

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة باجي مختار - عنابة

UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR – ANNAB
BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY



Faculté : science de l'ingénieur

Département : Informatique

Domaine : Mathématique et Informatique

Filière : informatique

Spécialité : réseau et sécurité informatique

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Thème:

Optimisation réseaux de capteurs intelligent pour éclairage

Présenté par : *Zaidi Nada*

Encadrant : *Ghoualmi Zine Nasira* professeur *Badji Mokhtar Annaba*

Jury de Soutenance :

<i>Kahya Abbassi Noudjoud</i>	<i>MCB</i>	<i>Université Badji Mokhtar-Annaba</i>	<i>Président</i>
<i>Ghoualmi Zine Nasira</i>	<i>Professeur</i>	<i>Université Badji Mokhtar-Annaba</i>	<i>Encadrant</i>
<i>Yahiouch Salima</i>	<i>MAA</i>	<i>Université Badji Mokhtar-Annaba</i>	<i>Examineur</i>

Année Universitaire : 2020/2021

Remercîment

*Au terme de ces cinq ans d'études, je tiens à exprimer mes vifs remerciements : tout d'abord à Dieu "ALLAH" le tout puissant pour m'avoir donné la force, le courage et la patience d'accomplir ce modeste travail. Je tiens à exprimer mes sincères remerciements et ma reconnaissance à mon encadreur : **Madame Ghoualmi Zine Nasira** pour leur suivi et orientations tout au long de cette année, pour leur soutien moral et intellectuel, leurs patiences, leur aide, leurs précieux conseils et suggestions, qui ont beaucoup contribué à alimenter ma réflexion et aidé à atteindre mon objectif. J'adresse mes remerciements aux membres du jury, pour leur rigueur scientifique, leur professionnalisme et le sérieux lors de l'évaluation de ce travail. Mes remerciements vont à tous mes enseignants du département d'informatique d'Annaba qui nous ont assuré des études de haut niveau.*

Enfin, j'adresse mes sincères remerciements à mes parents, à tous mes proches et amis de m'avoir soutenue et encouragée au cours de la réalisation de ce travail.

Dédicaces

Tout en espérant être à la hauteur, je dédie cet humble travail avec un grand amour, une profonde dévotion et une grande fierté :

*A mes chers parents, mon appréciation pour vous est immense, merci pour tout ce que vous avez pu faire pour moi
Que Dieu vous accorde une vie longue et heureuse.*

A ma chère maman qui s'est toujours sacrifiée pour ma réussite.

A mon cher père qui a donné sa vie pour moi

A mes frères : Atef et Nasro

Ma sœur : Hadil

Mon neveu et ma nièce : Marie et Yakob

Ma chère grand-mère et deuxième mère

Tous mes oncles et tantes

Mes amis d'enfance : Chaïma, Roufia, Noussa et chahinez

Amis de ma vie : Farah, Omayma, Chaïma, Khouloud et Sabrina

L'ami qui a été mon frère pendant 5 ans : Ishak

Couvrir un mauvais éclairage peut poser de nombreux problèmes, notamment en termes de coût, car nous ne pouvons pas augmenter le nombre de lampadaires pour chaque zone non éclairée. Ce problème peut être résolu grâce à l'utilisation de réseaux de capteurs sans fil qui sont des réseaux à grande échelle à faible coût, de petite taille, à faible énergie et le traitement de nœuds de capteurs limités répartis dans différents types d'environnements. En tant que bloc de construction de base dans les RCSF, un nœud de capteur typique se compose de plusieurs composants : un microcontrôleur, un émetteur, un capteur et une source d'alimentation. En combinant ces différents composants dans un appareil miniature, ces nœuds capteurs sont multifonctionnels et ont été appliqués à un large éventail de scénarios d'application : médical, santé, environnement, surveillance environnementale, domotique et domotique, surveillance industrielle, etc.

Dans cette mémoire nous proposons une méthode basée sur la triangulation afin de connaître les trous de couverture entre nœuds ainsi qu'un algorithme d'essaim de particules PSO afin d'améliorer la position des nœuds pour couvrir ces trous.

Mots clés : réseaux capteurs sans fils, déploiements des capteurs, couverture, triangulation ,simulateur ,Matlab , Éclairage.

Abstract

Covering bad lighting can be a lot of problems, especially in terms of cost, as we cannot increase the number of streetlights for each unlit area. This problem can be solved through the use of wireless sensor networks which are large scale low cost, small size, low energy networks and the processing of limited sensor nodes distributed in different types of environments. As the basic building block in RCSFs, a typical sensor node consists of several components: a microcontroller, a transmitter, a sensor, and a power source. By combining these different components in a miniature device, these sensor nodes are multifunctional and have been applied to a wide range of application scenarios: medical, health, environment, environmental monitoring, home and home automation, industrial monitoring, etc.

In this thesis we propose a method based on triangulation in order to know the coverage holes between nodes as well as a PSO particle swarm algorithm in order to improve the position of the nodes to cover these holes.

Keywords: wireless sensor networks, sensor deployments, coverage, triangulation, simulator, MATLAB, lighting

يمكن أن تسبب تغطية الإضاءة السيئة الكثير من المشاكل ، خاصة من حيث التكلفة ، حيث لا يمكننا زيادة عدد مصابيح الشوارع لكل منطقة غير مضاءة. يمكن حل هذه المشكلة من خلال استخدام شبكات الاستشعار اللاسلكية التي تتميز بتكلفة منخفضة وصغيرة الحجم وشبكات منخفضة الطاقة ومعالجة عقد استشعار محدودة موزعة في أنواع مختلفة من البيئات. باعتبارها اللبنة الأساسية في RCSFs ، تتكون عقدة الاستشعار النموذجية من عدة مكونات: متحكم دقيق وجهاز إرسال وجهاز استشعار ومصدر للطاقة. من خلال الجمع بين هذه المكونات المختلفة في جهاز مصغر ، فإن عقد الاستشعار هذه متعددة الوظائف وتم تطبيقها على مجموعة واسعة من سيناريوهات التطبيق: الطبية ، والصحة ، والبيئة ، والمراقبة البيئية ، والأتمتة المنزلية والمنزل ، والمراقبة الصناعية ، إلخ.

في هذه الأطروحة نقترح طريقة تعتمد على التثليث من أجل معرفة ثقب التغطية بين العقد وكذلك خوارزمية سرب جسيمات PSO من أجل تحسين موضع العقد لتغطية هذه الثقوب.

الكلمات المفتاحية: شبكات الاستشعار اللاسلكية ، أجهزة الاستشعار ، التغطية ، التثليث ، المحاكاة ، الماتلاب ، الإضاءة

Table des Matières

Mémoire.....	1
Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master	1
Remercîment.....	2
Dédicaces	3
Résumé.....	4
Abstract.....	5
ملخص.....	6
Table des Matières.....	7
Table des Illustrations	11
Table des tableaux	13
Liste des abréviations.....	14
Introduction générale	15
Chapitre 01 les capteurs sans fils	17
Introduction	17
1. Définition d'un capteur sans fils (RCSF)	17
2. Architecture des capteurs	18
2.1 Architecture matériel	18
2.1.1 Selon le type d'application.....	18
2.1.2 Selon le besoin d'application	19
2.2 Architecture logiciel.....	20
3. Caractéristiques principales d'un capteur	20
4. Les réseaux de capteurs sans fil.....	21
4.1 Définition d'un réseau de capteurs sans fil.....	21
4.2 Architecture d'un réseau de capteur sans fils.....	21
4.3 Les catégories des réseaux sans fils	22
5. Caractéristiques spécifiques des réseaux de capteurs sans fil	23
5.1 Caractéristiques liées aux nœuds capteurs.....	23
5.1.1 Energie	23
5.1.2 Portée de transmission	23
5.1.3 Puissance de stockage et de traitement.....	23
5.2 Caractéristiques liées au réseau.....	23

5.2.1	Communication inter-nœuds.....	23
5.2.2	Bande passante	23
5.2.3	Densité	24
5.2.4	Déploiement.....	24
5.2.5	Type de réseau	24
5.2.6	Topologie dynamique	24
6.	Contraintes de conception des RCSF	24
6.1	La tolérance aux pannes.....	24
6.2	Les coûts de production	24
6.3	L'extensibilité (passage à l'échelle)	24
6.4	L'environnement de déploiement.....	25
6.5	La consommation d'énergie	25
7.	Classification des RCSFs	25
7.1	RCSF statique et mobile.....	25
7.2	RCSF déterministe et non déterministe.....	25
7.3	Station de base unique et station de base multiple RCSF.....	26
7.4	Station de base statique et station de base mobile RCSF	26
7.5	RCSF à un et à plusieurs sauts	26
7.6	RCSF auto-reconfigurable et non auto-configurable.....	26
7.7	RCSFs homogène et hétérogène	26
8.	Domaines d'applications des réseaux de capteurs sans fil.....	27
1.1	Application militaire:	27
1.2	Applications agricoles:.....	28
1.3	Application médicale	29
1.4	Applications environnementales.....	29
	Conclusion	30
	Chapitre 02 les méthodes de déploiements des capteurs	31
	Introduction	31
1.	Le déploiement	31
2.	Les phases de déploiement.....	32
2.1	Pré-déploiement et de déploiement.....	32
2.2	post-déploiement.....	33
2.3	Redéploiement	33
3.	Les méthodes de déploiement.....	33
3.1	Déploiement aléatoire.....	33
3.2	Déploiement déterministe	34

3.2.1	Déploiement déterministe basé sur la grille.....	35
3.2.2	Déploiement déterministe basé sur la géographie computationnelle	36
4.	Contrainte de déploiement.....	41
4.1	Connectivité.....	41
4.1.1	Types de connectivité dans les RCSF.....	41
4.2	Couverture.....	42
4.2.1	Type de couverture	42
4.3	Durée de vie	44
4.4	Stratégie de déploiement.....	45
4.4.1	Déploiement des nœuds de capteurs basés sur couronne	45
4.4.2	Déploiement des nœuds de capteurs basés sur non-couronne.....	45
	Conclusion.....	46
	Introduction	47
1.	les algorithmes de couverture dans les RCSFs.....	47
1.1	un algorithme heuristique de couverture connectée optimisé et léger(OECCH).....	47
1.1.1	Définition.....	47
1.1.2	Fonctionnement d'algorithme	47
1.1.3	Résultat	48
1.2	Algorithme de contrôle de couverture de stratégie optimisé (OSCC)	48
1.2.1	Définition.....	48
1.2.2	Fonctionnement d'algorithme	48
1.2.3	Résultat	48
1.3	Algorithme de couverture amélioré basé sur un modèle de probabilité(ECAPM).....	49
1.3.1	Définition.....	49
1.3.2	Fonctionnement d'algorithme	49
1.3.3	Résultat	49
1.4	algorithme l'optimisation par Essaim Particulaire (PSO en anglais)	49
1.4.1	Définition.....	49
1.4.2	Principe de l'algorithme PSO.....	50
1.4.3	Organigramme de l'algorithme PSO	51
1.4.4	Résultat	53
	Conclusion.....	53
	Introduction	54
1.	Langage de programmation utilisé :	54
1.1	Matlab	54

