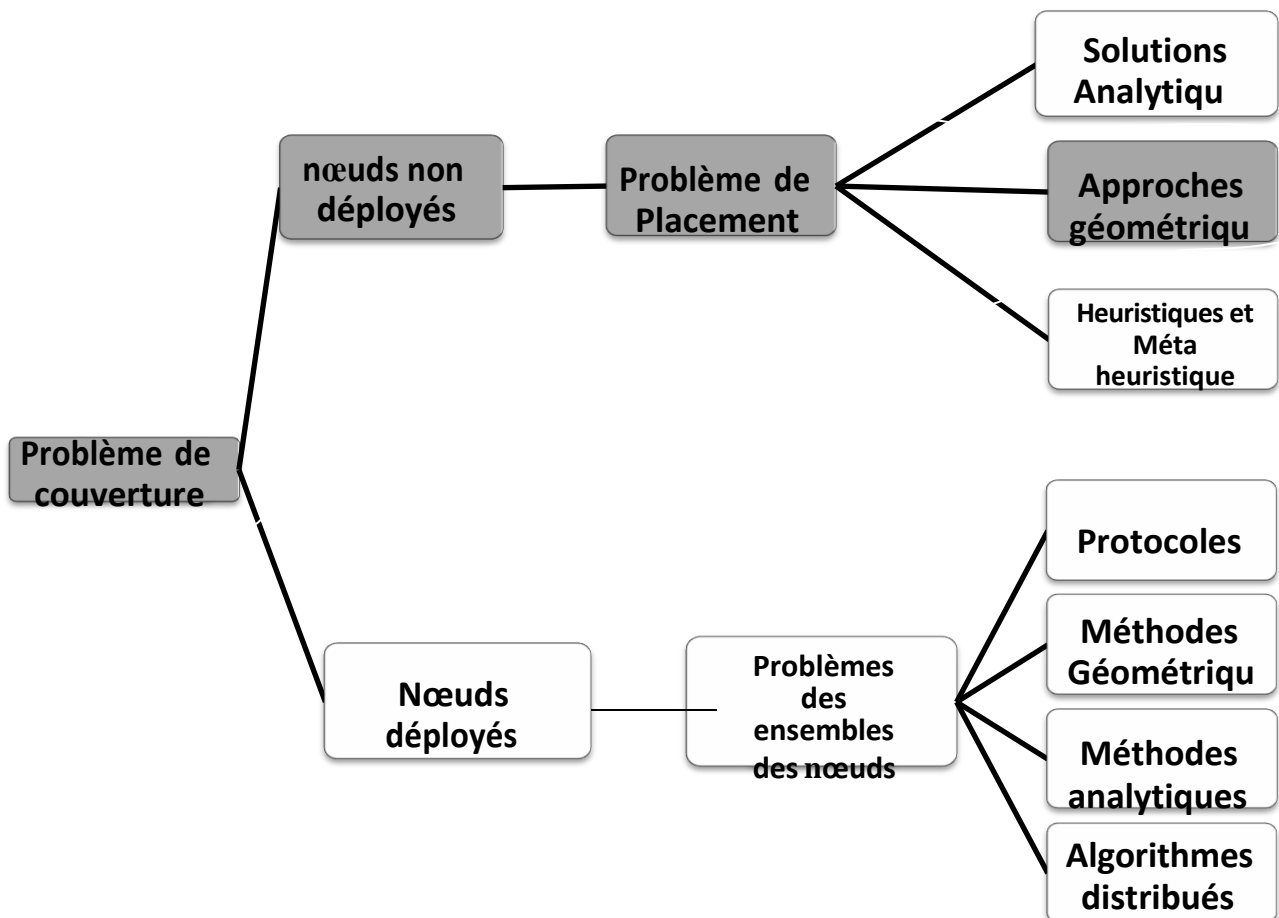


Figure 1.6 : Le problème de couverture.

## ***Chapitre1 : Introduction au problème de couverture dans les RCSFs***

### **Conclusion**

Ce chapitre a été axé sur la présentation des concepts fondamentaux des réseaux de capteurs sans fils tout en survolant le problème de couverture et les différentes méthodes utilisées.

Les réseaux de capteurs sans fil sont l'une des technologies qui suscitent un intérêt croissant vu la diversité de ces applications : santé, environnement, industrie. Néanmoins, cet intérêt est confronté à plusieurs problématiques comme la couverture et la connectivité. Ces deux problématiques présentent des défis non encore résolus comme la surveillance efficace d'une zone d'intérêt et la communication continue entre les différents capteurs qui forment le réseau.

L'objectif du chapitre suivant est de décrire certaines solutions géométriques proposées dans la littérature pour résoudre un tel problème et de dresser une comparaison selon différents critères.

## *Chapitre 2: Etat de l'art sur les méthodes géométriques dédiées à la Couverture dans les RCSFs*

### **Chapitre 2: Etat de l'art sur les méthodes géométriques dédiées à la couverture dans les RCSFs**

#### **1. Introduction**

Les méthodes géométriques dédiées à la couverture RCSF constituent un domaine de recherche actif et dynamique en radiocommunication. Ces méthodes utilisent des concepts géométriques pour analyser et optimiser le placement des petites cellules dans le réseau.

L'objectif principal est d'assurer une couverture uniforme dans toute la zone de service RCSF en tenant compte de paramètres tels que le terrain, la densité du trafic et la force du signal. Parmi les méthodes géométriques utilisées dans le problème de couverture nous citons : les *grilles*, le diagramme *de Voronoi*, la triangulation *de Delaunay* et d'autres méthodes (l'algorithme incrémental, le problème de cercle couvrant).

L'objectif ultime est d'améliorer la conception et l'optimisation des RCSFs pour garantir une couverture efficace et une expérience utilisateur de qualité.

Dans ce chapitre, nous présentons les différentes méthodes géométriques appliquées dans les RCSFs et un aperçu des avancées récentes de recherches sur cette thématique.

#### **2. Quelques méthodes géométriques**

##### **2.1 Méthodes de grilles**

###### **➤ Les types de placement des capteurs**

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

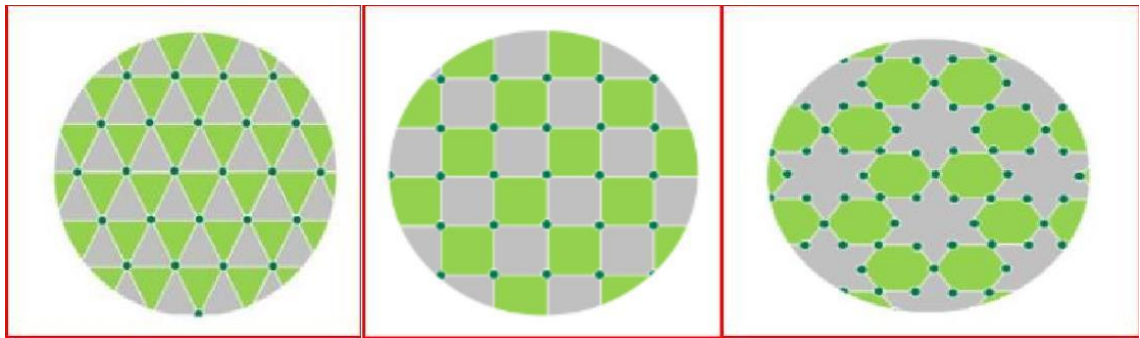
Voici les types de placement les plus couramment utilisés :

- **Placement déterministe des capteurs sur une grille**

Le placement déterministe des capteurs sur une grille est une méthode pour déployer les capteurs dans un réseau de capteurs sans fil (RCSF). Dans cette approche, les capteurs sont placés à des positions précises selon un schéma prédéterminé, généralement pour maximiser la couverture et/ou minimiser la consommation d'énergie [12]. La figure 2.1 illustre trois

## Chapitre 2: Etat de l'art sur les méthodes géométriques dédiées à la Couverture dans les RCSFs

configurations : des triangles uniformes, des carrés uniformes et des hexagones uniformes.



(a)

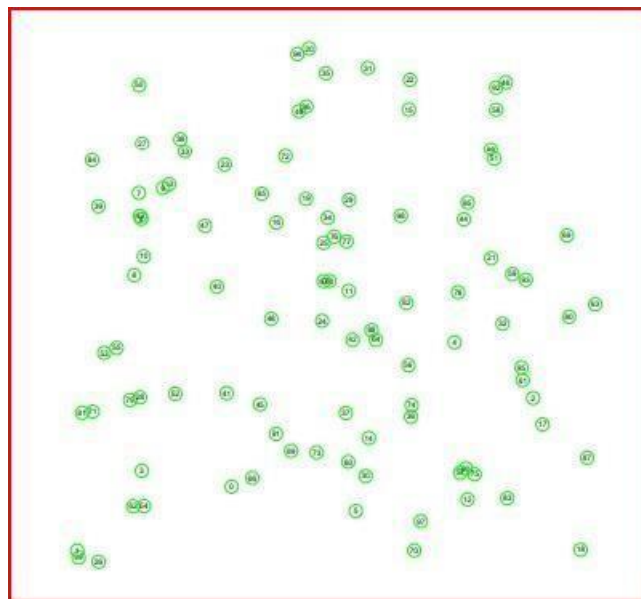
(b)

(c)

**Figure 2.1 :** Déploiement utilisant (a) des triangles, (b) des carrés, (c) des hexagones

- **Placement aléatoire des capteurs sur une grille**

Le placement aléatoire des capteurs sur une grille est une autre approche pour le déploiement de capteurs dans un réseau de capteurs sans fil (RCSF). Comme son nom l'indique, dans ce scénario, les capteurs sont distribués de manière aléatoire dans la zone d'intérêt [12]. Il peut être effectué par le largage des capteurs du bord d'un avion survolant la zone concernée.



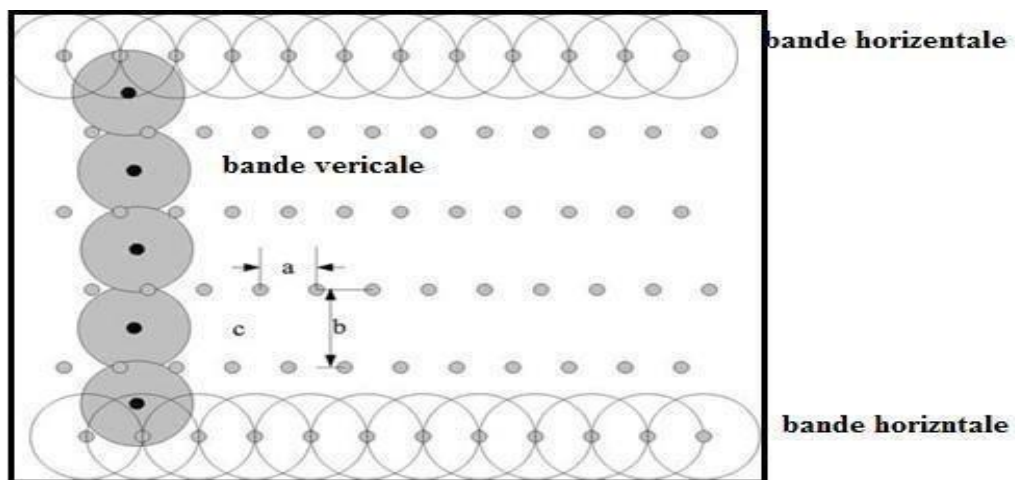
**Figure 2.2** Placement aléatoire des capteurs sur une grille.

➤ **Les différentes approches de la méthode de grille**

## Chapitre 2: Etat de l'art sur les méthodes géométriques dédiées à la Couverture dans les RCSFs

*Kar et Banerjee* [13] résolvent ce problème de manière déterministe en plaçant le nombre minimum de nœuds capteurs pour couvrir une zone donnée. Un secteur de couverture est un disque de rayon  $r$  égal au rayon de communication. Le modèle de base pour cette configuration est de placer des nœuds capteurs sur une ligne avec une distance  $r$  entre deux nœuds adjacents.

Pour couvrir une zone donnée, placez des bandes horizontales à distance  $r(1 + \sqrt{3}/2)$ . Ajoutez une autre bande pour croiser d'autres bandes parallèles. Le résultat est un réseau de capteurs connectés couvrant toute la zone souhaitée.



**Figure 2.3** Placement Déterministe Des Capteurs

Dans, *Leonchini et al* [14]. Les propriétés de couverture sont étudiées en déployant des capteurs sur une grille avec des erreurs aléatoires ; dans ce cas, les capteurs sont dispersés de manière aléatoire autour de l'emplacement cible. Les auteurs tentent de minimiser le nombre de capteurs déployés tout en assurant une couverture de la zone de détection. Tout d'abord, la zone de détection est divisée en petites cellules carrées de sorte que si au moins un capteur se trouve à l'intérieur d'une cellule, cette cellule est couverte. Ensuite, les pourcentages de couverture pour les deux méthodes de déploiement, tirés de la zone de quatre cellules, sont basés sur le déploiement d'un capteur autour de chaque centre de cellule ou sur le déploiement de quatre capteurs autour du centre de cellule. Zone à quatre cellules (déployez quatre capteurs autour du centre d'un secteur à quatre cellules). Ainsi, on observe que le premier cas surclasse le second lorsque le facteur de dispersion est faible et inversement. Par ailleurs, ce travail [13] déduit une limite supérieure du nombre minimum de capteurs à déployer pour parvenir à une couverture de qualité pour un réseau de capteurs relativement grand, lorsque le facteur de dispersion est assez petit.