1.1.1	Définition de la simulation	55
1.2	AutoCAD	55
1.3	Excel.....	56
2.	Contribution	56
3.	Résultat et discussion.....	57
a.	1 ^{er} cas	57
3.1.1	Paramètre du 1 ^{er} cas	57
3.1.2	Emplacement initiale des nœuds de capteur	57
3.1.3	Tracer le triangle de Delaunay et la détection de trous	58
3.1.4	Emplacement optimale	59
3.1.5	Application AutoCAD.....	60
3.2	2eme cas.....	61
3.2.1	Les paramètre de 2eme cas	61
3.2.2	Emplacement initiale des nœuds de capteur	62
3.2.3	Tracer le triangle de Delaunay et la détection de trous	62
3.2.4	Emplacement optimale	63
3.2.5	Application AutoCAD.....	64
3.3	3eme cas.....	64
3.3.1	Les paramètre de 2eme cas	64
3.3.2	Emplacement initiale des nœuds de capteur	65
3.3.3	Tracer le triangle de Delaunay et la détection de trous	65
3.3.4	Emplacement optimale	66
3.3.5	Application AutoCAD.....	67
4.	Statistique	67
5.	Comparaison	69
	Conclusion.....	69
	Conclusion générale et perspective	70
	Référence	71

Table des Illustrations

Figure 1 capteurs sans fils [1].....	18
Figure 2 Architecture matériel d'un capteur [2].....	19
Figure 3 Rayons de communication et de détection d'un capteur [3].....	20
Figure 4 Architecture d'un réseau de capteurs sans fil.[7].....	22
Figure 5 Classification des réseaux sans fil. [8].....	22
Figure 6 Domaines d'applications des réseaux de capteurs sans fil [14].....	27
Figure 7 Les RCSFs dans le domaine militaire.[16].....	28
Figure 8 Application agricoles de RCSF.[17].....	28
Figure 9 Les RCSFs pour les applications sanitaires.[18].....	29
Figure 10 Applications environnementales des RCSFs [19].....	30
Figure 11Phase de pré-déploiement et de déploiement [20].....	32
Figure 12 phase post-déploiement [20].....	33
Figure 13 phase de redéploiement [20].....	33
Figure 14 déploiement aléatoire des RCSFs.....	34
Figure 15 déploiement déterministe dans RCSFs.....	35
Figure 16 grille carrée [22].....	35
Figure 17 grille hexagonale[22].....	36
Figure 18 grille triangulaire [22].....	36
Figure 19 Diagrammes de Voronoï [24].....	37
Figure 20 Construction d'un diagramme de Voronoï [25].....	37
Figure 21 Delaunay triangle [24].....	38
Figure 22 couverture de la zone [31].....	43
Figure 23 Couverture de la barrière [31].....	44
Figure 24 couverture de point [31].....	44
Figure 25 Organigramme de l'algorithme PSO [36].....	52
Figure 26 L'interface du MATLAB.[39].....	55
Figure 27 paramètres du 1er cas.....	57
Figure 28 fonction pour placement initiale des nœuds.....	58
Figure 29 placement initiale des nœuds.....	58
Figure 30 triangle de Delaunay et la détection de trous.....	59
Figure 31 itération.....	59
Figure 32 fonction d'optimisation.....	60
Figure 33 emplacement optimale des nœuds.....	60
Figure 34 carte AutoCAD du 1er cas.....	61
Figure 35 paramètre de 2eme cas.....	61
Figure 36 placement initiale des nœuds.....	62
Figure 37 triangle de Delaunay et la détection de trous.....	62
Figure 38 itération du 2eme cas.....	63
Figure 39 emplacement optimale des nœuds.....	63
Figure 40 carte AutoCAD du 2eme cas.....	64
Figure 41 paramètre de 3eme cas.....	64
Figure 42 placement initiale des nœuds.....	65

Figure 43 triangle de Delaunay et la détection de trous	65
Figure 44 itération du 2eme cas	66
Figure 45 emplacement optimale des nœuds	66
Figure 46 carte AutoCAD du 3eme cas	67
Figure 47 le nombre des itération par rapport au Longueur du faisceau lumineux .	68
Figure 48 le coût par rapport au Longueur du faisceau lumineux.....	68

Table des tableaux

Tableau 1 paramètre du 1er cas	57
Tableau 2 paramètre de 2eme cas.....	61
Tableau 3 paramètre de 3eme cas.....	64
Tableau 4 tableau comparatif Selon le nombre des itérations	67
Tableau 5 tableau comparatif Selon le coût	68
Tableau 6 tableau comparative	69

Liste des abréviations

RCSF.....	réseaux capteur sans fils
QDS	qualité de service
OECCH.....	heuristique de couverture connectée optimisé et léger
OSCC.....	contrôle de couverture de stratégie optimisé
ECAPM.....	couverture amélioré basé sur un modèle de probabilité
PSO.....	l'optimisation par Essaim Particulaire
WAN.....	Les réseaux sans fil étendus
PAN.....	Réseaux personnels sans fil
MAN.....	Les réseaux métropolitains sans fil
LAN.....	Réseaux locaux sans fil

Introduction générale

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

Cela nous a amené à envisager d'utiliser des réseaux de capteurs sans fil pour assurer un éclairage complet avec un nombre raisonnable de lampadaires, réduisant ainsi leur coût.

Le problème principal dans les réseaux de capteurs est le problème de couverture, qui reflète la qualité de la surveillance ou du suivi des réseaux de capteurs par les capteurs. Les nœuds doivent donc être idéalement positionnés pour obtenir une bonne couverture de la zone sans avoir à augmenter le nombre de nœuds.

Dans le cadre du projet de fin d'études, nous avons mené des recherches et des études pour résoudre le problème de couverture dans les réseaux sans fil et assurer une couverture maximale. Afin de résoudre ce problème, nous avons utilisé la technique de triangulation pour identifier les trous causés par le déploiement aléatoire de nœuds de capteurs et couvrir ces trous à l'aide de l'algorithme d'optimisation d'essaim de particules (PSO), où ce dernier modifie l'emplacement des nœuds afin d'améliorer la couverture dans le capteur sans fil. Sur la base de ces études, nous pouvons Le positionnement de chaque Poutre électrique pour assurer une couverture complète d'une zone donnée est illustré par la simulation dans Matlab et une carte dans AutoCAD

Ce mémoire est divisé en 4 chapitres :

Le premier chapitre : est consacré aux généralités les sur les capteurs

Le second chapitre : présente le déploiement dans des capteurs et leurs méthodes.

Le troisième chapitre nous présentons un ensemble d'algorithmes de couverture dans les réseaux de capteurs sans fil, ainsi que l'algorithme que nous avons utilisé pour mettre en œuvre notre proposition.

Le dernier chapitre : présenter notre contribution sur l'application de l'algorithme des essaims particuliers pour optimiser la précision de la localisation des nœuds dans les RCSFs.

Pour mettre en œuvre notre proposition nous avons utilisé le langage de simulation MATLAB, et afin de juger la performance de l'algorithme PSO et la triangulation leurs résultats sont comparés avec autres algorithmes

Enfin nous terminons ce mémoire avec une conclusion générale en concluant le travail réalisé dans le cadre de notre projet fin d'étude.

Chapitre 01 les capteurs sans fils

Introduction

L'évolution technologique des dernières décennies a permis l'émergence d'une symbiose parfaite entre l'informatique et l'électronique. Cette coexistence a permis un développement étonnant des technologies de communication à travers des réseaux sans fil et mobiles équipés de capteurs miniatures en permanence. Cette nouvelle technologie était basée sur la collecte et la transmission d'informations, nous avons donc vu l'avènement des capteurs sans fil, nous pouvons les trouver n'importe où, le monde entier regorge de capteurs et d'applications. Il existe de nombreux types de capteurs disponibles autour de nous, dans nos bureaux, parcs, centres commerciaux, maisons, voitures, jouets, etc. Ces capteurs rendent la vie plus facile et plus pratique, à commencer par des applications telles que les ampoules, les ventilateurs et la télévision, le réglage automatique de la température ambiante avant la climatisation (AC), l'alarme à réinitialiser et la détection d'obstructions. Mais avez-vous déjà pensé à ce qu'est un capteur? Quelles sont ses différentes propriétés?

1. Définition d'un capteur sans fils (RCSF)

Les capteurs sont des dispositifs de taille extrêmement réduite avec des ressources très limitées, autonomes, capables de traiter des informations et de les transmettre, via les ondes radio, à une autre entité (capteurs, unité de traitements...) sur une distance limitée à quelques mètres. Les réseaux de capteurs utilisent un très grand nombre de ces capteurs, pour former un réseau sans infrastructure établie. Un capteur analyse son environnement, et propage les données récoltées aux capteurs appartenant à sa zone de couverture. Chaque capteur relayant l'information sur sa propre zone de couverture, le réseau se trouve entièrement couvert.[1]



Figure 1 capteurs sans fils [1]

2. Architecture des capteurs

2.1 Architecture matériel

2.1.1 Selon le type d'application

Il existe une variété de capteurs qui peuvent être regroupés en trois classes : Les capteurs optiques, les capteurs thermiques et les capteurs mécaniques. Une architecture matérielle applicable à la plupart des capteurs intelligents est proposée sur la figure 2.

Un capteur contient quatre unités de base : l'unité de captage, l'unité de traitement, l'unité de transmission, et l'unité de contrôle d'énergie. Selon le domaine d'application, des modules supplémentaires peuvent être ajoutés tel qu'un système de localisation (GPS), ou bien un système générateur d'énergie (cellule solaire). Quelques micro-capteurs plus volumineux, sont dotés d'un système mobilisateur chargé de les déplacer en cas de nécessité [2] :

- **Unité de captage** : C'est l'unité qui est chargée de capter des grandeurs physiques (Chaleur, humidité, vibrations, rayonnement, etc..) et de les transformer en grandeurs numériques (un signal électrique). Cette unité peut incorporer d'un jusqu' à plusieurs capteurs plus une unité ADC (Analog to Digital Converters). Le rôle de cette dernière consiste à convertir le signal analogique produit par les capteurs, qui est basé sur les données échantillonnées, en un signal numérique compréhensible par l'unité de traitement [2].
- **Unité de traitement** : Unité de traitement peut être considérée comme l'organe intelligent du capteur. Elle inclut un processeur qui est généralement associé à une petite unité de stockage. Elle gère des programmes et des logiciels, stockés en mémoire les paramètres météorologiques et fonctionnels (dont la datation est permise par l'horloge interne) ; elle assure les traitements des données reçues de l'unité de captage. Généralement l'unité de traitement commande les autres unités. Les processeurs utilisés dans les réseaux de capteurs sont à faible consommation d'énergie et à faible fréquence. Moins de 10 MHz pour une consommation de 1 MW. Aussi la mémoire de stockage est très limitée, elle

est de l'ordre de 10 Ko de RAM pour les données et 10 Ko de ROM pour les programmes. Cette mémoire consomme la majeure partie de l'énergie de l'unité de traitement. Dans la plupart des cas on lui adjoint une mémoire flash moins coûteuse en termes d'énergie [2].

- **Unité de communication** : Cette unité assure la connexion entre les nœuds du réseau. Un module radio (émetteur/récepteur) est intégré à cette unité qui permet la communication entre différents nœuds du réseau. La communication peut être de type optique ou radio fréquence. Elle est responsable de la transmission-réception des données captées et traitées via un canal de communication sans fil. Le module radio c'est le module qui consomme le plus d'énergie [2].
- **Unité d'énergie** : Pour les réseaux de capteurs, l'unité d'énergie est la composante la plus importante, qui représente généralement une batterie. Cette batterie est de petite taille et de capacité énergétique limitée. Souvent, les capteurs sont placés dans des environnements hostiles, inaccessibles par l'être humain et elle n'est généralement pas remplaçable. Dans ce genre de situation, il est pratiquement impossible de recharger ou de remplacer la batterie. Pour cela, l'énergie représente la contrainte principale lors de la conception d'un réseau de capteurs sans fil puisqu'elle influe sur la durée de vie du nœud capteur et donc la durée de vie du réseau. Cependant, il est possible d'utiliser des systèmes de rechargement d'énergie à partir de l'environnement via des cellules photovoltaïques, par exemple, pour étendre la durée de vie de la batterie.[2]

2.1.2 Selon le besoin d'application

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

- **Système de localisation**: pour pouvoir déterminer la position du nœud.
- **Mobilisateur**: permet le changement de position du nœud.[2]

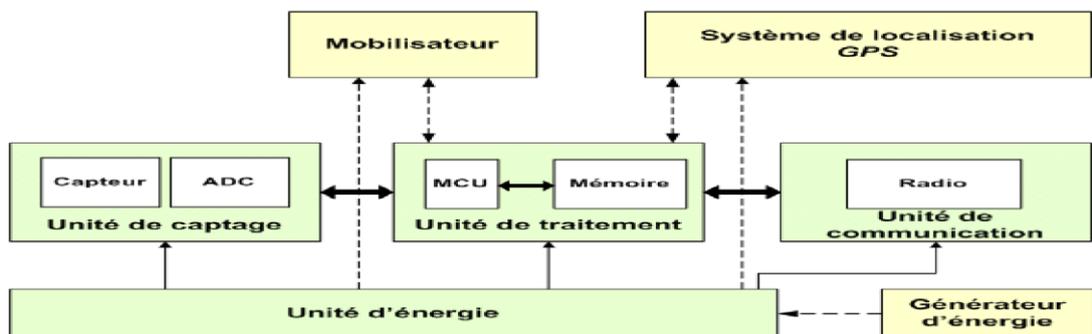


Figure 2 Architecture matériel d'un capteur [2]

2.2 Architecture logiciel

En plus des plateformes matérielles et des standards, plusieurs plateformes logicielles ont été également développées spécifiquement pour les réseaux de capteurs sans fil. La plateforme la plus répandue est TinyOS, qui est un système d'exploitation open source conçu pour les RCSF. En plus de TinyOS, plusieurs plateformes logiciel et systèmes d'exploitation ont été introduits récemment, comme LiteOS ou ContiKI par exemple. Tandis que plusieurs systèmes d'exploitation avec des capacités supplémentaires sont devenus disponibles, TinyOS est toujours employé couramment dans la recherche sur les RCSF, une des raisons principales de cette popularité est le vaste espace de code établi dans toutes les solutions développées [3]

3. Caractéristiques principales d'un capteur

Deux entités sont fondamentales dans le fonctionnement d'un capteur:

L'unité d'acquisition qui est le cœur physique permettant la prise de mesure

L'unité de communication qui réalise la transmission de celle-ci vers d'autres dispositifs électroniques.

Ainsi, chaque capteur possède un rayon de communication (R_c) et un rayon de sensation (R_s). La Figure 3 montre les zones définies par ces deux rayons pour le capteur.

La zone de communication est la zone où le capteur peut communiquer avec les autres capteurs. D'autre part, la zone de sensation (ou de détection) est la zone où le capteur peut capter l'événement [3]

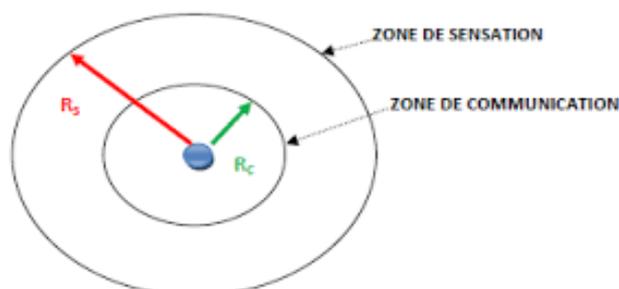


Figure 3 Rayons de communication et de détection d'un capteur [3]

4. Les réseaux de capteurs sans fil

4.1 Définition d'un réseau de capteurs sans fil

Les réseaux de capteurs sont des systèmes qui regroupent plusieurs capteurs afin de couvrir une zone cible. Cette zone peut être géographique ou délimitée par un système plus ou moins étendu : un ouvrage d'art, un ensemble mécanique, un outillage, un réseau télécoms, ... Les réseaux de capteurs connaissent de multiples applications telles que la métrologie environnementale, urbaine ou industrielle. En réseau, ces capteurs peuvent interagir entre eux et avec un système externe (par exemple Internet) par le biais de communications sans fil ou filaire. Les réseaux de capteurs sans-fils concentrent les dernières avancées technologiques et représentent l'opportunité de nouvelles applications. En Anglais, on parle de « WSN » pour « Wireless Sensor Networks ». Les capteurs sans fil communiquent par le biais des ondes radioélectriques. N'étant pas intégrés à un réseau préexistant; les capteurs communiquent grâce à un réseau dit « ad hoc », capable de s'organiser sans infrastructure définie préalablement. Ceci implique que chaque capteur puisse retransmettre une information indépendamment ou avec l'aide des autres capteurs et ceci afin d'envoyer l'information à une « station de base » capable de transmettre l'information à l'utilisateur final, par le biais d'Internet ou d'un réseau télécom GSM dans la majorité des cas. Les capteurs sont capables de mesurer des grandeurs physiques, chimiques ou biologiques, de traiter ces informations et de les stocker. Ils sont alimentés électriquement via une batterie individuelle optimisée pour des tâches comme le traitement de l'information et la communication. [4]

4.2 Architecture d'un réseau de capteur sans fils

Les nœuds capteurs sont souvent dispersés dans une zone géographique, appelée champ De capture qui définit la zone d'intérêt pour le phénomène observé. Les données captées sont acheminées au point de collecte comme montré dans la Figure 3.

La station de base ou le nœud puits constitue une passerelle entre le réseau de capteurs et l'utilisateur final. Ainsi, l'utilisateur peut surveiller et commander l'environnement à distance via l'Internet ou un satellite, en adressant des requêtes précisant le type de données requises à collecter aux autres nœuds du réseau via le nœud puits [5].

Les stations de base possèdent beaucoup plus de capacités que les capteurs tant au niveau De la mémoire que de la vitesse de traitement ou des réserves en énergie [6].

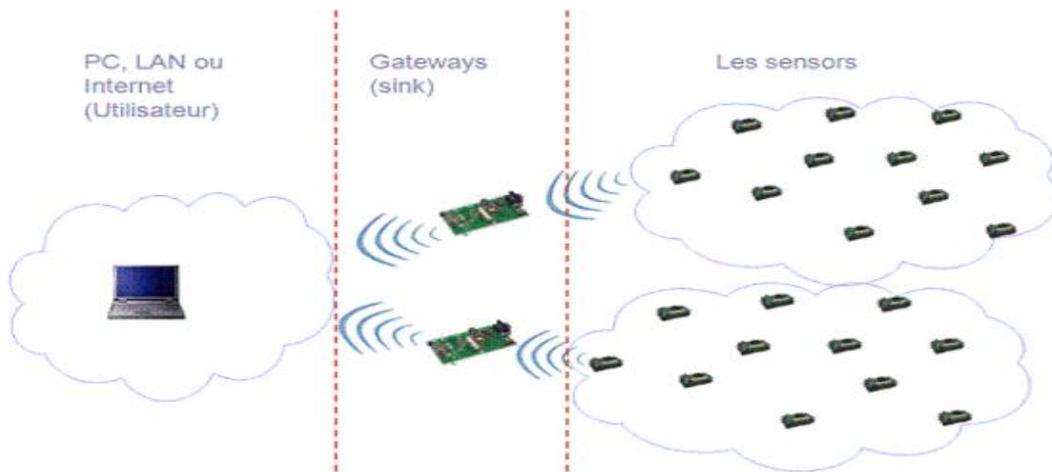


Figure 4 Architecture d'un réseau de capteurs sans fil.[7]

4.3 Les catégories des réseaux sans fils

Un réseau sans fil (Wireless network) est un réseau où au moins deux nœuds peuvent avoir une communication sans liaison filaire. Ces réseaux de communications permettent aux utilisateurs de profiter de tous les services traditionnels des réseaux indépendamment de leurs positions géographiques. Les réseaux sans fil peuvent avoir une classification selon deux critères. Le premier est la zone de couverture du réseau. Au vu de ce critère il existe quatre catégories : les réseaux personnels, les réseaux locaux, le réseau métropolitain et les réseaux étendus. Le second critère est l'infrastructure ainsi que le modèle adopté. Par rapport à ce critère on peut diviser les réseaux sans fils en : réseaux avec infrastructures et réseaux sans infrastructure, comme on le voit dans l'illustration de la figure suivante [8] :

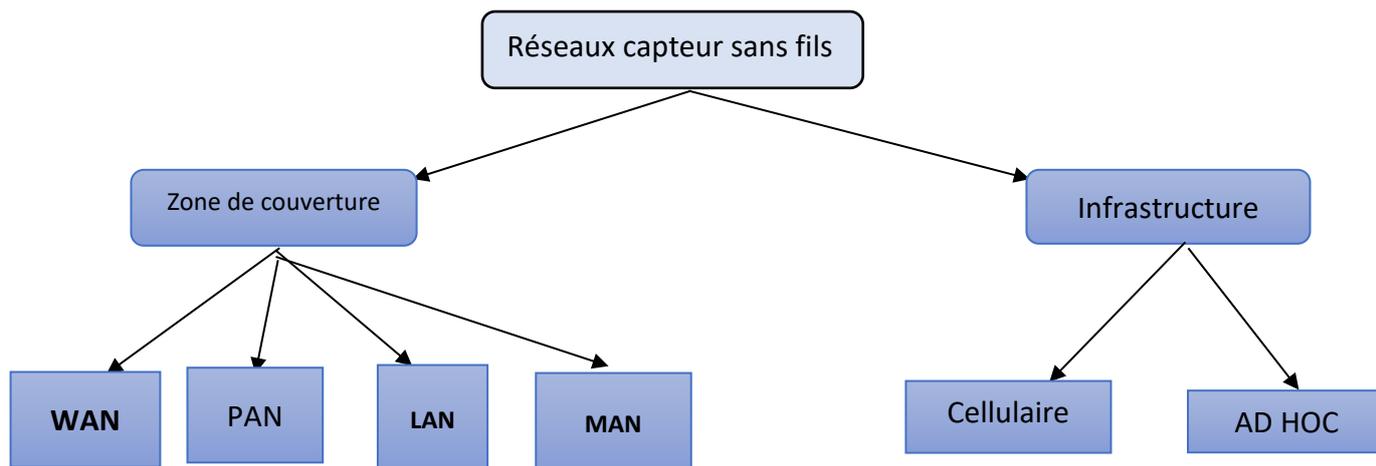


Figure 5 Classification des réseaux sans fil. [8]

5. Caractéristiques spécifiques des réseaux de capteurs sans fil

Les réseaux de capteurs présentent des caractéristiques intrinsèques

1. Au niveau des nœuds capteurs
2. Au niveau du réseau formé par ces nœuds capteur

5.1 Caractéristiques liées aux nœuds capteurs

Caractéristiques liées aux nœuds capteurs Les nœuds capteurs permettent de capter et de transmettre des données sur plusieurs types de paramètres du monde physique sur lequel ils sont déployés. Ces paramètres peuvent être la pression, la viscosité, la vibration, la température, la vitesse et la position des objets surveillés. Ces objets miniaturisés présentent des propriétés propres que les capteurs habituels n'ont pas. Nous ne citons dans ce qui suit que les plus importantes :

5.1.1 Energie

L'énergie représente une contrainte forte dans la majorité des applications à base de réseaux de capteurs sans fil : Chaque nœud capteur fonctionne avec une batterie, généralement, non rechargeable et à capacité limitée étant donné sa petite taille.[9]

5.1.2 Portée de transmission

La portée de transmission est limitée par la capacité de rayonnement des antennes utilisées et la puissance du signal mises en jeu. [9]

5.1.3 Puissance de stockage et de traitement

La puissance de stockage et de traitement est relativement faible. [9]

5.2 Caractéristiques liées au réseau

En plus des caractéristiques intrinsèques des nœuds capteurs, il existe d'autres caractéristiques qui sont-elles liées au réseau telles la communication inter-nœuds, la bande passante, la densité, le déploiement, le type de réseau et la topologie dynamique.[9]

5.2.1 Communication inter-nœuds

Les communications inter-nœuds capteurs ne sont pas fiables et l'exécution des processus implantés dans les nœuds est asynchrone ce qui rend la conception d'un système distribué très difficile à réaliser.[9]

5.2.2 Bande passante

La bande passante utilisée dans les réseaux de capteurs sans fil est généralement très réduite.