## ***Chapitre 2: Etat de l'art sur les méthodes géométriques dédiées à la Couverture dans les RCSFs***

*W Yi Poe* et *Jens B. Schmitt* dans [14] étudient l'effet de déploiement sur la réduction de la complexité des problèmes dans les RCSFs. Ils examinent deux types de déploiements de capteurs, aléatoire et déterministe pour un réseau de capteurs à grande échelle sous les contraintes de performance suivantes : la couverture, la consommation énergétique et le retard dans le Transfer des messages. Ils considèrent trois types de déploiements des nœuds capteurs, aléatoire uniforme, grilles carrées et mosaïque tri hexagonal (Tri-Hexagon Tiling) (THT) et élaborent sur cette base un modèle simple pour la gestion de l'énergie de chacune des trois stratégies de déploiement.

### **2.2 Diagramme de Voronoi**

Un diagramme de Voronoi [15] est une représentation graphique utilisée pour optimiser les problèmes de partitionnement spatial. En termes simples, il divise un espace en plusieurs régions, de sorte que chaque point d'une région donnée est plus proche d'un "centre" spécifique de cette région que de tout autre "centre" d'une autre région. Dans le contexte des réseaux de capteurs sans fil, ces "centres" sont généralement les capteurs individuels.

Chaque région dans un diagramme de Voronoi est appelée une cellule de Voronoi, et toutes les cellules ensemble forment un tissu de Voronoi. Les cellules sont définies de manière à minimiser la distance entre chaque point de la cellule et le "centre" de cette cellule (dans ce cas, le capteur sans fil).

Dans le domaine de la couverture de réseau des capteurs sans fil, les diagrammes de Voronoi sont souvent utilisés pour déterminer la manière optimale de déployer et d'organiser les capteurs afin de garantir la couverture la plus large et la plus efficace possible. En d'autres termes, ils sont utilisés pour garantir qu'aucun point dans l'espace surveillé n'est hors de portée d'un capteur sans fil.

En outre, les diagrammes de Voronoi peuvent également être utilisés pour déterminer quels capteurs doivent être actifs à un moment donné pour optimiser la consommation d'énergie, pour maintenir la connectivité du réseau ou pour effectuer des tâches de surveillance spécifiques.

La description mathématique précise d'un diagramme de Voronoi peut varier en fonction du contexte, mais la définition générale est la suivante :

Étant donné un ensemble de points distincts  $S = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$  dans l'espace euclidien, le diagramme de Voronoi pour cet ensemble est la partition de l'espace en  $n$  régions (ou cellules), une pour chaque point  $p_i$  dans  $S$ , de telle sorte que la région  $R(p_i)$  correspondant à  $p_i$  contient tous les

## Chapitre 2: Etat de l'art sur les méthodes géométriques dédiées à la Couverture dans les RCSFs

points plus proches de  $p_i$  qu'à n'importe quel autre point  $p_j$  (où  $j \neq i$ ).

La cellule Voronoi pour un point  $p_i$  est formellement définie comme suit :

$$R(p_i) = \{x : |p_i - x| \leq |p_j - x|, \forall j \neq i\} \quad (1)$$

Ici,  $E$  est l'espace euclidien,  $d()$  est une fonction de distance (généralement la distance euclidienne), et  $x$  est un point dans l'espace.

Cette définition crée une partition de l'espace où chaque point est assigné à la cellule Voronoi du point le plus proche dans  $S$ . Le résultat est le diagramme de Voronoi de l'ensemble de points  $S$ .

Notez que cette définition est pour un diagramme de Voronoi dans l'espace euclidien, qui est l'utilisation la plus commune. Cependant, d'autres types de diagrammes de Voronoi peuvent être définis en utilisant d'autres espaces et fonctions de distance.

Enfin, les arêtes du diagramme de Voronoi (les frontières entre les cellules) sont les points qui sont équidistants de deux ou plusieurs points dans  $S$ . Dans le cas d'un diagramme de Voronoi 2D, ces arêtes forment une mosaïque de polygones autour de chaque point dans  $S$ .

La figure suivante montre le diagramme de Voronoi obtenu à partir d'un ensemble de points en appliquant la définition (1).

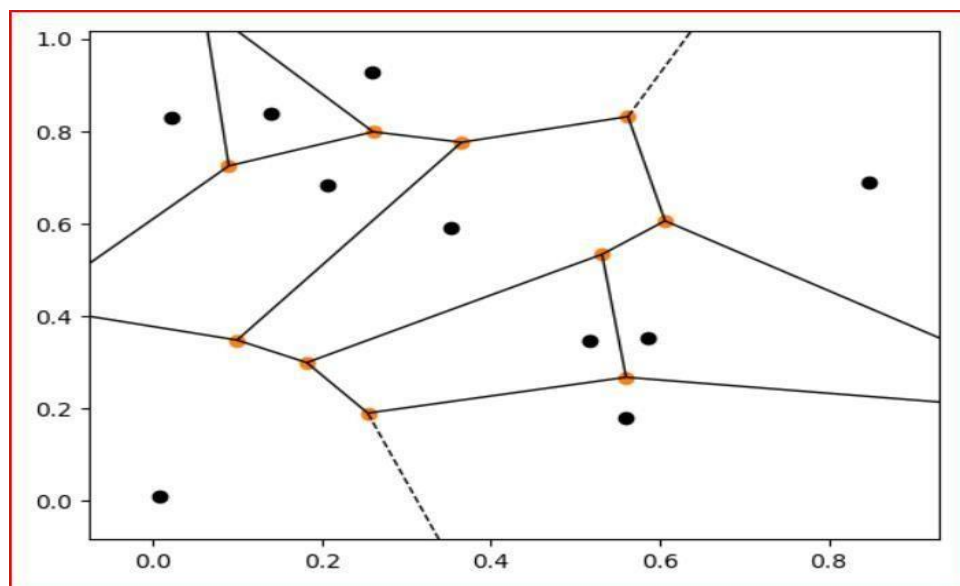


Figure 2.4 : Le diagramme de Voronoi

## Chapitre 2: Etat de l'art sur les méthodes géométriques dédiées à la Couverture dans les RCSFs

### 2.3 L'algorithme incrémental (plus grand cercle vide)

L'algorithme incrémental [16], également connu sous le nom de l'algorithme du plus grand cercle vide (Largest Empty Circle Algorithm - LECA), est utilisé pour optimiser le placement des nœuds dans les réseaux de capteurs sans fil. L'objectif de cet algorithme est de maximiser la couverture de la zone d'intérêt en minimisant le nombre de capteurs nécessaires.

L'idée derrière l'algorithme du plus grand cercle vide est de trouver le plus grand cercle qui ne contient aucun nœud du réseau (c'est-à-dire un capteur) dans sa région intérieure. Ensuite, un nouveau nœud est placé au centre de ce cercle. Le processus se répète jusqu'à ce que la couverture souhaitée soit atteinte.

Plus précisément, l'algorithme procède comme suit :

- Trouvez le plus grand cercle vide dans la zone d'intérêt qui ne contient aucun nœud.
- Placez un nouveau nœud au centre de ce cercle.
- Répétez les étapes 1 et 2 jusqu'à ce que la couverture souhaitée soit atteinte.

Cet algorithme est attrayant car il tente de maximiser la couverture tout en minimisant le nombre de nœuds utilisés. Cependant, il peut être complexe à mettre en œuvre, en particulier dans les environnements 3D ou lorsque la zone d'intérêt a une forme complexe.

La figure 2.5 montre le procédé de l'algorithme incrémental.

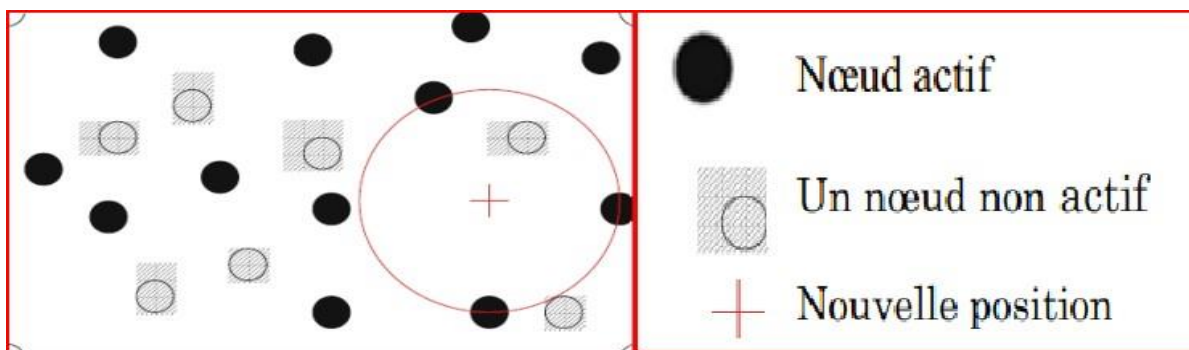


Figure 2.5 : le procédé de l'algorithme incrémental.

## *Chapitre 2: Etat de l'art sur les méthodes géométriques dédiées à la Couverture dans les RCSFs*

### **3. Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons exploré l'état de l'art des méthodes géométriques utilisées pour optimiser la couverture dans les réseaux de capteurs sans fil (RCSFs). Nous avons examiné des concepts clés tels que les méthodes de grilles, les diagrammes de Voronoi et l'algorithme du plus grand cercle vide (Largest Empty Circle Algorithm - LECA), soulignant leur importance pour la maximisation de la couverture et l'efficacité énergétique.

Cependant, malgré les avancées significatives dans ce domaine, il existe toujours des défis importants. Le déploiement optimal des capteurs dans les RCSFs est un problème complexe qui nécessite des considérations non seulement géométriques, mais aussi énergétiques, environnementales et de connectivité. Par conséquent, nous pensons que nous sommes en mesure de proposer une approche pouvant rivaliser avec un certain nombre de ces méthodes.

En somme, les méthodes géométriques jouent un rôle clé dans la résolution des problèmes de couverture dans les RCSFs, et elles continueront probablement à être au cœur des stratégies d'optimisation à mesure que ces réseaux deviennent de plus en plus essentiels pour une multitude d'applications.

## *Chapitre 3: Contribution : La méthode de grille royale : QGMC (A Queen's Grid Method for Coverage)*

### **Chapitre 3 : Contribution : La méthode de grille royale : QGMC (A Queen's Grid Method for Coverage)**

#### **1. Introduction**

Comme mentionné ci-dessus, les grilles sont un moyen efficace de traiter les problèmes de couverture RCSF. Notre approche est originale, basée sur une grille, et évalue la couverture en déterminant l'emplacement des capteurs et en spécifiant un sous-ensemble de nœuds actifs, ce qui nous permettra de prolonger la durée de vie du réseau.

Ce chapitre est organisé comme suit : la première section sera consacrée à une description complète de notre méthode QGMC (Queen's Grid Method for Wireless Sensor Network Coverage). Cette méthode présente des particularités très particulières qui seront développées dans la deuxième partie ; la troisième partie de ce chapitre sera consacrée aux hypothèses et à la description du rationnel de la méthode QGMC afin d'aborder deux points principaux dans ce travail, à savoir : le placement, et la solution minimise le nombre de nœuds actifs pour prolonger la durée de vie du réseau.

#### **2. Description globale de l'approche QGMC**

L'approche QGMC (A Queen's Grid Method for coverage in WSNs) est une stratégie innovante conçue pour maximiser la couverture de la zone d'intérêt (ZI) tout en minimisant l'utilisation des nœuds dans les réseaux de capteurs sans fil (Wireless Sensor Networks, WSNs). Le principe fondamental de cette méthode repose sur l'application d'un concept de grille et de localisation pour optimiser la couverture.

Dans le contexte de la QGMC, on imagine que la ZI peut être entièrement englobée par une grille minimale de dimensions  $[M \times N]$ . Ce modèle de grille offre une représentation visuelle simplifiée et efficace pour résoudre le problème de couverture. L'idée est de parvenir à une couverture complète de cette grille, qui représente la ZI.

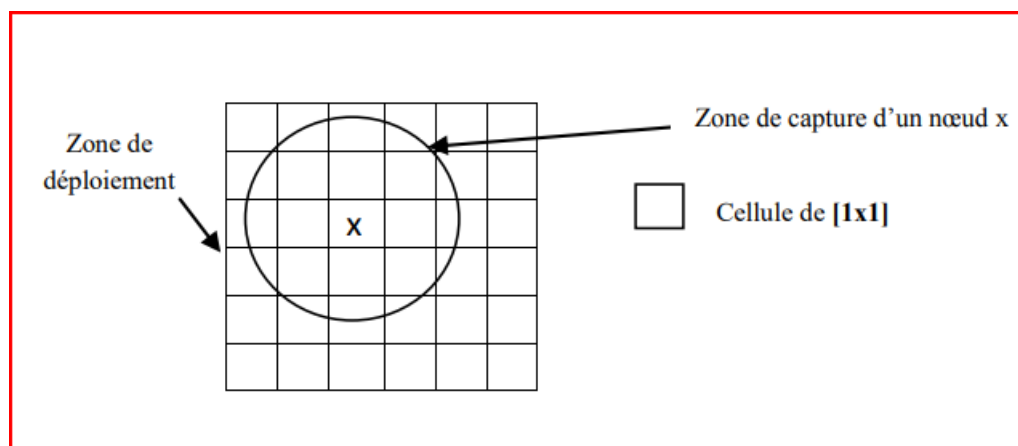
Chaque cellule de cette grille  $[M \times N]$  est jugée couverte lorsque sa totalité est surveillée soit par son capteur interne, soit par l'un de ses voisins directs. Ce concept de couverture interconnectée permet d'étendre la portée de chaque capteur, améliorant ainsi l'efficacité de la

### *Chapitre 3: Contribution : La méthode de grille royale : QGMC (A Queen's Grid Method for Coverage)*

couverture sans nécessiter un nombre excessif de nœuds.