5.2.3 Densité

Généralement, le type de l'application envisagée influe sur le choix de la densité à prendre. Et pour obtenir des résultats de mesure de bonne qualité, on privilégie souvent le facteur nombre de nœuds plutôt que le facteur qualité des nœuds capteurs. On cherche donc à avoir des réseaux de nœuds capteurs denses.[9]

5.2.4 Déploiement

Les nœuds capteurs peuvent être déployés d'une manière aléatoire ou déterministe.

5.2.5 Type de réseau

Le type de réseau influe sur le choix du type des protocoles et services à mettre en place.

5.2.6 Topologie dynamique

La dynamique de la topologie est l'un des aspects les plus originaux des réseaux de capteurs sans fil. Car le changement topologique du réseau peut engendrer des problèmes de connectivité du réseau et donc son inaccessibilité.[9]

6. Contraintes de conception des RCSF

6.1 La tolérance aux pannes

Certains nœuds peuvent générer des erreurs ou ne plus fonctionner à cause d'un manque d'énergie, un problème physique ou une interférence. Ces problèmes n'affectent pas le reste du réseau, c'est le principe de la tolérance de fautes. La tolérance de fautes est la capacité de maintenir les fonctionnalités du réseau sans interruptions dues à une erreur intervenue sur un ou plusieurs capteurs.[10]

6.2 Les coûts de production

Souvent, les réseaux de capteurs sont composés d'un très grand nombre de nœuds. Le prix d'un nœud est critique afin de pouvoir concurrencer un réseau de surveillance traditionnel. Actuellement un nœud ne coûte souvent pas beaucoup plus que 1\$. A titre de comparaison, un nœud Bluetooth, pourtant déjà connu pour être un système low-cost, revient environ à 10\$.[10]

6.3 L'extensibilité (passage à l'échelle)

L'une des caractéristiques des RCSF est qu'ils peuvent contenir des centaines voire des milliers de nœuds capteurs. Suivant l'application, ce nombre peut encore augmenter jusqu'à des millions de capteurs. Les nouveaux schémas

doivent pouvoir garantir un bon fonctionnement avec ce nombre élevé de capteurs. Ils doivent aussi exploiter la nature fortement dense des réseaux de capteurs.[11]

6.4 L'environnement de déploiement

Les nœuds capteurs doivent être conçus d'une manière à résister aux différentes et sévères conditions de l'environnement : forte chaleur, pluie, humidité... [11]

6.5 La consommation d'énergie

Elle est un facteur majeur dans les réseaux de capteurs lors de la transmission et la réception des données entre les nœuds. L'énergie doit être bien utilisée, de sorte que les piles ne s'épuisent pas rapidement. Les piles ne sont pas parfois facilement remplaçables dans des applications telles que la surveillance d'une zone inaccessible.[12]

7. Classification des RCSFs

Les réseaux de capteurs sans fil sont extrêmement spécifiques à l'application et sont déployés en fonction des exigences de l'application. Par conséquent, les caractéristiques d'un RCSF seront différentes de celles d'un autre RCSF. Quelle que soit l'application, les réseaux de capteurs sans fil en général peuvent être classés dans les catégories suivantes :

7.1 RCSF statique et mobile

Dans de nombreuses applications, tous les nœuds de capteurs sont fixes sans mouvement et ce sont des réseaux statiques. Certaines applications, en particulier dans les systèmes biologiques, nécessitent des nœuds de capteurs mobiles. Ceux-ci sont connus sous le nom de réseaux mobiles. Un exemple de réseau mobile est la surveillance des animaux.

7.2 RCSF déterministe et non déterministe

Dans un RCSF déterministe, la position d'un nœud de capteur est calculée et fixée. Le déploiement préplanifié de nœuds de capteurs n'est possible que dans un nombre limité d'applications. Dans la plupart des applications, la détermination de la position des nœuds de capteur n'est pas possible en raison de plusieurs facteurs tels qu'un environnement difficile ou des conditions de fonctionnement hostiles. De tels réseaux ne sont pas déterministes et nécessitent un système de contrôle complexe.

7.3 Station de base unique et station de base multiple RCSF

Dans une seule station de base RCSF, une seule station de base est utilisée qui est située à proximité de la région de nœud de capteur. Tous les nœuds capteurs communiquent avec cette station de base, dans le cas d'une station de base multiple RCSF, plus de station de base est utilisée et un nœud capteur peut transférer des données vers la station de base la plus proche.

7.4 Station de base statique et station de base mobile RCSF

Semblable aux nœuds de capteurs, même les stations de base peuvent être statiques ou mobiles. Une station de base statique a une position fixe généralement proche de la région de détection. Une station de base mobile se déplace autour de la région de détection de sorte que la charge des nœuds de capteur soit équilibrée.

7.5 RCSF à un et à plusieurs sauts

Dans un RCSFs à un seul saut, les nœuds de capteur sont directement connectés à la station de base. Dans le cas RCSF à sauts multiples, des nœuds homologues et des têtes de cluster sont utilisés pour relayer les données afin de réduire la consommation d'énergie.

7.6 RCSF auto-reconfigurable et non auto-configurable

Dans un RCSFs non auto - configurable, les réseaux de capteurs ne peuvent pas s'organiser en réseau et s'appuient sur une unité de contrôle pour collecter des informations. Dans la plupart des RCSF, les nœuds de capteur sont capables d'organiser et de maintenir la connexion et de travailler en collaboration avec d'autres nœuds de capteur pour accomplir la tâche.

7.7 RCSFs homogène et hétérogène

Dans un RCSF homogène, tous les nœuds de capteurs ont une consommation d'énergie, une puissance de calcul et des capacités de stockage similaires. Dans le cas d'un RCSF hétérogène, certains nœuds de capteur ont des besoins en puissance de calcul et en énergie plus élevés que d'autres et les tâches de traitement et de communication sont divisées en conséquence. [13]

8. Domaines d'applications des réseaux de capteurs sans fil

Le domaine des applications de réseaux de capteurs est de plus en plus en expansion grâce aux développements techniques dans les domaines de l'électronique et de la communication entre les applications des réseaux de capteurs sans fil, on mentionne

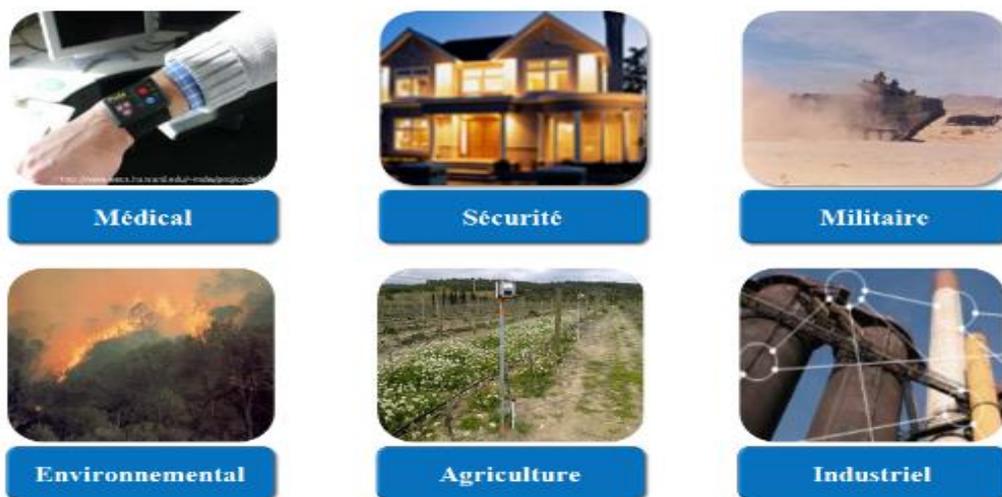


Figure 6 Domaines d'applications des réseaux de capteurs sans fil [14]

8.1 Application militaire:

Grâce à leur déploiement rapide, leur auto conjuration et leur tolérance aux pannes, les réseaux de capteurs sans fil dans un tel domaine nous permettent d'acquérir et de vérifier des informations sur la position et la capacité de l'ennemi, d'assurer la surveillance des champs de bataille et d'analyser le terrain avant d'envoyer des troupes. Les missions de surveillance comportent souvent un risque élevé pour le personnel humain. De ce fait, la capacité de déployer des missions de surveillance sans pilote, en utilisant des réseaux de capteurs sans fil, revêt une grande importance pratique pour les militaires [15]

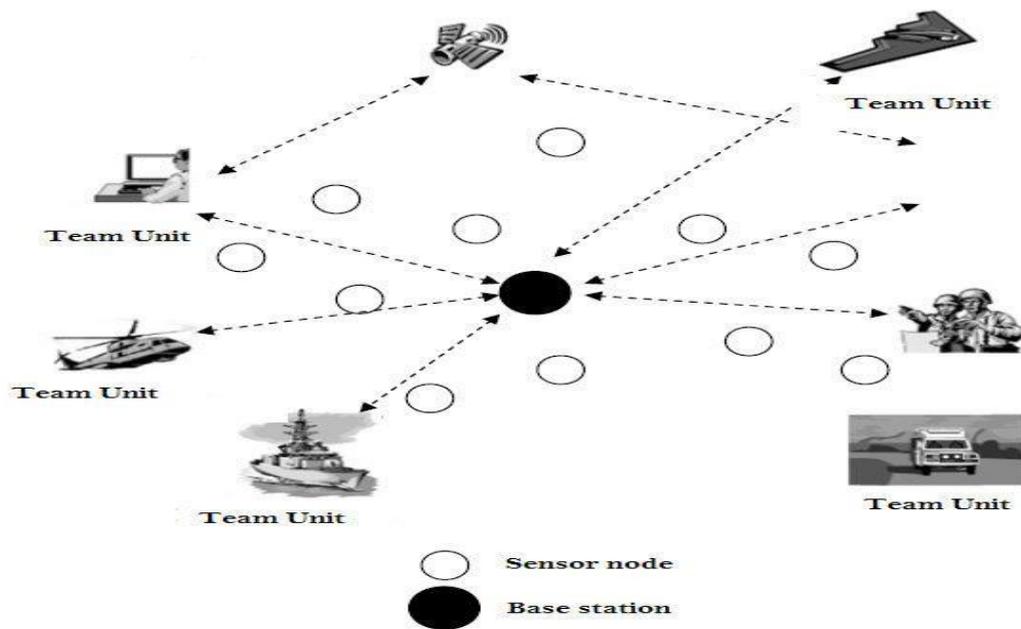


Figure 7 Les RCSFs dans le domaine militaire.[16]

8.2 Applications agricoles:

Les capteurs peuvent être utilisés pour réagir convenablement aux changements climatiques, par exemple le processus d'irrigation lors de la détection de zones sèches dans un champ agricole [17].



Figure 8 Application agricoles de RCSF.[17]

8.3 Application médicale

Dans le domaine de la médecine, les réseaux de capteurs peuvent être utilisés pour assurer une surveillance permanente des organes vitaux de l'être humain grâce à des micro-capteurs qui pourront être avalés ou implantés sous la peau (surveillance de la glycémie, détection de cancers, etc.). Ils peuvent aussi faciliter le diagnostic de quelques maladies en effectuant des mesures physiologiques telles que : la tension artérielle, battements du cœur, à l'aide des capteurs ayant chacun une tâche bien particulière. Les données physiologiques collectées par les capteurs peuvent être stockées pendant une longue durée pour le suivi d'un patient pour une ultérieure décision médicale [18].

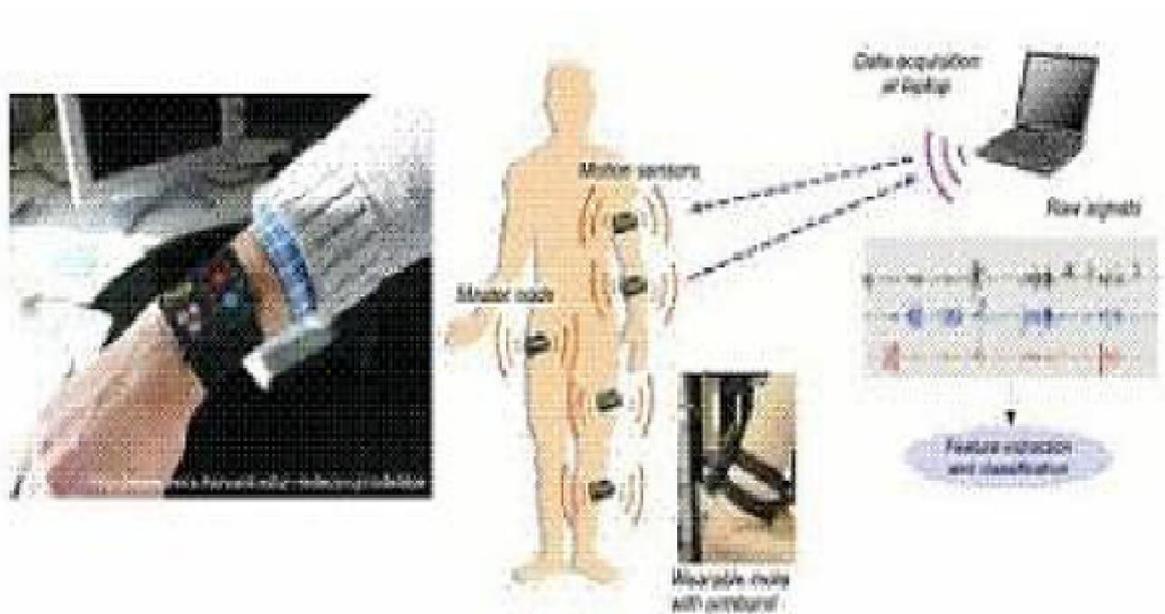


Figure 9 Les RSCFs pour les applications sanitaires.[18]

8.4 Applications environnementales

Des capteurs de température peuvent être dispersés à partir d'avions dans le but de détecter D'éventuels problèmes environnementaux dans le domaine couvert par les capteurs dans une optique d'intervenir `à temps afin d'empêcher que d'éventuels incendie, inondation, volcan ou tsunami ne se produisent [19]



Figure 10 Applications environnementales des RCSFs [19]

Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre les capteurs et les réseaux de capteurs sans fil de façon générale, en mettant le point sur l'architecture des capteurs et RCSFs, ainsi que leurs principaux domaines d'application et leurs caractéristiques et contraintes de conception

Dans le prochain chapitre nous allons dans le prochain chapitre, nous présenterons le déploiement dans les réseaux de capteurs sans fils.

Chapitre 02 les méthodes de déploiements des capteurs

Introduction

Les réseaux de capteurs sans fil (RCSF) sont un domaine de recherche en constante évolution avec une variété de contextes d'application elle a attiré des chercheurs ces dernières années en raison de sa large gamme d'utilité dans une ère future d'automatisation et de surveillance à distance. Les réseaux de capteurs sans fil posent de nombreux problèmes d'optimisation, notamment parce que les capteurs ont une capacité limitée en termes d'énergie, de traitement et de mémoire. Le déploiement des nœuds de capteurs est une phase critique qui affecte considérablement le fonctionnement et les performances du réseau. Souvent, les capteurs constituant le réseau ne peuvent pas être positionnés avec précision, et sont dispersés de manière erratique. Pour compenser le caractère aléatoire de leur placement, un grand nombre de capteurs est généralement déployé, ce qui contribue également à augmenter la tolérance aux pannes du réseau.

1. Le déploiement

Le composant principal d'un réseau de capteurs sans fil est un nœud de capteur, qui collecte des informations et les transmet à la station de réception pour un traitement ultérieur. De plus, la manière de déployer ces capteurs dans un réseau afin qu'il couvre une zone maximale est très importante.

La première étape de l'établissement d'un réseau de capteurs est le déploiement. Étant donné que les ressources sont très limitées, un déploiement efficace est une solution viable pour commencer. L'objectif principal du déploiement d'un réseau de capteurs est de permettre la collecte de données à partir d'emplacements qui peuvent ne pas être humainement accessibles. Cependant cette exigence n'est que secondaire. Il est essentiel que les nœuds soient déployés dans des emplacements adaptés au contexte. Cela signifie que les points de localisation

idéaux doivent être choisis en fonction des exigences de l'application servie et cela doit guider le choix de la stratégie de placement des capteurs. Le placement optimal des capteurs aboutit finalement à une utilisation maximale possible des capteurs disponibles. Le déploiement n'affecte pas les capacités de calcul ou intelligentes d'un RCSF. et est donc toujours associé à la couverture. L'efficacité du déploiement affecte directement la couverture qui à son tour affecte les paramètres du nœud de capteur comme la longévité de la batterie, la mobilité, la connectivité et les choix de communication ainsi que les contraintes de qualité de service du réseau. Les performances du RCSF sont fortement influencées par les stratégies de déploiement des nœuds de capteurs. Les méthodes de déploiement peuvent forcer un épuisement précoce des nœuds, quelle que soit l'efficacité du protocole de routage, à moins qu'il n'y ait une garantie d'auto-ajustement ou d'auto-organisation parmi les nœuds. Peu d'algorithmes se concentrent sur le réajustement des positions des nœuds et de nombreux algorithmes supposent un déploiement déterministe avec des nœuds statiques. Dans de tels scénarios, la méthode de déploiement initial des nœuds ou leur réajustement joue un rôle essentiel dans l'obtention de la qualité de métrique souhaitée.

2. Les phases de déploiement

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. Dans le but de fournir une forte densité et une meilleure performance dans la zone à surveiller, il faut que les nœuds capteurs soient capables d'adapter leur fonctionnement an de maintenir la topologie de réseau souhaitée, le déploiement est décomposé en trois phases qui sont :

2.1 Pré-déploiement et de déploiement

Qui concerne le placement manuel des nœuds par un humain ou un robot, ou leur lancement depuis un avion [20]

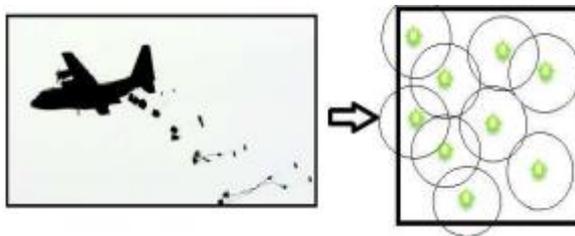


Figure 11Phase de pré-déploiement et de déploiement [20]

2.2 post-déploiement

ce qui est nécessaire si la topologie du réseau a évolué en raison d'un déplacement de nœuds ou d'un changement des conditions de propagation radio.[20]

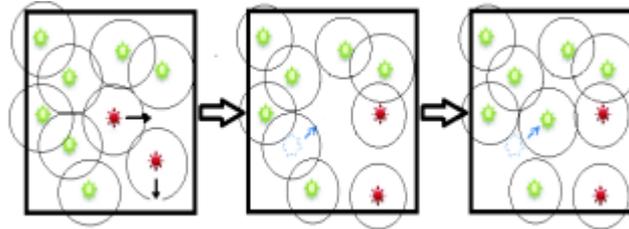


Figure 12 phase post-déploiement [20]

2.3 Redéploiement

Consiste à ajouter de nouveaux nœuds au réseau pour en remplacer les nœuds cassés ou endommagés. [20]

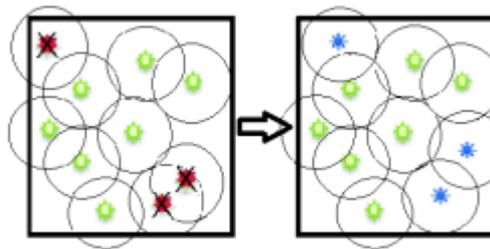


Figure 13 phase de redéploiement [20]

3. Les méthodes de déploiement

3.1 Déploiement aléatoire

Dans de nombreux cas pratiques, la diffusion aléatoire des RCSF peut être essentielle, en raison de la grande échelle du réseau requis ou de l'inaccessibilité du terrain. Le placement des nœuds doit répondre à deux conditions:

- Les nœuds ne doivent pas être placés trop près, ce qui entraînerait une petite zone couverte et peu d'informations seraient récupérées.
- Si les nœuds sont trop éloignés les uns des autres, beaucoup seraient isolés et par conséquent, les données n'atteindraient pas les puits.

Le déploiement aléatoire peut nécessiter le déploiement de capteurs beaucoup plus redondants afin d'atteindre une spécification donnée. La diffusion aléatoire des nœuds depuis les airs est une stratégie de déploiement la plus couramment utilisée pour le déploiement dans des environnements hostiles ou des régions ouvertes à grande échelle.

Les schémas aléatoires déploient généralement plus de nœuds et nécessitent des mécanismes de planification de capteurs plus compliqués. Certains types de nœuds de capteurs ont une mobilité. Par conséquent, les déploiements sont également classés comme déploiement statique et déploiement mobile. Dans la littérature, la plupart des études et applications sont basées sur le déploiement statique. Les nœuds de capteurs mobiles facilitent le déploiement et sont plus capables de surveiller et de suivre des cibles mobiles.[21]

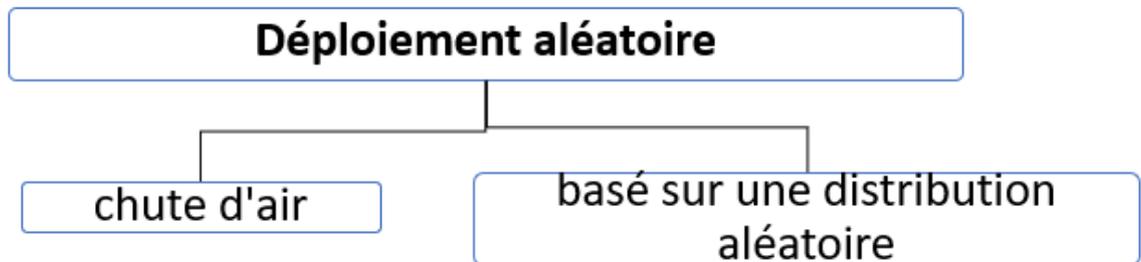


Figure 14 déploiement aléatoire des RCSFs

3.2 Déploiement déterministe

Cette technique est réalisée dans un environnement accessible ou connu où les nœuds sont placés un par un et de manière individuelle à des emplacements bien précis. Ce déploiement est utile et souvent nécessaire lorsque les capteurs sont très chers ou si leur fonctionnement dépend fortement de leur position et définit la topologie du réseau au moment de l'installation de RCSF.