L'efficacité de la couverture de la ZI est évaluée par le pourcentage de la zone couverte. Ce pourcentage est calculé en divisant le nombre de cellules qui sont surveillées par au moins un capteur par le nombre total de cellules de la grille. Cette métrique fournit un moyen quantitatif d'évaluer l'efficacité de la couverture fournie par l'approche QGMC.

Un exemple de grille est illustré par le schéma donné en figure 3.1.



**Figure 3.1:** Illustration de la couverture sur une grille

Donc, L'approche QGMC est divisée en deux phases essentielles pour atteindre une couverture optimale tout en minimisant le nombre de nœuds déployés et actifs. Ces phases sont : la phase de placement et la phase de désignation d'un sous-ensemble de nœuds actifs.

#### ➤ **Phase de placement :**

Cette phase consiste à déterminer la disposition optimale des nœuds dans la zone d'intérêt. Le placement est effectué de manière à maximiser la couverture de la ZI tout en minimisant le nombre de nœuds nécessaires. Chaque nœud est placé dans une cellule spécifique de la grille  $[M \times N]$  de manière que sa portée couvre le plus grand nombre possible de cellules adjacentes. L'objectif est de s'assurer que chaque cellule de la grille est couverte par au moins un capteur, soit le sien, soit celui d'un voisin direct.

#### ➤ **Phase de désignation d'un sous ensemble de nœuds actifs :**

Une fois que le placement des nœuds a été optimisé, la phase de désignation commence. Cette phase consiste à identifier un sous-ensemble de nœuds qui seront activés pour assurer la surveillance de la ZI. L'idée est de désigner le moins de nœuds possible tout en maintenant

## *Chapitre 3: Contribution : La méthode de grille royale : QGMC (A Queen's Grid Method for Coverage)*

une couverture optimale. Cette minimisation des nœuds actifs contribue à la conservation de l'énergie et à l'augmentation de la durée de vie du réseau de capteurs sans fil.

### **3. Caractéristiques principales de QGMC**

L'approche QGMC, ou Queen's Grid Method for Coverage, propose une solution novatrice au problème de couverture dans les réseaux de capteurs sans fil. Voici les principales caractéristiques de cette méthode :

- **Optimisation de la couverture** : Le but principal de l'approche QGMC est de garantir une couverture complète de la zone d'intérêt. Pour ce faire, elle divise la zone en une grille de dimensions  $[M \times N]$  et s'efforce de garantir que chaque cellule de cette grille est couverte par au moins un capteur.
- **Minimisation des nœuds** : En plus d'assurer la couverture complète de la zone, l'approche QGMC vise à minimiser le nombre de nœuds déployés et le nombre de nœuds actifs. Cette caractéristique rend la méthode plus efficace et économique en termes de ressources.
- **Phase de Placement et de Désignation** : La méthode QGMC comprend deux phases clés, la phase de placement et la phase de désignation. Au cours de la phase de placement, les nœuds sont déployés de manière optimisée pour maximiser la couverture. Ensuite, pendant la phase de désignation, un sous-ensemble de ces nœuds est sélectionné pour être activé, réduisant ainsi la consommation d'énergie.
- **Efficacité énergétique** : En minimisant le nombre de nœuds actifs, l'approche QGMC favorise l'efficacité énergétique. Cela est crucial pour les réseaux de capteurs sans fil, où l'économie d'énergie peut avoir un impact significatif sur la durée de vie du réseau.
- **Flexibilité** : Grâce à son concept de grille, l'approche QGMC peut s'adapter à différentes formes et tailles de zones d'intérêt. Cela rend cette méthode flexible et applicable à une variété de situations.

## *Chapitre 3: Contribution : La méthode de grille royale : QGMC (A*

### *Queen's Grid Method for Coverage)*

- **Evaluation Quantitative** : L'approche QGMC offre une mesure quantitative de l'efficacité de la couverture. En calculant le pourcentage de la zone couverte, il est possible d'évaluer objectivement l'efficacité de la méthode.

#### **4. Les hypothèses de travail**

L'approche QGMC, tout comme d'autres méthodes de couverture pour les réseaux de capteurs sans fil, est basée sur un certain nombre d'hypothèses qui permettent de simplifier et d'optimiser le processus de mise en œuvre.

Nous énumérons ci-après les différentes hypothèses sur lesquelles repose notre travail :

- **Couverture complète** : Une hypothèse clé est que chaque cellule de la grille [MxN] doit être entièrement couverte par au moins un capteur. Cette hypothèse garantit que la zone d'intérêt est entièrement surveillée.
- **Grille minimale** : L'approche QGMC suppose que la zone d'intérêt peut être intégralement représentée par une grille minimale [MxN]. Cette hypothèse facilite la visualisation de la couverture et la résolution du problème de couverture.
- **Capteurs homogènes** : On suppose souvent que tous les capteurs ont la même portée de détection et consomment la même quantité d'énergie. Ces hypothèses simplifient le processus de planification de la couverture.
- **Communication entre nœuds** : Une autre hypothèse est que tous les nœuds peuvent communiquer directement entre eux ou via d'autres nœuds. Cela permet de faciliter le partage d'informations et la coordination des nœuds pour assurer une couverture complète, le rayon de communication  $R_{com}$  est égal au rayon de capture  $R_{cap}$  ( $R_{com}=R_{cap}$ ).
- **Efficacité énergétique** : L'approche QGMC suppose que l'énergie est une ressource précieuse et que minimiser le nombre de nœuds actifs aidera à prolonger la durée de vie du réseau de capteurs.
- **Placement statique des nœuds** : Une autre hypothèse courante est que les nœuds, une fois déployés, ne changent pas de position. Cela signifie que la couverture est calculée en fonction d'un placement initial fixe des nœuds.

# Chapitre 3: Contribution : La méthode de grille royale : QGMC (A Queen's Grid Method for Coverage)

## 5. Principe de QGMC

Cette partie est consacrée à la description détaillée de l'approche QGMC, en répondant à plusieurs questions importantes notamment celles en relation avec :

- La manière de placer les capteurs,
- L'optimisation de la durée de vie du réseau en désignant un sous ensemble des nœuds actifs couvrant toute la zone.

### 5.1 Le placement des capteurs dans la grille

Le déploiement est l'un des problèmes les plus importants de RCSF. Il existe deux classes de méthodes de déploiement : la première est aléatoire et la seconde est déterministe [17]. Dans ce dernier, des capteurs sont placés à des points précis. Lors de la planification du placement des capteurs, il convient de veiller à minimiser le nombre de capteurs utilisés.

#### 1) La notion de la grille

L'approche QGMC repose sur les schémas ci-dessous qui illustrent l'obtention d'une grille minimale et qui contient la zone à surveiller.

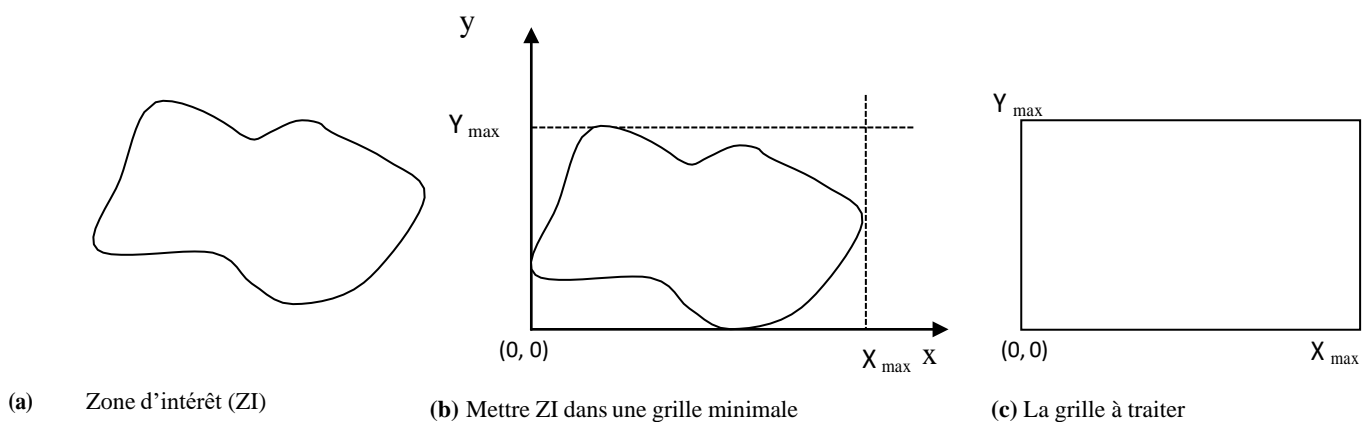


Figure 3.2 : La grille minimale contenant la zone d'intérêt.

## *Chapitre 3: Contribution : La méthode de grille royale : QGMC (A Queen's Grid Method for Coverage)*

### **2) Positionnement des capteurs sur la grille**

Dans le cadre de notre approche QGMC comme le montre la figure 3.2, le positionnement des capteurs sur la grille suit un schéma séquentiel bien défini pour maximiser l'efficacité et minimiser l'utilisation de capteurs. Cette méthode commence au point origine de la grille (0,0) et se déplace de manière séquentielle à travers la grille, en suivant une trajectoire horizontale puis verticale.

- ❖ **Placement Horizontal** : Commencez par le point (0, 0) et déplacez-vous horizontalement, plaçant les capteurs à des intervalles optimisés jusqu'à ce que vous atteigniez le point (Xmax, 0). Cette approche linéaire assure que chaque ligne horizontale de cellules sur la grille est couverte de manière efficace.
- ❖ **Placement Vertical** : Après avoir atteint le point (Xmax, 0), déplacez-vous verticalement, en continuant à placer les capteurs jusqu'à ce que vous atteigniez le point final (Xmax, Ymax). Cela garantit que chaque colonne verticale de cellules sur la grille est également couverte.

#### ➤ **Quelques définitions de base :**

1. **Cellule de base** : Une cellule de base est une grille réduite à une et une seule cellule.
2. **Grille de base** : Une grille de base est une grille carrée composée de [3x3] cellules.
3. **Grilles dépendantes** : Deux grilles de base sont dites dépendantes, si elles ont des éléments (cellules) en commun.
4. **Grilles indépendantes** : Deux grilles de base sont dites indépendantes, si elles n'ont aucun élément (cellule) en commun.
5. **Cellule critique** : Une cellule est dite critique si elle est entièrement couverte.
6. **Grille de base critique** : Une grille de base est dite critique si elle est entièrement couverte.

#### ➤ **Modèle de grille utilisé par QGMC**

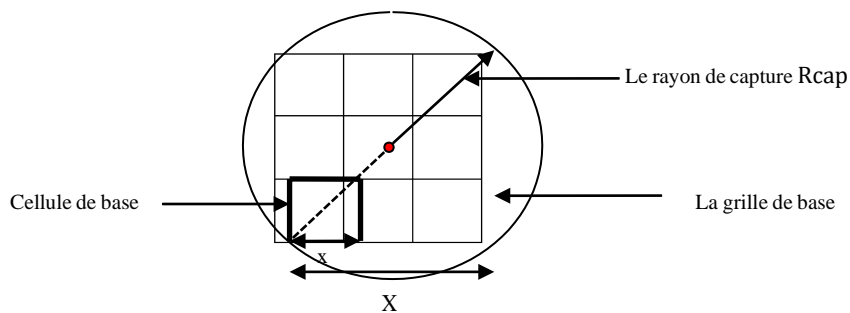
L'approche QGMC utilise un modèle de grille spécifique pour représenter la zone de surveillance d'un capteur. Dans ce modèle, la zone de surveillance est décrite comme une cellule carrée appartenant à une grille. Le modèle repose sur les hypothèses suivantes :

### Chapitre 3: Contribution : La méthode de grille royale : QGMC (A Queen's Grid Method for Coverage)

- **Dimension de la Cellule :** La taille de chaque cellule carrée est déterminée par le rayon de capture du capteur,  $R_{cap}$ . Cela signifie que le capteur est capable de surveiller entièrement la cellule carrée dans laquelle il est placé.
- **Rayon de Transmission :** Dans ce modèle, le rayon de transmission du capteur,  $R_{com}$ , est égal au rayon de capture,  $R_{cap}$ . Cela implique que chaque capteur peut communiquer directement avec les capteurs dans les cellules adjacentes.
- **Couverture et Communication :** Chaque nœud dans ce modèle est capable de découvrir entièrement neuf cellules (formant une sous-grille de 3x3) et peut communiquer avec ses huit voisins directs. Les voisins directs sont les capteurs placés dans les cellules immédiatement adjacentes, y compris les cellules diagonalement adjacentes.

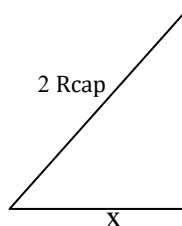
➤ **La relation entre le rayon de capture et la cellule de base :**

Nous avons supposé que le rayon de capture à une relation directe avec la grille de base et par conséquent la cellule de base résultante.



**Figure3.3 :** La relation entre le rayon de capture et la cellule de base.

En appliquant le théorème de Pythagore :



$$(2R_{cap})^2 = (x)^2 + (x)^2$$

$$4R_{cap}^2 = 2x^2$$

$$x = R_{cap}\sqrt{2}$$

Comme il s'agit d'une grille de base de [3x3], l'unité de sa cellule de base est fonction du rayon, qui est :  $R_{cap}\sqrt{2} / 3$ .