Les schémas déterministes peuvent permettre aux nœuds de capteur d'être placés à des positions prédéterminées pour répondre à toutes les exigences, telles que la couverture, la connectivité, la durée de vie prévue. Cependant, les schémas déterministes ne conviennent qu'aux environnements contrôlables, par ex. immeubles de bureaux, hôpitaux, usines. Dans des environnements difficiles ou hostiles, par ex. les forêts, les déserts, les champs de bataille, les nœuds de capteurs peuvent être largués par avion depuis un aéronef ou être distribués d'une autre manière, ce qui peut entraîner un placement aléatoire [21].

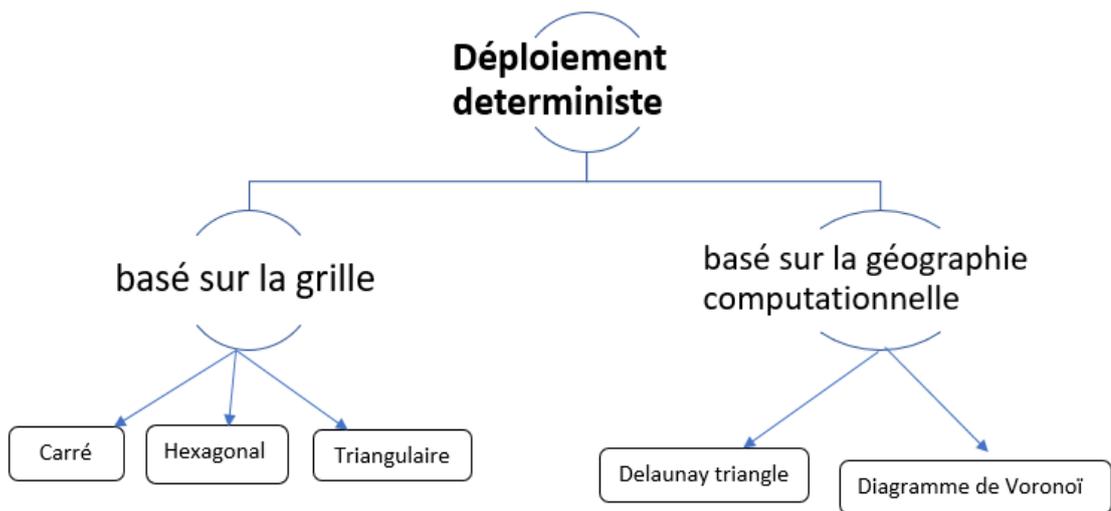


Figure 15 déploiement déterministe dans RCSFs

3.2.1 Déploiement déterministe basé sur la grille

La stratégie basée sur la grille fournit un déploiement déterministe dans lequel la position des nœuds est fixée selon un modèle de grille tel qu'un réseau

- *Carrée*

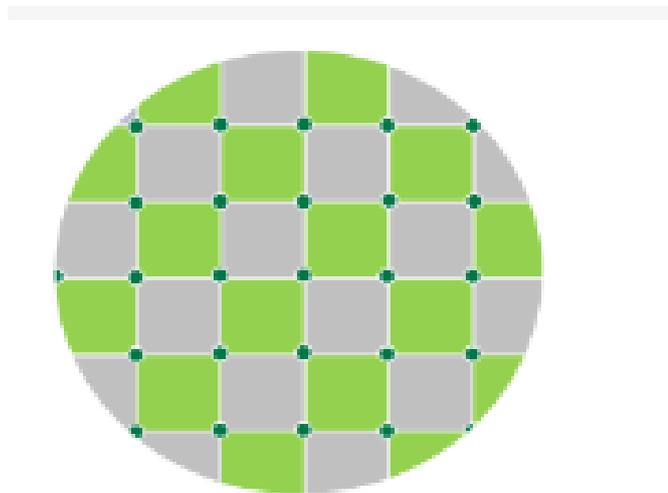


Figure 16 grille carrée [22]

- *Hexagonale*

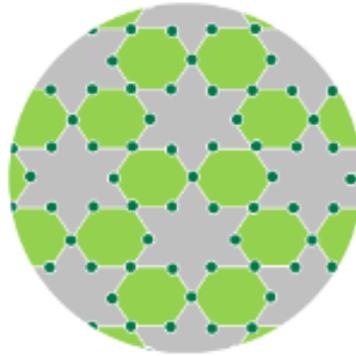


Figure 17 grille hexagonale[22]

- *Triangulaire*

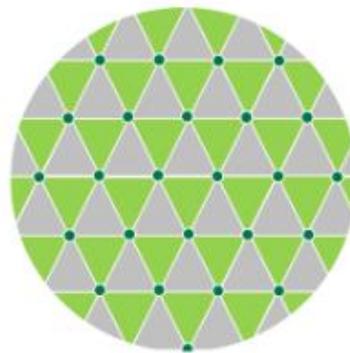


Figure 18 grille triangulaire [22]

3.2.2 Déploiement déterministe basé sur la géographie computationnelle

- *Diagramme de Voronoï*

Les diagrammes de Voronoï sont des structures très utiles, rencontrées fréquemment car elles permettent de représenter des relations de distance entre objets et des phénomènes de croissance : il n'est pas étonnant de les voir utilisés pour modéliser des cristaux ou les grandes structures de l'univers, et de les trouver souvent dans la nature, par exemple sur la carapace d'une tortue ou sur le cou d'une girafe réticulée. Les diagrammes de Voronoï sont aussi des structures de données permettant de résoudre de nombreux problèmes: recherche de plus proches voisins et planification de mouvements notamment. L'étude des diagrammes de Voronoï, de leurs propriétés mathématiques, de leur calcul et de leurs nombreuses variantes a été et reste un sujet d'importance majeure de la géométrie algorithmique. Les contributions du projet Prisme portent sur les aspects combinatoires et algorithmiques, l'extension à différentes métriques non euclidiennes et l'application aux problèmes de reconstruction de formes.[23]

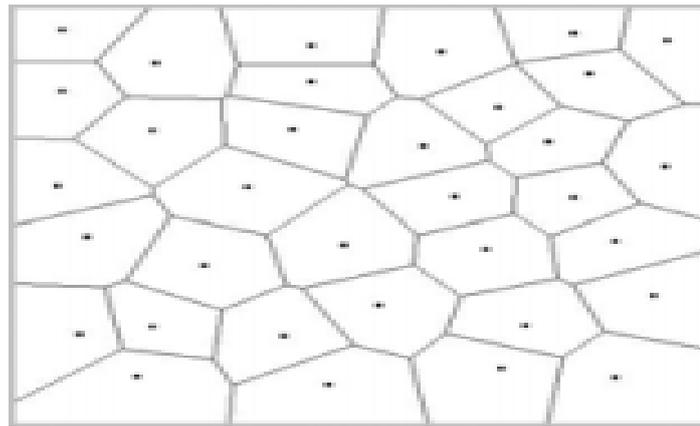


Figure 19 Diagrammes de Voronoï [24]

Construction

- On commence par un point central et les segments le liant aux autres sites proches (en rouge).
- On trace les médiatrices de tous ces segments. Elles forment un polygone autour du point considéré.
- On termine en traçant les médiatrices des segments formés par les couples proches. Chacune rejoint l'un des sommets du polygone (points de Voronoï).[25]

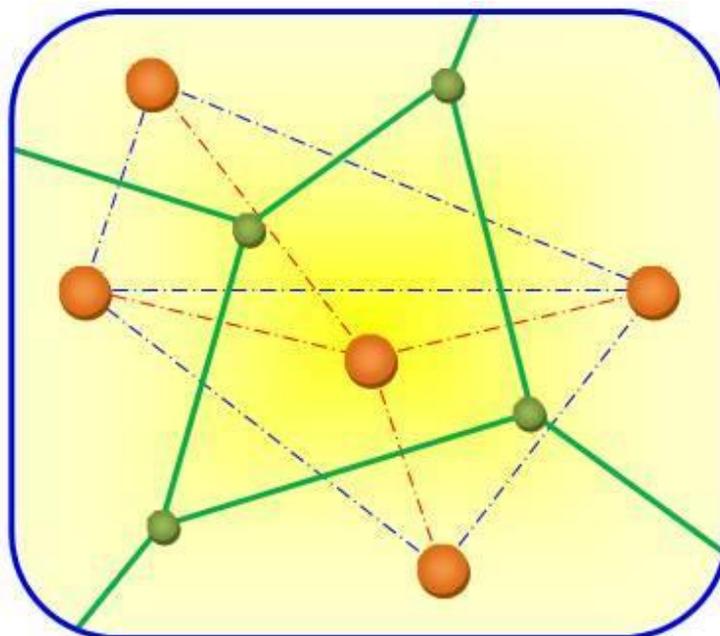


Figure 20 Construction d'un diagramme de Voronoï [25]

- *Delaunay triangle*

Définition

Soit S un ensemble de sites en position générale. On appelle triangle de Delaunay de S un triangle dont les sommets sont des sites de S et qui est inscriptible dans un cercle vide, c'est-à-dire un cercle qui ne contient aucun site de S en son intérieur.[26]

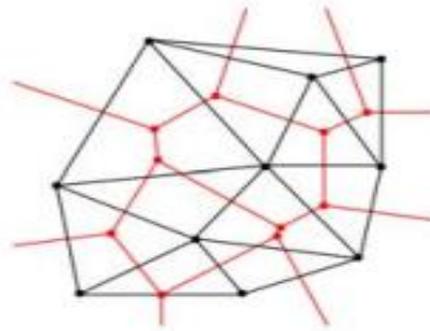


Figure 21 Delaunay triangle [24]

Principe

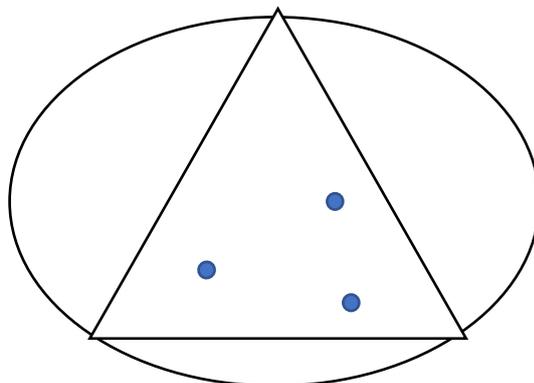
Fait d'un ensemble discret de sommets de sorte qu'aucun sommet ne se trouve à l'intérieur du cercle circulaire d'un triangle de l'ensemble.