### *Chapitre 3: Contribution : La méthode de grille royale : QGMC (A Queen's Grid Method for Coverage)*

- **Algorithme (1) de placement :**

```
Fonction placer_capteurs(zone_size, rcap, nombre_capteurs):  
Début  
  // Calculer la taille de chaque cellule  
  cell_size = rcap  $\times \sqrt{2} / 3$   
  // Calculer le nombre de cellules dans chaque direction  
  num_cells = entier(zone_size / cell_size)  
  
  // Si un nombre spécifique de capteurs est fourni, limiter le nombre de cellules à ce nombre  
  Si nombre_capteurs n'est pas Null Alors  
    num_cells = nombre_capteurs  
  Fin Si  
  // Initialiser la liste des capteurs et des nœuds actifs  
  Initialiser capteurs comme une liste vide  
  
  // Parcourir chaque cellule de la grille  
  Pour i allant de 0 à num_cells - 1 faire  
    Pour j allant de 0 à num_cells - 1 faire  
      // Calculer le centre de chaque cellule  
      center_x = i  $\times$  cell_size + cell_size / 2  
      center_y = j  $\times$  cell_size + cell_size / 2  
  
      // Ajouter les coordonnées du capteur à la liste  
      Ajouter (center_x, center_y) à capteurs  
  
    Fin Pour  
  Fin Pour  
  
  // Renvoyer la liste des capteurs, la liste des nœuds actifs et la taille des cellules  
  Renvoyer capteurs, cell_size  
Fin
```

## *Chapitre 3: Contribution : La méthode de grille royale : QGMC (A Queen's Grid Method for Coverage)*

### - **Les étapes d'exécution de l'algorithme (1) :**

Les étapes d'exécution de cet algorithme sont les suivantes :

- **Étape 1 :** Début de l'exécution de la fonction "placer\_capteurs" avec les arguments "zone\_size", "rcap", et "nombre\_capteurs".
- **Étape 2 :** Calcul de la taille de chaque cellule : La variable "cell\_size" est calculée en multipliant "rcap" par la racine carrée de 2 et en divisant le résultat par 3.
- **Étape 3 :** Calcul du nombre de cellules dans chaque direction : La variable "num\_cells" est calculée en divisant "zone\_size" par "cell\_size" et en convertissant le résultat en un entier.
- **Étape 4 :** Vérification du nombre de capteurs : Si "nombre\_capteurs" n'est pas nul, alors "num\_cells" est mis à jour pour être égal à "nombre\_capteurs".
- **Étape 5 :** Initialisation de la liste des capteurs : Une liste vide "capteurs" est créée pour stocker les coordonnées de chaque capteur.
- **Étape 6 :** Parcours de chaque cellule de la grille : Deux boucles imbriquées sont utilisées pour parcourir chaque cellule de la grille. Pour chaque cellule :
- **Étape 7 :** Calcul du centre de chaque cellule : Les coordonnées du centre de la cellule sont calculées ("center\_x" et "center\_y") en multipliant l'indice de la cellule par "cell\_size" et en ajoutant la moitié de "cell\_size".
- **Étape 8 :** Ajout des coordonnées du capteur à la liste : Les coordonnées du centre de la cellule (qui correspondent aux coordonnées du capteur) sont ajoutées à la liste "capteurs".
- **Étape 9 :** Renvoi des résultats : Finalement, la fonction renvoie la liste "capteurs" et "cell\_size".

A la fin de toutes les étapes de placement, nous aurons une grille [NxM] où chaque capteur est positionné au centre d'une cellule dans la grille. La superficie de la cellule de la grille est calculée en fonction du rayon de capture des nœuds et elle est égale à  $((Rcap\sqrt{2} / \sqrt{3}) * (Rcap\sqrt{2} / \sqrt{3}))$ .

## Chapitre 3: Contribution : La méthode de grille royale : QGMC (A Queen's Grid Method for Coverage)

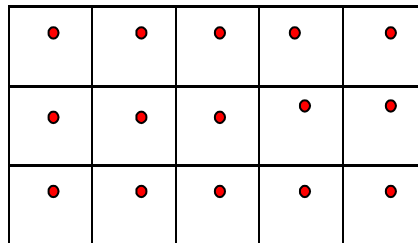


Figure 3.4: La grille résultante après le placement des capteurs

### 5.2 Désignation d'un sous ensemble de nœuds actifs :

Dans le cadre de l'approche QGMC, la désignation d'un sous-ensemble de nœuds actifs est une étape clé pour optimiser la consommation d'énergie et maximiser la durée de vie du réseau. Cette désignation est réalisée selon certaines règles d'optimisation, avec l'objectif de minimiser le nombre de nœuds actifs tout en maintenant une couverture complète de la zone d'intérêt.

Lors de la conception de ces mécanismes, deux questions essentielles doivent être abordées :

- ❖ Quelle sont les règles à suivre pour qu'un nœud doit-il entrer en mode veille ?
- ❖ Quand est-ce qu'un nœud doit-il prendre une telle décision ?

Notre approche permettra de répondre à ces questions tout en présentant un ensemble de règles à suivre pour optimiser le nombre de nœuds actifs.

#### 1) Les règles d'optimisation :

Dans l'approche QGMC, l'optimisation des nœuds actifs est basée sur certaines règles inspirées par le principe de la grille et du problème classique des huit reines en échecs. Voici quelques règles qui pourraient être utilisées pour déterminer les nœuds qui seront à l'état actif (actifs) et ceux qui seront à l'état passif (en veille) :

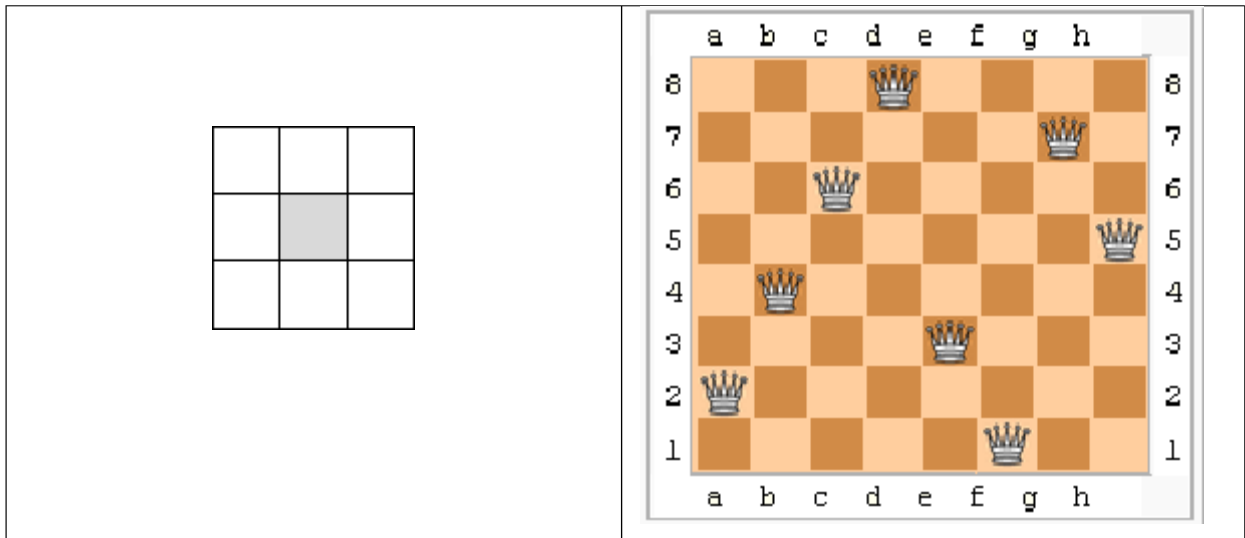
##### ❖ Règle de Couverture :

Un nœud ne doit rester actif que si la zone qu'il couvre n'est pas entièrement couverte par les zones de couverture des autres nœuds. C'est-à-dire qu'un nœud peut passer en mode veille si toutes les cellules qu'il couvre sont également couvertes par d'autres nœuds actifs.

## *Chapitre 3: Contribution : La méthode de grille royale : QGMC (A Queen's Grid Method for Coverage)*

### ❖ Règle de Non-Collision :

Cette règle est inspirée du problème des huit reines [18]. Dans le problème des huit reines, l'objectif est de placer huit reines sur un échiquier de 8x8 de manière qu'aucune reine ne puisse en attaquer une autre. Nous nous sommes basés sur le même principe pour optimiser le nombre de nœuds actifs ; sur une grille de base [3x3], le nœud situé au centre de cette dernière peut couvrir tous ces voisins directs (à un seul saut) par ligne, par colonne et par diagonale avec un rayon de capture permettant de les dominer. Ainsi, nous pouvons assurer la couverture des huit cellules avec une seule cellule reine (capteur actif) ; c'est à dire une grille de base critique qui engendre neuf cellules critiques (couvertes).

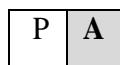


**Figure 3.5 :** Relation entre le problème de huit reines et notre approche.

### ❖ Les règles de base :

Pour introduire l'approche QGMC, nous allons travailler sur ces 3 règles de bases :

- Premièrement, on suppose après placement, que la grille est composée juste de deux cellules : grille [1x2] ou [2x1]. Dans ce cas, un nœud doit être actif (A) et l'autre passif (P).



**Figure 3.6:** La couverture dans une grille composée de deux nœuds

## *Chapitre 3: Contribution : La méthode de grille royale : QGMC (A Queen's Grid Method for Coverage)*

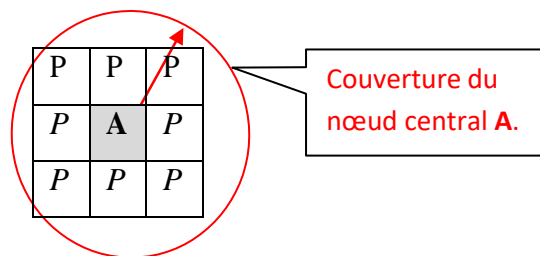
- Dans le cas d'une grille composée de quatre cellules [2x2], un seul nœud doit être actif et tous les autres nœuds passent à l'état passif.

p	p
p	A

**Figure 3.7:** La couverture dans une grille carrée composée de quatre nœuds [2x2]

En effet, selon la figure 3.8 le nœud A à plusieurs points en commun avec son voisin de gauche, son voisin de haut, mais il n'a qu'un seul point en commun avec son voisin en diagonale. Donc les trois nœuds voisins sont couverts par le nœud A.

- Dans le cas d'une grille carrée contenant neuf cellules [3x3] (nœuds), le nœud au centre doit être actif et tous les autres peuvent se mettre à l'état passif. C'est l'idée principale de l'approche QGMC sur laquelle tous les autres cas vont se baser.



**Figure 3.8:** La grille de base de l'approche QGMC

### ❖ Etude de cas :

- Dans le cas d'une grille [4x4] : ce sont les capteurs : (2, b) ; (2, c) ; (3, b) ; (3, c) qui sont actifs.

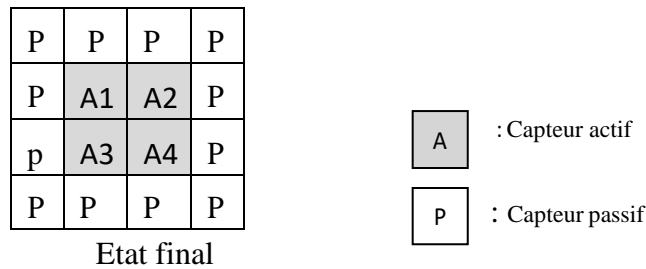
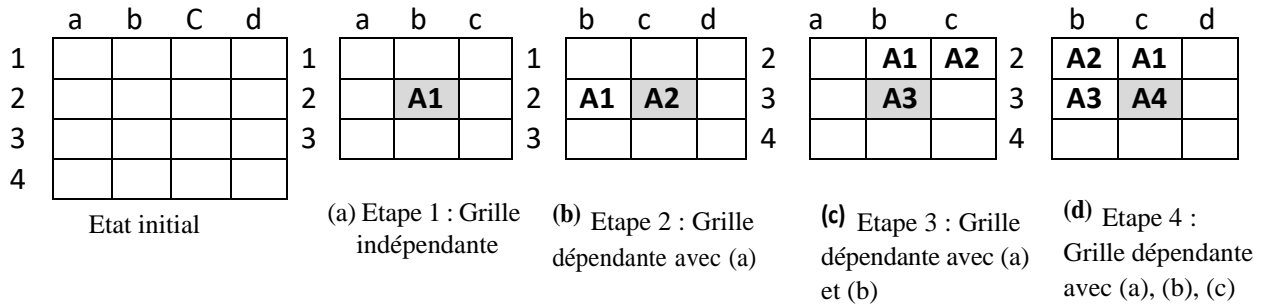
Les étapes à suivre pour avoir ces résultats sont les suivantes :

- On cherche d'abord une grille [3,3] vide en commençant par le point de départ, et on désigne l'élément central (2, b) de la grille de base comme actif (A1).
- On cherche après une autre grille [3x3] indépendante de la première. En absence de celle-ci, nous cherchons alors une grille dépendante (adjacente) de la première et ayant des éléments en commun. (deux lignes et deux colonnes en commun dans ce cas). On

### Chapitre 3: Contribution : La méthode de grille royale : QGMC (A Queen's Grid Method for Coverage)

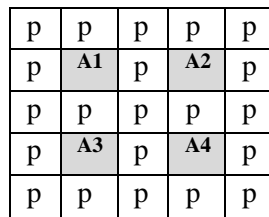
trouve une qui contient A1 (voir étape (b) ci-dessous). On désigne alors A2 comme actif.

- Tant qu'il existe encore une cellule non couverte, on répète l'étape précédente.
- A la fin, quatre éléments actifs sont suffisants pour couvrir la grille [4x4].



**Figure 3.9 :** Couverture assurée avec 4 éléments dans une grille [4x4].

- Cas d'une grille carrée [5x5] : une fois A1 désigné dans la 1<sup>ère</sup> grille [3, 3], il suffit de trouver d'autres grilles adjacentes à celle-ci pour garantir la couverture. Le nombre de nœuds actifs est 4.



**Figure 3.10 :** Couverture assurée par 4 éléments actifs dans une grille [5x5]

- Cas d'une grille carrée [6x6] : on cherche des grilles de bases [3x3] indépendantes et on désigne l'élément central comme actif, on en trouve 4, et on déduit 4 éléments actifs sur 36 possibles.

### *Chapitre 3: Contribution : La méthode de grille royale : QGMC (A Queen's Grid Method for Coverage)*

p	p	p	p	p	p
p	A	p	p	A	p
p	p	p	p	p	p
p	p	p	p	p	p
p	A	p	p	A	P
p	p	p	p	p	P

**Figure 3.11 :** Couverture assurée par 4 éléments actifs dans une grille [6x6]

- Cas d'une grille [8x8] : il y a 9 éléments actifs avec des grilles de base qui ont des éléments en commun et d'autres non.

Les 4 premières grilles [3, 3] sélectionnées sont entièrement indépendantes (aucun élément actif en commun). Leurs éléments actifs sont (A)

Pour les 5 dernières grilles [3, 3] et dont les éléments actifs sont notés (A), elles ont une ligne ou une colonne en commun avec d'autres grilles.

p	p	p	p	p	p	p	p
p	A	p	p	A	p	A	p
p	p	p	p	p	p	p	p
p	p	p	p	p	p	p	p
p	A	p	p	A	p	A	p
p		p	p	p	p	p	p
p	A	p	p	A	p	A	p
p	p	p	p	p	p	p	p

**Figure 3.12 :** Couverture assurée par 9 éléments actifs dans une grille [8x8].

Nous pouvons donc énoncer les deux règles suivantes :

- **R1:** Dans le cas d'une grille [M, N] tel que (M>3 et N>3), où M et N sont des multiples de 3, alors déduire directement les grilles de base indépendantes et leurs éléments actifs.
- **R2:** Dans le cas d'une grille [M, N] tel que (M>3 et N>3), avec M et N non multiple de 3 nous avons deux instructions à exécuter :
  - On commence par chercher des grilles de bases indépendantes et on désigne l'élément central comme actif pour chacune d'elle.

### *Chapitre 3: Contribution : La méthode de grille royale : QGMC (A Queen's Grid Method for Coverage)*

- Après, on cherche des grilles dépendantes (adjacentes) et on désigne l'élément central comme actif pour chacune d'elle.

#### **- Algorithme (2) pour l'optimisation**

```
DEBUT
Pour G = [M, N] faire
  Si G= [1x2] ou G= [2x1] alors                                /*premier cas particulier*/
    G(1,1) = actif ;                                          /* G (i, j) c'est le capteur positionné sur la cellule (i, j)*/
  Sinon
    Si G= [2x2] alors                                        /*deuxième cas particulier*/
      G(1,2) = actif ;
    Sinon
      Si G= [3x3] alors                                      /* l'idée principale de QGMC*/
        Le nœud situé au centre = actif ;
      Sinon
        Si (N=3k) et (M=3k') alors                          /* dimensions de la grille sont multiples de 3*/
          Chercher des grilles de base [3X3] indépendantes, et désigner l'élément central
          comme actif pour chacune d'elle.
        Sinon                                                /* grille non multiple de 3*/
          Chercher des grilles de base [3X3] indépendantes, et désigner
          l'élément central comme Actif pour chacune d'elle.
        Finsi
      Finsi
    Finsi
  Finsi
Fin
```

### Chapitre 3: Contribution : La méthode de grille royale : QGMC (A Queen's Grid Method for Coverage)

- Exemples d'application :
- Soit une zone d'intérêt représentée par [9x9] cellules, d'après le principe de QGMC, il y a 9 grilles de base indépendantes, donc 9 éléments de nœuds actifs sur 81.

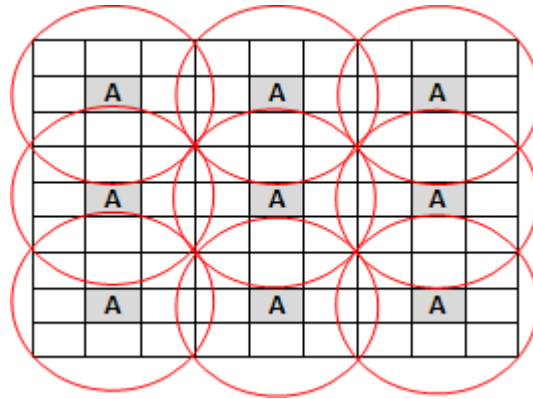


Figure 3.13: Exécution sur une grille carrée de [9x9].

- Soit une grille quelconque de [4x9], avec 6 nœuds actifs sur 36.

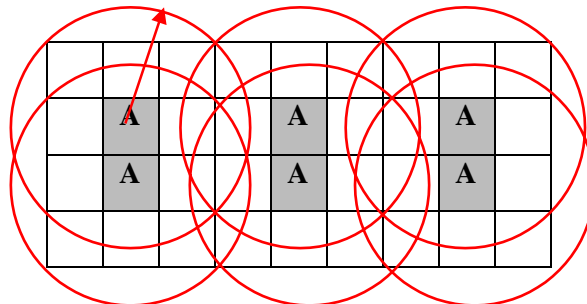


Figure 3.14 : Exécution sur une grille quelconque de [4x9].

- Soit une autre grille de [8x8] avec 9 nœuds actifs sur 64 ;

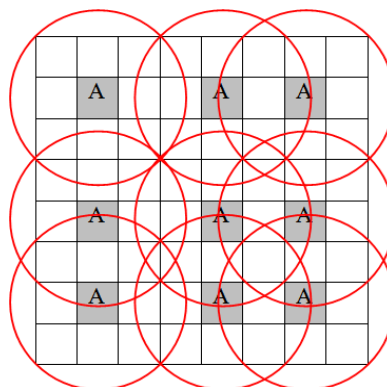


Figure 3.15 : Exécution sur une grille quelconque de [4x9].

## Chapitre 3: Contribution : La méthode de grille royale : QGMC (A Queen's Grid Method for Coverage)

### 6. La généralisation de QGMC :

La portée de surveillance des capteurs diffère d'un capteur à l'autre. Si un capteur possède un rayon de surveillance qui dépasse largement la grille de base  $[3^1 \times 3^1]$ , alors ce capteur peut avoir plus de voisins, autrement dit il couvre plus de capteurs. Alors, le fait d'utiliser des capteurs de rayon de capture plus grand permet de réduire le nombre de nœuds actifs de la grille représentant la zone d'intérêt.

Nous allons exploiter cette idée pour améliorer notre approche, en réduisant le nombre de nœuds actifs (critère souvent cité dans la littérature), la couverture ayant atteint les 100%.

Par exemple, dans le cas d'une grille de  $[3^3 \times 3^3]$  trois cas sont possibles pour le choix de la grille de base selon le rayon de capture des capteurs :

- $GB_1 = [3^1 \times 3^1]$  : 81 nœuds actifs nécessaires pour couvrir toute la grille.
  - $GB_2 = [3^2 \times 3^2]$  : 9 nœuds actifs nécessaires pour couvrir toute la zone.
  - $GB_3 = [3^3 \times 3^3]$  : un seul nœud actif suffisant pour couvrir toute la grille
- Grille de base  $[3^1, 3^1]$  :

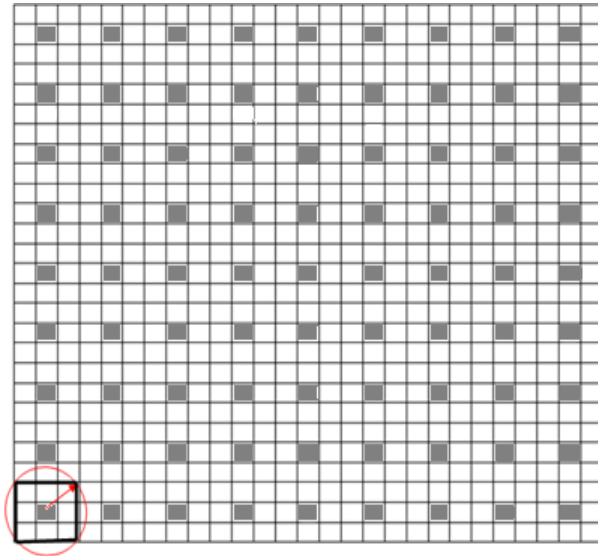


Figure 3.16 : Grille de base  $[3^1 \times 3^1]$ .

Dans le cas où la portée de surveillance des capteurs ne leur permet de couvrir qu'une grille de  $[3^1 \times 3^1]$ , alors cette dernière est considérée comme grille de base qui nécessite un seul nœud actif pour la couvrir. Par conséquent l'ensemble de nœuds actifs couvrant toute la grille est égale à 81 nœuds actifs.

### Chapitre 3: Contribution : La méthode de grille royale : QGMC (A Queen's Grid Method for Coverage)

- Grille de base  $[3^2, 3^2]$

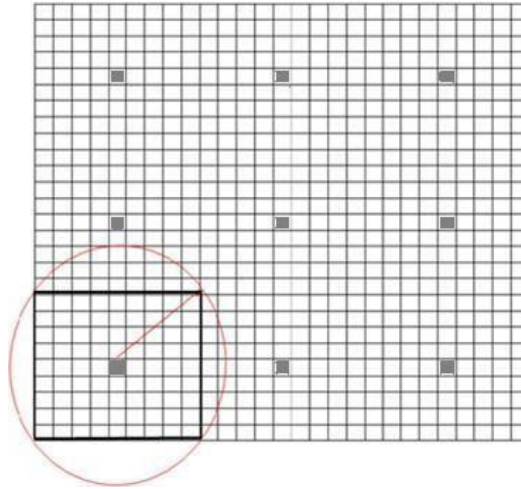


Figure 3.17: Grille de base  $[3^2 \times 3^2]$ .

Dans le cas d'une grille de base  $[3^2 \times 3^2]$ , 9 éléments actifs nécessaires pour une couverture entière de la grille.

#### Grille de base $[3^3, 3^3]$

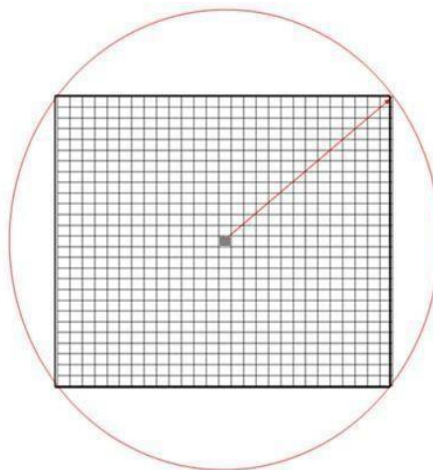


Figure 3.18 : Grille de base  $[3^3, 3^3]$ .

Dans le cas d'une grille de base  $[3^3 \times 3^3]$ , un seul élément actif suffit pour couvrir toute la grille.

Dans le cas d'une grille de base  $[3^3 \times 3^3]$ , un seul élément actif est nécessaire pour une couverture entière de la grille.

### Chapitre 3: Contribution : La méthode de grille royale : QGMC (A Queen's Grid Method for Coverage)

A partir de ces figures (3.16, 3.17, 3.18) on déduit l'intérêt de la généralisation de QGMC et le choix de la grille de base en termes d'optimisation du nombre de nœuds actifs, ce qui engendre une prolongation de la durée de vie du réseau. La grille de base peut donc être vue comme une grille de puissance de 3 ( $[3^2 \times 3^2]$ ,  $[3^3 \times 3^3]$ , ...,  $[3^k \times 3^k]$ ), au lieu du cas simple  $[3^1 \times 3^1]$  de QGMC. Néanmoins, cela va dépendre d'une contrainte technologique liée à la portée maximale des capteurs disponibles dans l'industrie. En effet, on ne peut parler d'une grille de base  $[3^k \times 3^k]$  si le capteur de rayon  $3^k$  n'est pas disponible.

Le paramètre  $k$  va donc dépendre de la contrainte technologique liée à la portée de surveillance maximale d'un capteur. Par exemple, on ne peut pas prendre des grilles de bases  $[3^{10} \times 3^{10}]$  car on suppose qu'on n'a pas de capteurs ayant une portée de surveillance de  $3^{10}$ , d'où l'idée de prendre en considération le rayon de capture maximal qu'on ne peut pas dépasser pour les capteurs déployés.

#### ➤ Principe de l'algorithme généralisé

Par souci de simplification, on prend la taille d'une cellule de base initiale égale à  $(1 \times 1) \text{ m}^2$ . La première phase de l'algorithme généralisé consiste à chercher la grille de base à partir du rayon de surveillance des capteurs.

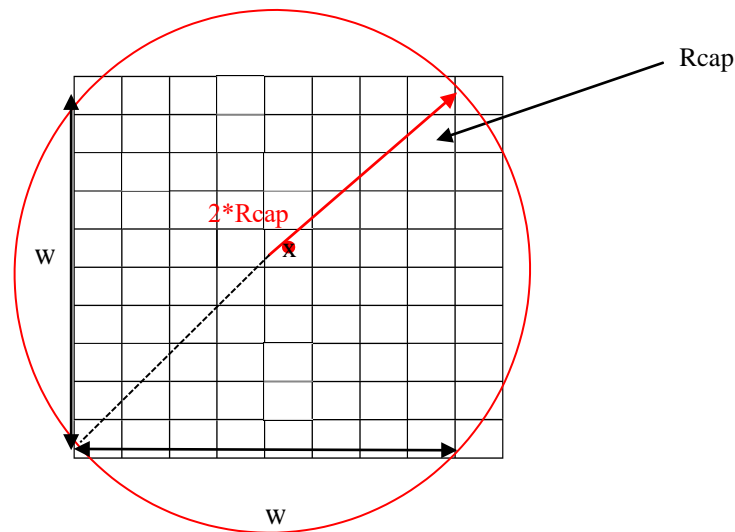


Figure 3.19 : La relation entre le rayon de capture et la grille de base.