Contraction

Trouver le triangle de ces 3 points avec l'algorithme Delaunay

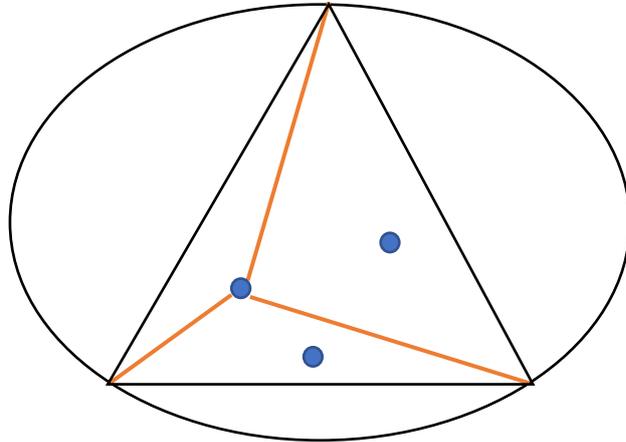


Trouver triangle contenant les 3 points

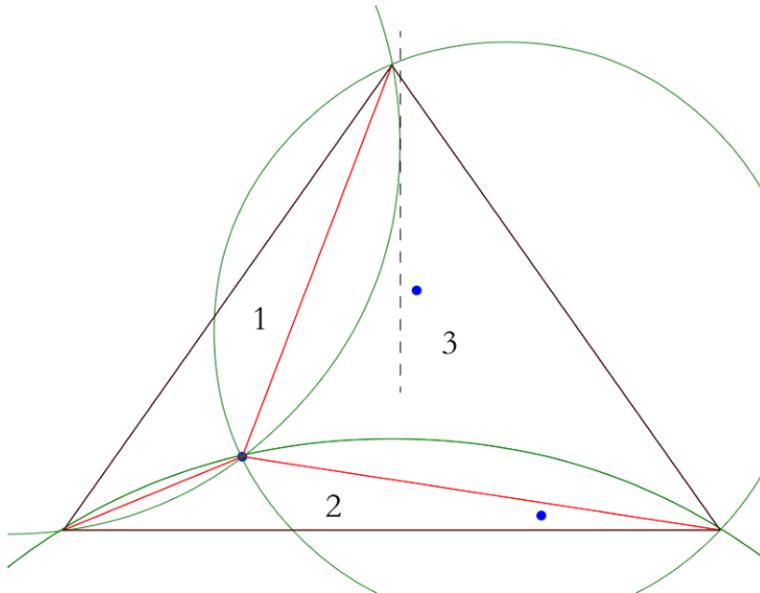


Supposons que nous commençons la triangulation avec le point à gauche, qui se trouve dans le cercle. Ainsi, le triangle n'est pas un triangle de Delaunay, enregistrez ses trois côtés dans le tampon de bord et supprimez le triangle du triangle temporaire.

Connectez ce point à chaque bord du tampon de bord pour former trois triangles et les ajouter aux triangles temporaires [27]

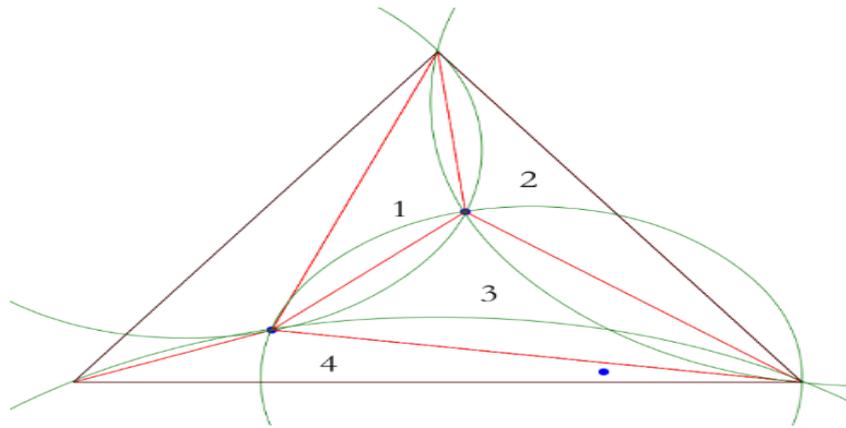


Répétez ensuite le parcours des triangles temp et tracez le cercle circonscrit. [27]



À ce stade, le deuxième point est utilisé:

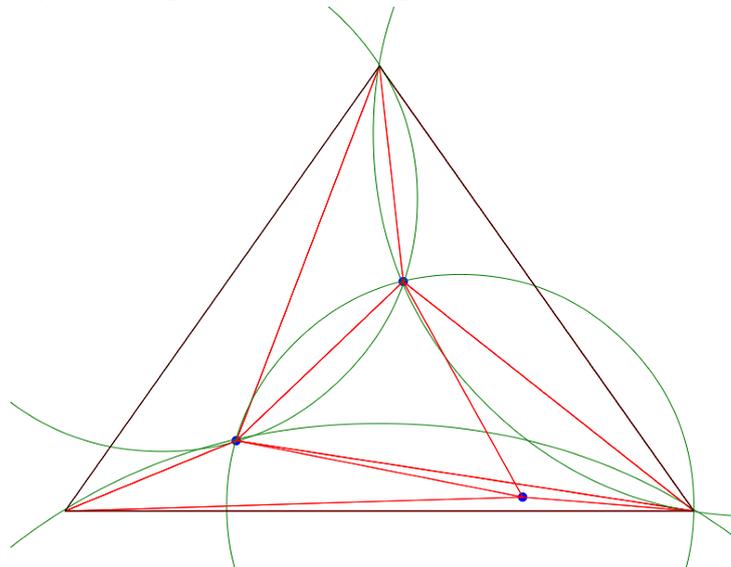
1. Le point est sur le côté droit du cercle circonscrit par le triangle 1, cela signifie que le triangle de gauche est un triangle de Delaunay.
2. Le point est à l'extérieur du cercle circulaire du triangle 2, qui est un triangle incertain, alors sautez-le, mais il n'est pas supprimé dans les triangles temporaires
3. Le point est à l'intérieur du cercle circonscrit du triangle 3, ajoutez les trois bords du triangle au tampon de bord, et combinez-les pour former trois triangles et ajoutez-les aux triangles temporaires [27]



1. Le point est sur le côté droit du cercle circonscrit du triangle 1, le triangle est un triangle de Delaunay, qui est enregistré dans les triangles et supprimé dans les triangles temporaires.
2. Le point est à l'extérieur du cercle circulaire du triangle 2, sauter
3. Le point est à l'intérieur du cercle circulaire du triangle 3. Enregistrez les trois côtés dans le tampon temporaire et supprimez-les dans les triangles temporaires.
4. Le point est à l'intérieur du cercle circulaire du triangle 4, enregistrez les trois côtés dans le tampon temporaire et supprimez-les dans les triangles temporaires.

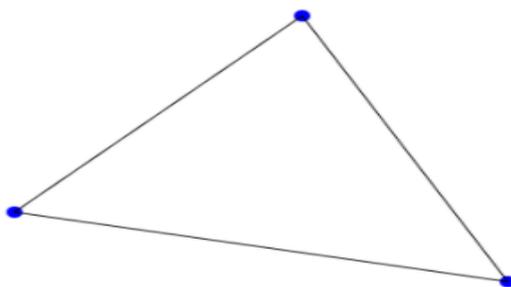
Supprimez la duplication des six bords dans le tampon temporaire pour obtenir cinq bords. Combinez le point et ces cinq arêtes en cinq triangles et ajoutez-les aux triangles temp.

À ce moment, il y a 6 triangles dans les triangles temporaires [27]



Les trois points ayant été parcourus, le triangle formé par le troisième point ne sera plus circonscrit. À ce moment, les triangles et les triangles temporaires seront fusionnés, contenant le triangle de Delaunay déterminé et les triangles restants.

À ce stade, tous les triangles liés aux trois points du super triangle dans le tableau fusionné sont supprimés, les coordonnées du tableau sont limitées et le résultat final est obtenu [27]



4. Contrainte de déploiement

4.1 Connectivité

Représente une condition suffisante pour la transmission fiable d'information C'est la capacité du nœud capteur d'atteindre le lien de transmission des données Un réseau de capteur est dit connecté si et seulement s'il existe au moins une route entre chaque paire de nœud La connectivité dépend essentiellement de l'existence des routes. Elle est affectée par les changements de topologie dus à la mobilité, la défaillance des nœuds, les attaques, etc....

Ce qui a pour conséquence : la perte des liens de communication, l'isolement des nœuds, le partitionnement du réseau, etc.

Bien comprendre la connectivité d'un réseau permet d'adapter les mécanismes de communication afin d'assurer le bon fonctionnement des applications. Ainsi, la découverte du voisinage d'un nœud capteur est un élément important. Dans leur activité périodique, les pertes de connectivité sont principalement dues à la mobilité des nœuds et aussi aux mécanismes liés à l'économie d'énergie. La densité élevée des nœuds dans les réseaux de capteur les empêche d'être complètement isolés les uns des autres. Par conséquent, il est exigé que les nœuds de capteurs soient fortement connectés. On peut considérer un réseau de capteurs sans fil de communication à saut multiple, où tous les nœuds coopèrent dans le but d'assurer des communications entre chacun [28]

4.1.1 Types de connectivité dans les RCSF

Il existe deux types de connectivité dans les RCSF qui sont la connectivité complète et la connectivité intermittente. Une connectivité complète peut être soit simple (1-connectivité), soit multiple (k-connectivité).

Une connectivité complète d'un RCSF est dite simple s'il existe un seul chemin entre chaque nœud source et la station de base et elle est dite multiple s'il existe plusieurs

chemins distincts entre chaque nœud source et la station de base. Selon les stratégies de placement des nœuds dans la zone de surveillance et selon les caractéristiques de l'application, une connectivité simple (ou multiple) peut être assurée lors de la phase de placement des nœuds ou bien être obtenue lors d'une phase de redéploiement ou d'auto-configuration des nœuds. Dans le cas de certaines applications des RCSF, il n'est pas nécessaire d'assurer et de maintenir en continu une connectivité complète du réseau. En effet, pour de telles applications, il est suffisant de garantir une connectivité intermittente en utilisant par exemple un (ou plusieurs) station de base mobile se déplaçant afin de recueillir les mesures collectées par les nœuds capteurs déconnectés.[29]

4.2 Couverture

La couverture du RCSF est souvent considérée comme un indicateur très important de la performance. Il indique comment surveiller (contrôler) une zone donnée, c'est-à-dire comment chaque point de la zone de surveillance est observé et suivi par tous les nœuds. Par conséquent, le terme couverture dans les RCSFs peut être considéré comme une mesure de la qualité de service (QDS).[29]

4.2.1 Type de couverture

La couverture est divisée en 3 types, en raison de nature de la candidature et de la zone du candidat

- *La couverture de la zone*

Couvre toute la zone selon les exigences de l'application. Une couverture totale ou partielle est requise. Une couverture complète est essentielle dans les applications qui nécessitent un degré élevé de précision, comme la surveillance du champ de bataille qui nécessite une couverture complète ou une couverture K. De plus, certaines applications n'ont pas besoin d'une couverture complète et une couverture partielle est acceptable. Les applications de surveillance de l'environnement qui ne nécessitent qu'une couverture de p%, où $0 < p < 1$, est un exemple de couverture de zone partielle. La couverture partielle est un moyen efficace d'économiser l'énergie des capteurs et de prolonger la durée de vie du réseau car le nombre de capteurs déployés dans la zone est inférieur à celui requis pour une couverture complète. [30]

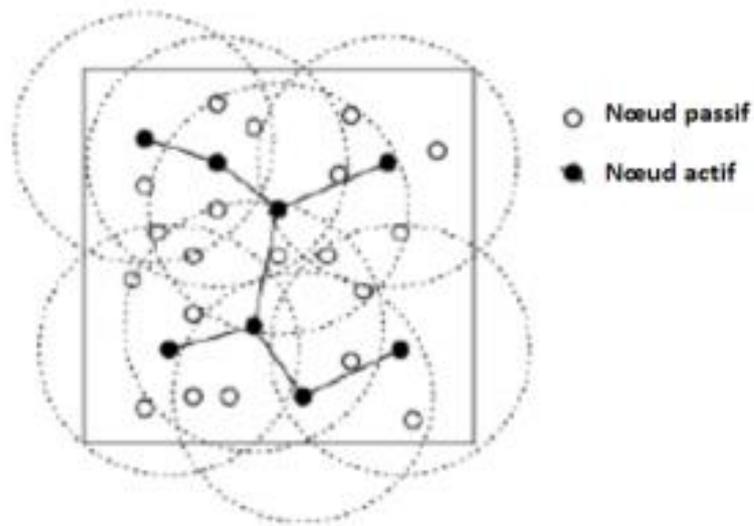


Figure 22 couverture de la zone [31]

- *Couverture de la barrière*

Est le déploiement du nœud de capteur dans lequel le mouvement des capteurs est détecté sur une frontière prédéfinie.