A partir de la figure 3.19 la relation entre  $R_{cap}$  et  $w$  est donnée par la formule suivante :  $w = R_{cap} \sqrt{2}$  ; cette relation va nous servir dans notre algorithme pour rechercher des grilles de baes de puissance de 3.

### **Chapitre 3: Contribution : La méthode de grille royale : QGMC (A Queen's Grid Method for Coverage)**

Une fois que nous avons la valeur de  $w$  on l'écrira alors sous forme de puissance de 3 selon la formule suivante :

- ❖ En effet  $w = Rcap\sqrt{2}$
- ❖ On pose  $w=3^k \implies k = (\ln w/\ln 3)$ .
- ❖ On affecte la valeur entière de  $k$  à  $n$  et on pose  $\lambda=3^n$ .
- ❖ D'où notre grille de base sera égale à  $GB = [\lambda \times \lambda]$ .

Etant donné qu'on a une contrainte technologique portant sur le rayon de capture maximal des capteurs déployés, on pose ( $\alpha = Rcap_{\max}$ ). Deux situations sont alors possibles :

1.  $Rcap \leq \alpha$  **alors**  $w = Rcap \sqrt{2}$ .
2.  $Rcap > \alpha$  **alors**  $Rcap = \alpha$ , donc  $w = \alpha \sqrt{2}$ .

Dans ce cas, la grille maximale qui peut être utilisée est  $GB = [3^n \times 3^n]$ , tel que  $n$  est un entier et  $n < (\ln \alpha\sqrt{2}/\ln 3)$ . Comme cité précédemment avec une grille de  $[3^{10} \times 3^{10}]$ , on ne peut pas prendre une grille de base  $[3^9 \times 3^9]$ . Par conséquent, on ne peut utiliser qu'une grille de  $[3^3 \times 3^3]$  par exemple. Dans ce cas  $\alpha = 3^3$ .

Toute zone d'intérêt traitée dans une grille  $[N, M]$  est composée de  $f$  grilles de base, d'où :

$$N = f_1 \lambda + \xi$$
$$M = f_2 \lambda + \xi$$

$\xi$  : la surface restante dont on ne peut pas extraire une grille indépendante (ici on doit mettre uniquement des grilles dépendantes pour assurer la couverture de toute la zone).

## Chapitre 3: Contribution : La méthode de grille royale : QGMC (A Queen's Grid Method for Coverage)

❖ **Algorithme (3) pour la généralisation :**

**DEBUT**

*/\* Phase de placement \*/*

*/\* Recherche de la grille de base \*/*

1.  $R_{cap\ max} = \alpha$

2. **Si**  $R_{cap} \leq \alpha$  **alors** */\* comparaison le rayon de capture avec la valeur maximale\*/*  
 $W \leftarrow R_{cap} \sqrt{2}$  ;

3. **Si non**

$R_{cap} = \alpha$  ; */\* utiliser les capteurs ayant la portée de surveillance max*  
 $W = \alpha \sqrt{2}$  ;

4. **Finsi**

5.  $W = 3^k$  donc  $k = (\ln w) / \ln 3$  ;

6.  $n \leftarrow \lfloor k \rfloor$  */\* prendre la valeur entière inférieur de k\*/*

7.  $\lambda = 3^n$

8. Grille de base  $\leftarrow [\lambda, \lambda]$  ;

9. Pour toute zone (N, M) faire

$N = f \lambda + \xi_1$

$M = f \lambda + \xi_2$  */\* la grille à traiter est composée de f grilles de bases\*/*

10. **Si** ( $\xi_1 = 0$ ) et ( $\xi_2 = 0$ ) **alors** */\* grille multiple de la grille de base\*/*

Chercher des grilles de bases  $[\lambda, \lambda]$  indépendantes et élire l'élément central comme actif pour chacune d'elle.

11. **Si non** */\* grille carrée ou quelconque non multiple de grille de base  $[\lambda, \lambda]$ \*/*

- Chercher des grilles indépendantes et élire l'élément central comme actif pour chacune d'elles

- Chercher des grilles de bases  $[\lambda, \lambda]$  dépendantes, et désigner l'élément central comme actif pour chacune d'elle.

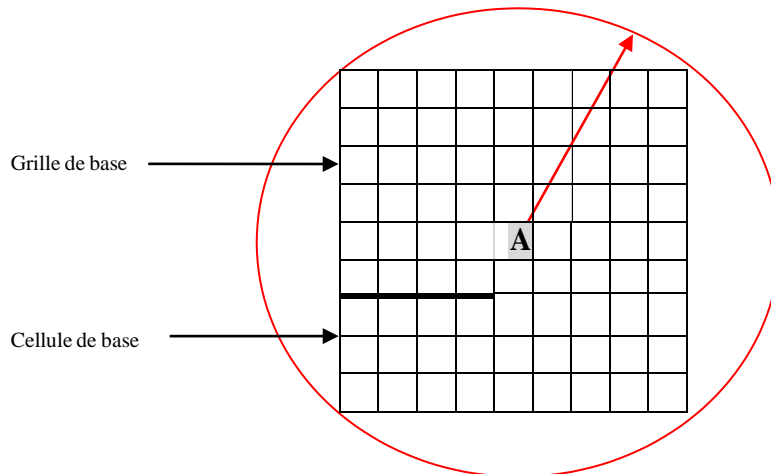
12. **Finsi**

**EIN**

### Chapitre 3: Contribution : La méthode de grille royale : QGMC (A Queen's Grid Method for Coverage)

#### ❖ Exemple d'application :

Pour la zone d'intérêt de la figure 3.20, on remarque que le rayon du nœud centre a une portée de surveillance qui lui permet de couvrir tous les 81 cellules (capteurs). Dans ce cas, la grille de base sera à  $[9 \times 9]$  au lieu de  $[3 \times 3]$ .



**Figure 3.20 :** Application de l'algorithme généralisé sur une grille de  $[3^2 \times 3^2]$

La QGMC généralisée a un gain considérable en termes de nombre de nœuds actifs nécessaires pour couvrir entièrement la zone d'intérêt, tel qu'il est illustré sur la figure précédente pour une grille de  $[3^2 \times 3^2]$  :

Avec une grille de base  $GB = [3^2 \times 3^2]$  un seul élément suffit pour la couvrir. Par contre, avec une grille de base  $[3^1 \times 3^1]$ , 9 éléments actifs sont nécessaires pour couvrir la même zone.

## ***Chapitre 3: Contribution : La méthode de grille royale : QGMC (A Queen's Grid Method for Coverage)***

### **7. Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons introduit et exploré l'approche QGMC (A Queen's Grid Method for Coverage in WSNs), une méthode innovante pour maximiser la couverture et l'efficacité des réseaux de capteurs sans fil (WSNs). Basée sur le concept de grille et de localisation, l'approche QGMC offre une solution pour optimiser la couverture d'une zone d'intérêt tout en minimisant le nombre de nœuds déployés et actifs.

Nous avons commencé par définir le modèle de grille utilisé dans l'approche QGMC, qui représente la zone de surveillance d'un capteur comme une cellule carrée dans une grille. Ce modèle, qui repose sur certaines hypothèses clés concernant les rayons de capture et de transmission, permet une planification simplifiée et efficace de la couverture.

Ensuite, nous avons discuté de la méthode de placement des capteurs sur la grille, qui est effectuée de manière séquentielle, en commençant par le point (0,0) et en se déplaçant horizontalement puis verticalement. Cette méthode systématique assure une couverture exhaustive de la zone d'intérêt tout en minimisant le nombre de capteurs utilisés.

Enfin, nous avons abordé la question cruciale de la désignation d'un sous-ensemble de nœuds actifs. En utilisant un ensemble de règles d'optimisation, l'approche QGMC vise à réduire le nombre de nœuds actifs, permettant aux nœuds inactifs de passer en mode "veille" pour économiser l'énergie. Ces règles, inspirées par le principe de la grille et le problème des huit reines, permettent une gestion énergétique efficace qui prolonge la durée de vie du réseau.

En conclusion, l'approche QGMC offre une méthode prometteuse et efficace pour gérer la couverture dans les réseaux de capteurs sans fil. En optimisant le placement des capteurs et le nombre de nœuds actifs, elle promet une couverture maximale de la zone d'intérêt avec une utilisation minimale de ressources, ce qui la rend idéale pour une variété d'applications de surveillance et de collecte de données.

## *Chapitre 4: Simulation et analyses de performances de l'approche QGMC*

# **Chapitre 4 : Simulation et analyses de performances de l'approche QGMC**

### **1. Introduction**

Comme nous l'avons vu au chapitre 3, QGMC est une méthode de modélisation du problème de couverture dans les réseaux de capteurs sans fil. Il fournit un placement de capteur déterministe. De plus, QGMC utilise des techniques de planification d'activités visant à prolonger la durée de vie du réseau.

Notre expérience est divisée en trois parties, l'une consiste à évaluer la couverture, Une autre évalue le nombre de nœuds actifs, le dernier évalue Pourcentage de nœuds déployés.

Pour analyser les performances de la méthode proposée, nous avons développé un simulateur écrit en python sous un ordinateur. Le programme vous permet d'effectuer le processus de placement et de sélection des nœuds actifs dans des grilles de différentes tailles. Certains résultats sont textuels et d'autres graphiques. En fonction de la taille du maillage correspondant à la région d'intérêt, notre programme peut visualiser la sortie, le déploiement déterministe des nœuds et le maillage résultant contenant les nœuds actifs et passifs.

Dans ce chapitre, nous allons présenter et discuter nos résultats et les comparer avec quelques autres approches géométriques comme le diagramme de *Voronoi*, le déploiement aléatoire (*Random*), l'algorithme incrémental et *G.A.F* (*Geographical Adaptive Fidelity*).

## **2. Environnement et paramètres de simulation**

### **2.1 Environnement de simulation**

Après nos recherches sur de nombreux simulateurs existants (Ns-2, J-Sim, etc.) dédiés à la simulation dans le domaine des réseaux de capteurs sans fil, nous avons constaté que des modifications étaient nécessaires pour les adapter à notre approche *QGMC*. De plus, le temps nécessaire pour commencer à utiliser un émulateur dépasse de loin le temps nécessaire pour développer un outil d'émulation dédié. Pour ces raisons, nous avons choisi de créer notre propre outil de simulation spécifique à *QGMC*.

Cet outil est développé en langage python sous l'environnement jupyter. Toutes les simulations ont été réalisées sur un ordinateur de type LENOVO (YOGA-720) avec 8 Go de RAM et un processeur Intel Core i5 cadencé à 2.50 GHz.

### **2.2 Paramètres de simulation**

Lors de l'expérimentation de notre méthode, nous utilisons généralement Les paramètres suivants :

Les résultats à présenter sont obtenus à partir d'un réseau constitué de nœuds déployés sur une surface carrée de taille (100x100) m<sup>2</sup>. Nous simulons des réseaux de 10 à 500 nœuds la plupart du temps, avec des rayons de capture allant de 2m à 30m.

La couverture est évaluée à l'aide de l'outil de grille qui sous-tend la méthode *QGMC*, si une cellule est complètement couverte, elle est appelée cellule critique et le pourcentage de surface couverte est le rapport du nombre de cellules critiques au nombre total de cellule.

## **3. Les paramètres de performances**

Dans la littérature on trouve plusieurs paramètres de simulation tels que la couverture et le pourcentage de nœud actifs et Le pourcentage des capteurs déployés. Ces paramètres sont souvent utilisés pour évaluer les solutions proposées aux problèmes de couverture de zone.

Notre évaluation des performances de *QGMC* est menée en considérant uniquement les paramètres suivants :

## Chapitre 4: Simulation et analyses de performances de l'approche

### QGMC

- **Le pourcentage des nœuds actifs** : c'est le rapport entre le nombre des nœuds actifs et le nombre de tous les nœuds déployés.
- **Le taux de couverture** : il est défini par comme étant le pourcentage moyen de la zone couverte par l'ensemble des nœuds actifs.
- **Le pourcentage des nœuds déployés** : il définit le nombre de nœuds nécessaires pour couvrir une zone. Ce paramètre est évalué lors de la phase de placement, QGMC vise à minimiser le nombre de nœuds déployés vu la contrainte de coût des capteurs.

#### 4. Évaluation des critères de performances de QGMC

##### 4.1 Placement des capteurs sur la zone d'intérêt

Cette expérience évalue le nombre de nœuds nécessaires pour couvrir entièrement une zone d'intérêt de  $100\text{m}^2$  avec des rayons de capture de 10m.

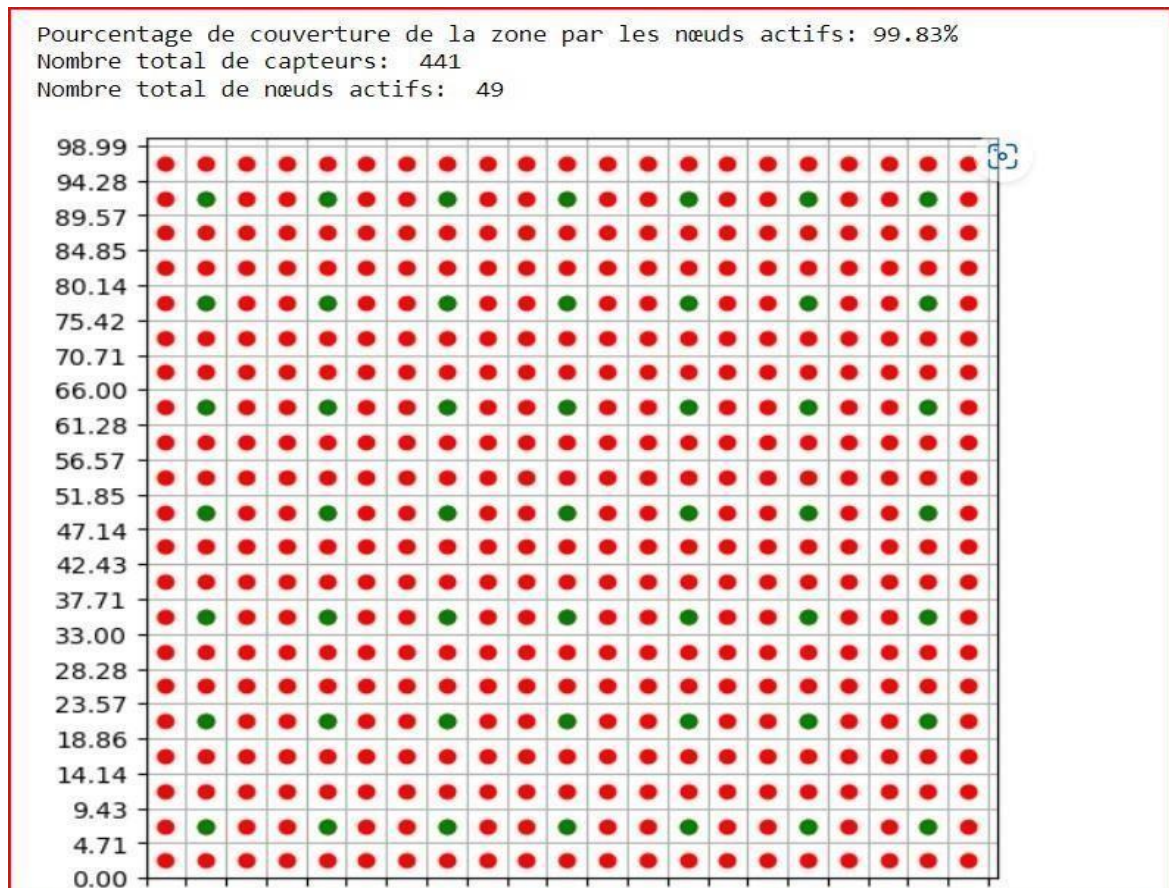


Figure 4.1 : Résultat de l'application de la méthode QGMC

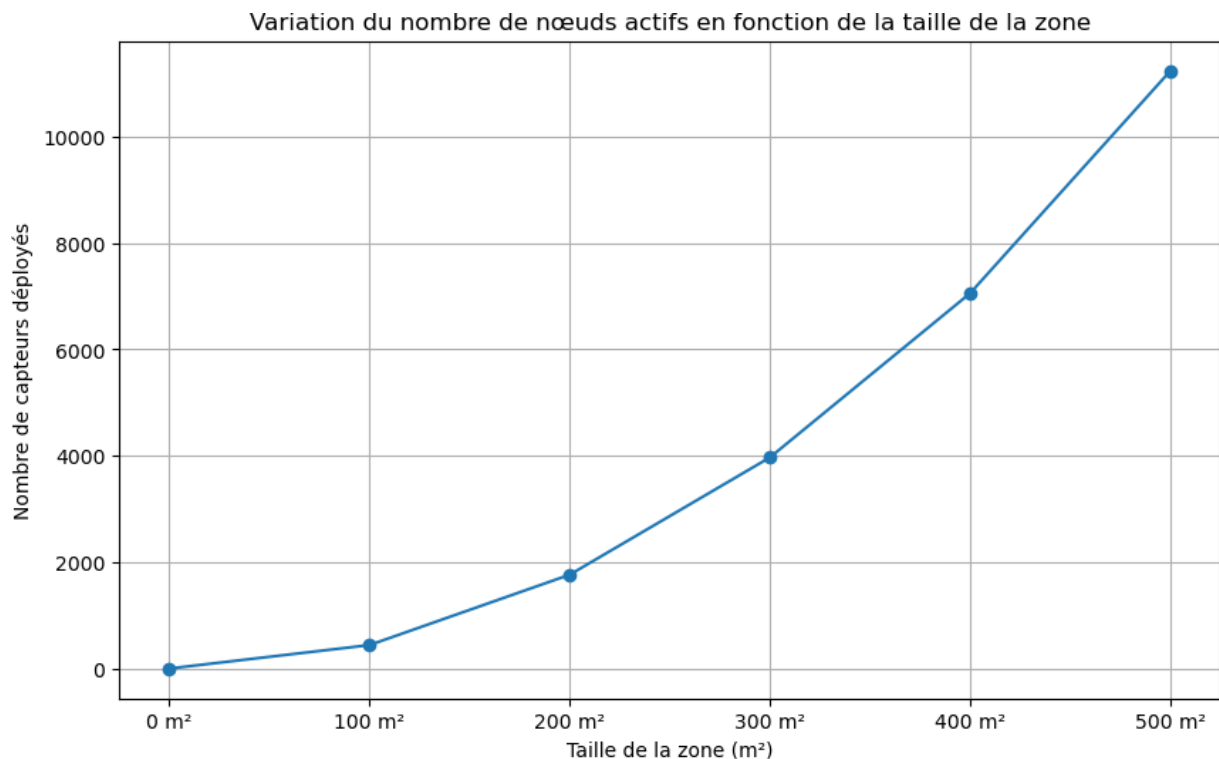
## Chapitre 4: Simulation et analyses de performances de l'approche

### QGMC

D'après la figure 4.1, le nombre de capteurs nécessaires pour couvrir la zone est de 441 capteurs et le nombre de nœud activés est de 49 nœuds. On note également que le taux de couverture a atteint 99,83 %, soit presque 100 %.

#### 4.2 Nombre de nœuds déployés en fonction de la surface de la zone d'intérêt.

À travers la figure 4.2, on observe que le nombre de capteurs déployés évolue de manière croissante en fonction de la surface à couvrir, ce qui signifie que chaque surface ne contient que le nombre nécessaire de capteurs pour assurer une couverture maximale. Ainsi, la méthode QGMC permet de minimiser le nombre de capteurs déployés, ce qui n'est pas le cas des méthodes basées sur le déploiement aléatoire.



**Figure 4.2 :** Variation de nombre de nœuds déployés en fonction de la surface de la zone d'intérêt.

#### 4.3 Nombre de nœuds actif en fonction de la surface de la zone d'intérêt.

Dans la figure 4.3, on remarque que le nombre de nœuds déployés augmenter de manière croissante en fonction de la surface à couvrir, c'est-à-dire de la même manière du nombre de capteurs déployés.

QGMC

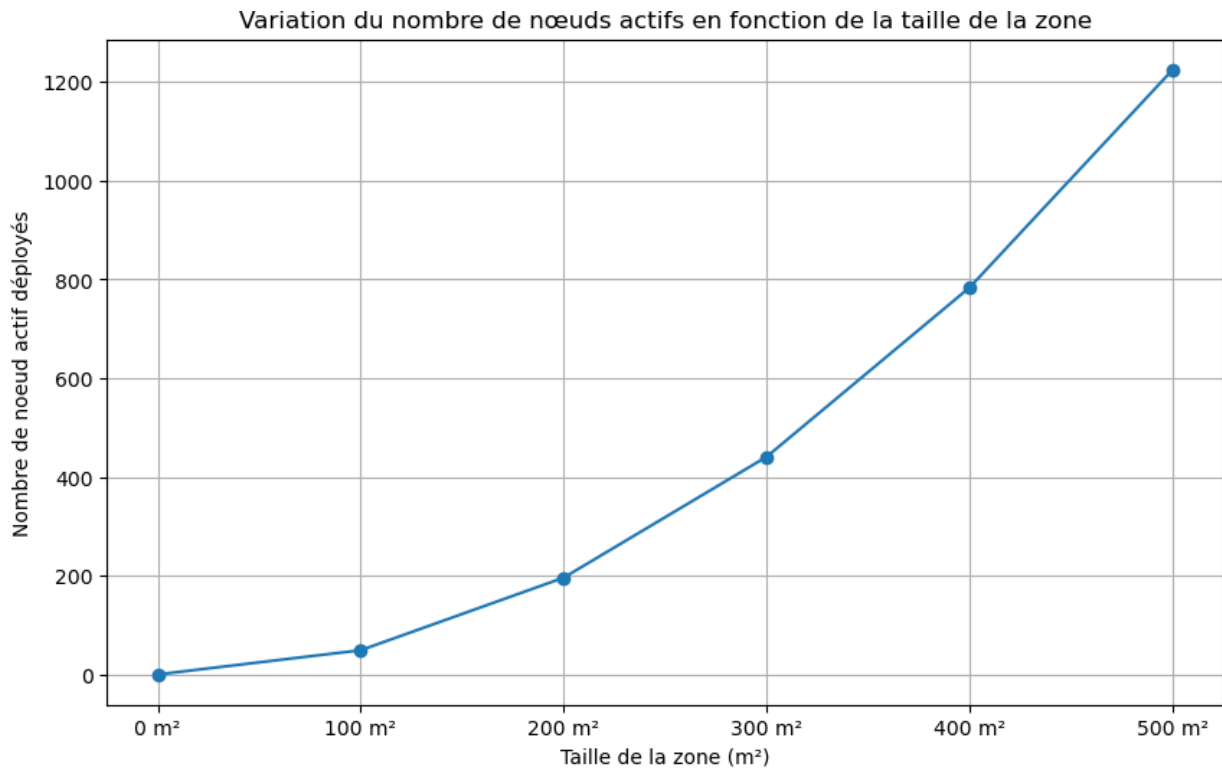


Figure 4.3 : Variation de nombre de nœuds actif en fonction de la surface de la zoned'intérêt.

4.4 Taux moyen de couverture en fonction de rayon du capteur

Selon la figure 4.4, nous notons que lorsque le rayon de capture est de 5 m à 15 m, le pourcentage de couverture de la zone est complet ou presque complet, et à mesure que le rayon de capture augmente, il y a une fluctuation du taux de couverture, et cela est dû à la relation inverse entre le rayon de capture et le nombre de capteurs déployés.

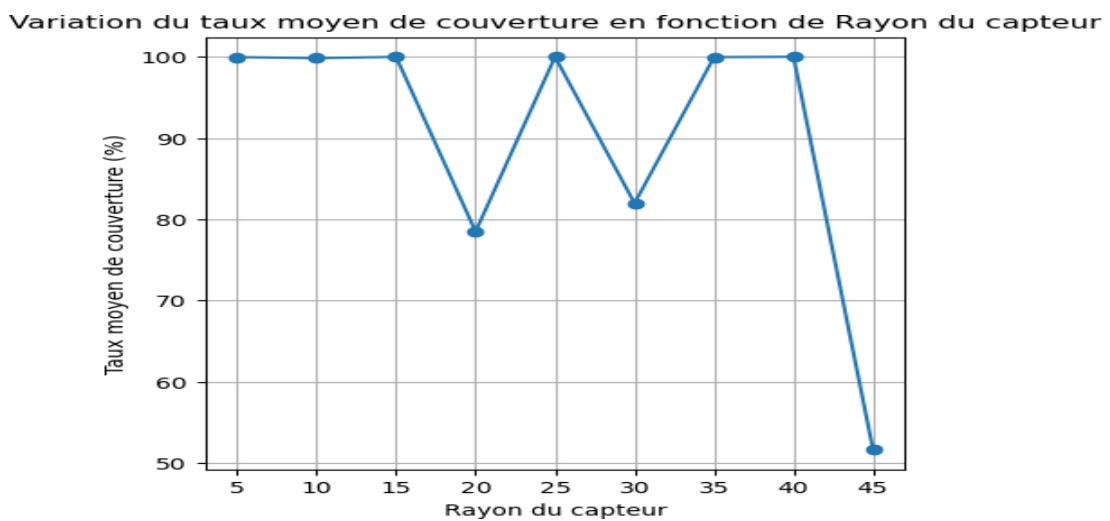


Figure 4.4 : Variation de nombre de nœuds actif en fonction de la surface de la zone d'intérêt

### QGMC

#### 4.5 Comparaison avec le diagramme de Voronoi

Dans cette expérience, nous considérons une zone de déploiement d'une taille de 500 m<sup>2</sup>, et un rayon de capture de 8,9 m pour les deux méthodes [19].

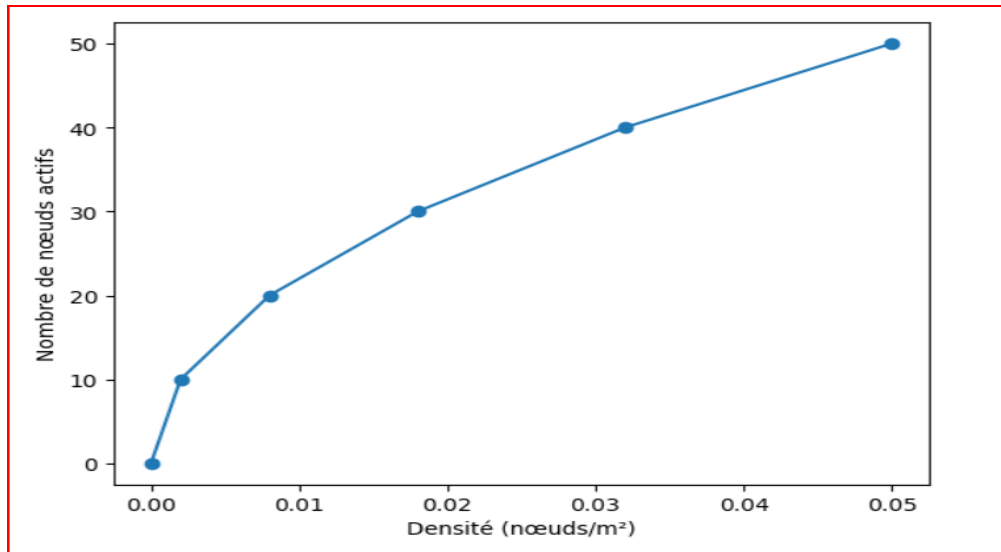


Figure 4.5 : nombre de nœuds actifs de QGMC en fonction de la densité

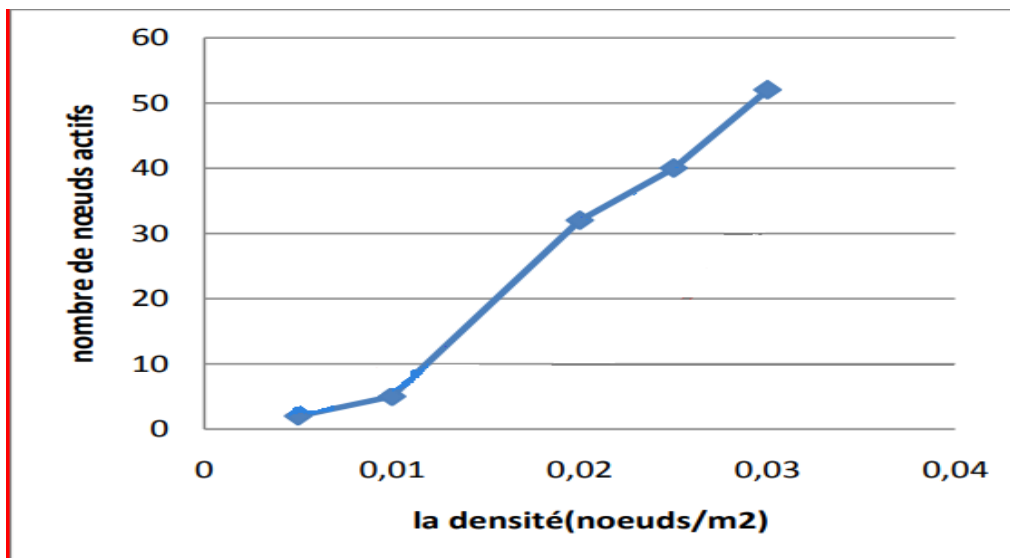


Figure 4.6 : nombre de nœuds actifs de diagramme de Voronoi en fonction de la densité

La figure 4.6 montre la variation de nombre de nœuds actifs en fonction de la densité du réseau pour le diagramme de Voronoi [18], et la figure 4.5 pour la nôtre approche QGMC on voit que le nombre de nœuds actifs augmente avec l'augmentation de la densité du réseau pour les deux solutions. Pour des densités inférieures à (0,02 nœuds/m<sup>2</sup>), le diagramme de Voronoi produit moins de nœuds actifs que QGMC, en revanche, au-dessus de cette densité, QGMC

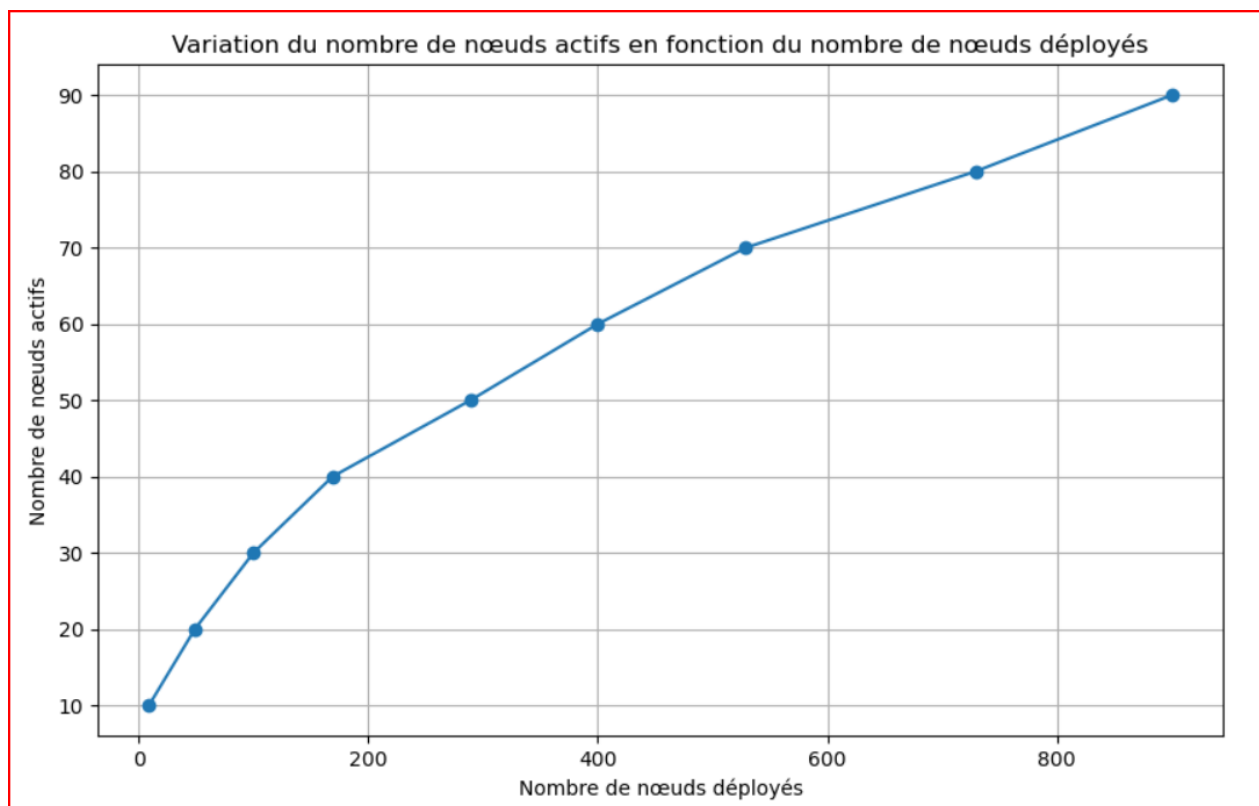
## Chapitre 4: Simulation et analyses de performances de l'approche

### QGMC

surpasse significativement (génère moins de nœuds actifs) le diagramme de Voronoi, par exemple pour des densités de ( 0,03 nœuds / m<sup>2</sup>) Le diagramme de Voronoi génère 52 nœuds actifs, QGMC en revanche ne génère que 38 nœuds actifs.

#### 4.6 Nombre de nœuds actifs en fonction de nœuds déployés

L'objectif principal du QGMC généralisé est de générer moins de nœuds actifs, et la figure ci-dessous montre comment le nombre de nœuds actifs varie en fonction des capteurs déployés dans une zone de (100×100) m<sup>2</sup> avec un rayon de capteur de 10 m.



**Figure 4.7 :** Variation de nombre de nœuds actif en fonction de nombre de capteurs déployés.

## *Chapitre 4: Simulation et analyses de performances de l'approche QGMC*

### **5. Conclusion**

En conclusion, l'étude de la simulation et des performances de l'approche QGMC pour la couverture dans les réseaux de capteurs sans fil a fourni des insights pertinents.

Cette approche a démontré sa capacité à améliorer l'efficacité de la couverture et à réduire la consommation d'énergie, ce qui est un aspect crucial dans les réseaux de capteurs sans fil.

Néanmoins, comme tout modèle, l'approche QGMC a également ses limitations. Il reste des problèmes à résoudre concernant l'équilibre entre la performance de réseau et la consommation d'énergie, notamment dans des conditions de réseau fluctuantes et dans des environnements de haute densité.

En somme, l'approche QGMC représente une avancée significative pour la couverture dans les réseaux de capteurs sans fil, mais il y a toujours de la marge pour l'amélioration et l'optimisation. Avec la croissance exponentielle de l'Internet des Objets et la demande croissante pour des réseaux de capteurs sans fil plus efficaces, la recherche continue dans ce domaine est d'une importance primordiale.

## Conclusion générale

Dans ce travail, notre objectif est d'étudier le problème de couverture dans les réseaux de capteurs sans fil, cette dernière a pour objectif assurer la surveillance d'une zone d'intérêt de façon continue et efficace, il s'agit d'ordonner ou d'alterner l'activité des nœuds, tout en respectant les contraintes de couverture et de connectivité.

Une panoplie de solutions existe dans la littérature. Ces solutions peuvent être classées selon plusieurs critères, solutions basées sur des approches protocolaires, solutions basées sur des méthodes analytiques, solutions basées sur des méthodes géométriques, Solutions basées sur l'IA et ....

Il s'agissait de trouver une solution au problème de la construction d'ensembles couvrants. L'objectif de l'ordonnement d'activité d'un point de vue énergétique, de réduire la redondance des nœuds actifs qui permettra d'étendre la durée de vie globale du réseau considéré.

Nous avons présenté une méthode géométrique basées sur le concept des notions de grilles. L'objectif est de résoudre en premier lieu le problème de déploiement de capteurs puis traiter le problème de couverture et de maximisation de la durée de vie du réseau, en développant quelques règles basées toujours sur des concepts géométriques inspirée du problème de huit reines, afin de sélectionner un sous ensemble de nœuds couvrant entièrement toute la zone d'intérêt. à travers laquelle nous avons montré qu'il produise une couverture quasi totale, en réduisant le nombre de nœuds actifs.

## Références bibliographiques

- [1] M.E.Khanouche. « Le traitement de problème de la couverture dans les réseaux decapteurs sans fil ». *Thèse de magistère en Informatique, Université de Bejaia, Algérie, 2008.*
- [2] I.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci, "Wireless sensor networks : a survey," *Computer Networks*, vol. 38, no. 4, pp. 393-422, 2002.
- [3] I.F. Akyildiz, T. Melodia, K.R. Chowdhury, "A survey on wireless multimedia sensor networks," *Computer Networks*, vol. 51, no. 4, pp. 921-960, 2007.
- [4] I.F. Akyildiz, T. Melodia, K.R. Chowdhury, "Wireless multimedia sensor networks : applications and testbeds," *Proceedings of the IEEE*, vol. 96, no. 10, pp. 1588-1605, 2008.
- [5] A.Chamam,« Mécanismes Optimisés De Planification Des Etats Des Capteurs Pour La Maximisation De La Durée De Vie Dans Les Réseaux De Capteurs Sans Fil », *Université de Montreal, Canada 2009.*
- [6] Dr. Bang Wang. « Coverage Control in Sensor Networks », *Springer, London Dordrecht Heidelberg New York.2010*
- [7] M. Cardei, Thai, Li, Wu. « Energy-Efficient Target Coverage in Wireless Sensor Networks ». *In 24<sup>th</sup> Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communication Societies,3 :1976-1984, Florida Atlantic .2005.*
- [8] A. Gallais. « Ordonnancement d'activité dans les réseaux de capteurs : l'exemple de la couverture de surface ». *Université Des Sciences et Technologies De Lille, France, 2007.*
- [9] M. Lehsaini. « Diffusion et couverture basées sur le clustering dans les réseaux de capteurs : application à la domotique ». *Université de Franche-Comté, France, 2009.*
- [10] Cardei, M., Thai, M. T., Li, Y., & Wu, W. (2005). Energy-efficient target coverage in wireless sensor networks. In *Proceedings IEEE 24th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies.*, vol. 3, pp. 1976-1984.

## Références bibliographiques

- [11] Wang, X., Xing, G., Zhang, Y., Lu, C., Pless, R., & Gill, C. (2003). Integrated coverage and connectivity configuration for energy conservation in sensor networks. *ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN)*, 1(1), 36-72.
- [12] Tilak, S., Abu-Ghazaleh, N. B., & Heinzelman, W. (2002). Infrastructure Tradeoffs for Sensor Networks. In *Proceedings of the 1st ACM International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications*, pp. 49–58. ACM.
- [13] Sanjay Shakkottai, R. Srikant, Ness Shroff « Unreliable Sensor Grids: Coverage, Connectivity and Diameter »,IEEE INFOCOM, 2003.
- [14] Kenan Xu. « *Device Deployment Strategies for Large-scale Wireless Sensor Networks* ». *Queen's University Kingston, Ontario, Canada. January 2008*
- [15] Ahn, C. W., & Ramakrishna, R. S. (2009). A genetic algorithm for energy-efficient based multicast routing in wireless sensor networks. *International Journal of Computer Science and Network Security*, 9(1), 218-225.
- [16] Zou, Y., & Chakrabarty, K. (2004). Sensor deployment and target localization based on virtual forces. In *Proceedings. IEEE INFOCOM 2004*, 2, 1293-1303.
- [17] Kenan Xu. « *Device Deployment Strategies for Large-scale Wireless Sensor Networks* ». *Queen's University Kingston, Ontario, Canada. January 2008.*
- [18] le problème des huit reines: <http://www.Wikipedia>.
- [19] Antonio Otavio Fernandes « *Provisioning the Performance in Wireless Sensor Networks through Computational GeometryAlgorithms* » *Departement of Computer Science Federal University of Gerais, Belo Horizonte, MG 31270-010, Brazil.*