La couverture de barrière convient à la détection d'intrusion, aux applications militaires et à la surveillance de la surveillance des frontières. Selon les circonstances des diverses applications, la région d'intérêt (ROI) est classée comme une région de ceinture ouverte ou une région de ceinture fermée

La couverture de la barrière est en outre classée en couverture forte et faible couverture.

Des barrières solides assurent la détection des objets quel que soit le chemin emprunté, mais des barrières faibles assurent uniquement la détection des objets passant par des chemins congruents.

L'objectif de la couverture de la barrière est de minimiser la probabilité de pénétration invisible à travers la barrière.

La question de la couverture de la barrière réside dans le déploiement réel. Selon l'environnement, un grand nombre d'objets peut être entré dans la zone déployée, ce qui peut ne pas être utile ou pratique dans de nombreuses applications.[31]

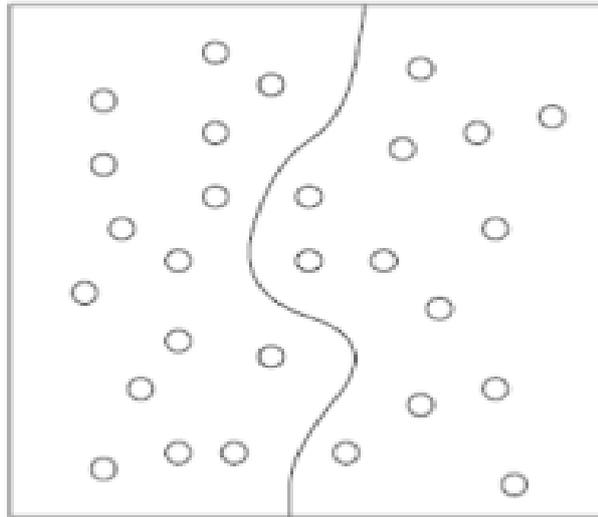


Figure 23 Couverture de la barrière [31]

- *Couverture cible(point)*

L'objectif principal dans ce type est de couvrir un ensemble de points spécifiques, dont la position géographique est connue. La figure 15 montre un exemple d'un ensemble de capteurs déployés au hasard pour couvrir un ensemble de points (petits carrés) où les nœuds noirs reliés forment l'ensemble des capteurs actif [31]

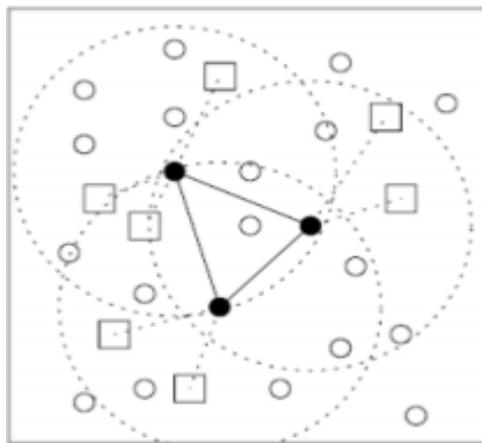


Figure 24 couverture de point [31]

4.3 Durée de vie

Peut-être équivalente à la durée pendant laquelle une partie du champ de capture reste couverte par un certain nombre de captures par exemple :

Durée pendant laquelle le champ de capteur est couvert par au moins K capteurs La durée de vie est une métrique d'évaluation de performance très importante dans les RCSF. Il existe plusieurs définitions de ce paramètre de mesure. Toutefois, notons que sa définition n'est pas toujours triviale.

En effet, Giridhar et Kumar présentent la durée de vie d'un RCSF comme étant liée à l'application et aux protocoles utilisés.

Chen et Zhao conçoivent la durée de vie d'un RCSF comme étant une mesure étroitement liée à la vie des nœuds du réseau.

Quant à Esseghir et al, ils définissent la durée de vie comme étant une autre mesure qui est liée à l'accessibilité des nœuds dans le réseau. Une définition de la durée de vie d'un RCSF comme étant liée à la qualité de service QoS est proposée par Hu et Li. D'autres chercheurs comme Verdone et al, définissent la durée de vie comme une mesure liée à la répartition spatiale des nœuds dans le réseau.[29]

4.4 Stratégie de déploiement

4.4.1 Déploiement des nœuds de capteurs basés sur couronne

Dans un déploiement de nœud de capteur basé sur une couronne, les nœuds de capteur sont disposés de manière circulaire de rayon r avec un puits statique positionné au centre. La zone circulaire est divisée en R couronne adjacents et le nombre total de couronne dépend de la portée de communication du nœud de capteur.[32]

- *Stratégie de déploiement des nœuds de capteurs basés sur couronne*
 - Ingénieur-gaussien
 - Utilisation du nœud de capteur minimum pour une couverture complète
 - Utilisation de la proportion arithmétique et géométrique
 - Utilisation du nombre optimal de nœuds dans Corona
 - Utilisation des nœuds de relais pour la transmission [32]

4.4.2 Déploiement des nœuds de capteurs basés sur non-couronne

Ces déploiements de nœuds de capteurs pour les applications agricoles sont effectués sous une forme autre que couronne et non avec des techniques de déploiement contrôlées.[32]

- *Stratégie de déploiement des nœuds de capteurs basés sur non couronne*
 - Stratégie de déploiement d'ingénierie gaussienne
 - Stratégie de déploiement uniforme aléatoire
 - Stratégie de déploiement uniforme conçue [32]

Conclusion

Dans ce chapitre, nous présentons le processus de déploiement, ses étapes, ses limites et ses méthodes dans les réseaux de capteurs sans fil avec une brève explication de chacun.

Dans le chapitre suivant, nous présentons un ensemble d'algorithmes de couverture dans les réseaux de capteurs sans fil, ainsi que l'algorithme que nous avons utilisé pour mettre en œuvre notre proposition.

Chapitre 03 Les algorithmes de couverture dans les RCSF

Introduction

Le problème de couverture dans les réseaux de capteurs sans fil a reçu beaucoup d'attention au fil des ans, En conséquence, des protocoles ont été proposés dans le but d'obtenir une couverture complète de n'importe quelle zone. Dans ce chapitre, nous étudions plusieurs algorithmes de couverture dans les réseaux de capteurs sans fil en plus de leur principe et les résultats de chacun d'eux en plus de l'algorithme utilisé dans notre proposition

1. les algorithmes de couverture dans les RCSFs

1.1 un algorithme heuristique de couverture connectée optimisé et léger(OECCH)

1.1.1 Définition

OECCH (un algorithme heuristique de couverture connectée optimisé et léger) est un algorithme pour le but de prolonger la durée de vie du réseaux capteur sans fils et Visant l'effet grave du trou de couverture causé par le mauvais environnement de déploiement et l'énergie limitée du réseau de capteurs sans fil (RCSF) sur la durée de vie du réseau. [33]

1.1.2 Fonctionnement d'algorithme

Armés de l'analyse de la contribution à la couverture

- ✓ Les nœuds capteurs sont classés en nœuds de détection et en nœuds de relais.
- ✓ Un ensemble de couvertures connectées aux intersections est construit sur la base des valeurs heuristiques,

- ✓ La durée de vie du réseau est maximisée en combinaison avec la mise à jour de l'énergie et la récupération de la couverture. [33]

1.1.3 Résultat

Les résultats de la simulation indiquent que l'OECCH peut prolonger la durée de vie du réseau tout en réduisant considérablement les dépenses de calcul RCSFs et aussi éviter l'émergence précoce de la couverture et des contacts vulnérabilités dans RCSFs prolongeant ainsi la durée de vie du réseau.[33]

1.2 Algorithme de contrôle de couverture de stratégie optimisé (OSCC)

1.2.1 Définition

OSCC (algorithme de contrôle de couverture de stratégie optimisé) est proposée pour résoudre Le problème de l'utilisation de nœuds de réseau de capteurs sans fil inférieurs pour atteindre la couverture et la connexion de certaines zones dans des conditions de couverture données est un problème prioritaire et de point chaud de réseaux capteur sans fils [34]

1.2.2 Fonctionnement d'algorithme

- ✓ Un modèle de cartographie des relations des nœuds capteurs et des nœuds cibles est établi par OSCC qui est basé sur la figure géométrique et les théories associées, la théorie des probabilités, la propriété de convergence, etc. pour compléter un raisonnement efficace et calculer certains modèles de réseau.
- ✓ OSCC fait une analyse efficace des résultats de calcul pour déterminer le moins nombre de nœuds de capteurs pour couvrir une zone de surveillance spécifique.
- ✓ OSCC choisit la solution de routage optimale tout en menant optimisation combinatoire du chemin de routage à l'aide de l'algorithme d'optimisation des colonies de fourmis (ACO), réduisant ainsi les dépenses énergétiques de tout le réseau.[34]

1.2.3 Résultat

Les résultats de simulation prouvent qu'il peut utiliser le moins de nœuds de capteurs pour couvrir efficacement la zone cible. En outre, OSCC aide à réduire considérablement la consommation d'énergie du réseau, à minimiser la disposition des ressources du réseau et d'améliorer le cycle de vie du réseau, simultanément. [34]

1.3 Algorithme de couverture amélioré basé sur un modèle de probabilité(ECAPM)

1.3.1 Définition

ECAPM (algorithme de couverture amélioré basé sur un modèle de probabilité) est un élément fondamental du réseau de capteurs sans fil qui permet de couvrir une zone surveillée avec le nombre minimum de nœuds de capteurs. Grâce à l'utilisation de cet algorithme, la probabilité de couverture des nœuds capteurs, la solution des valeurs attendues pour la qualité de la couverture, et la valeur et la variance attendues lorsqu'elles sont couvertes par les nœuds capteurs pour la première fois sont présentées au moyen de la zone de secteur formée lorsque les nœuds cibles en mouvement passent le capteur nœuds.[35]

1.3.2 Fonctionnement d'algorithme

Étant donné une zone à surveiller, ECAPM peut calculer le nombre minimum de nœuds de capteurs pour couvrir cette zone :

1. ECAPM présente la méthode pour calculer l'espérance de probabilité qu'un nœud capteur soit couvert.
2. ECAPM présente la procédure de calcul de la valeur attendue lorsque le nœud cible est couvert par un nœud de capteur et N nœuds de capteur.
3. ECAPM vérifie la relation de fonction proportionnelle lorsque les variables aléatoires ne sont pas indépendantes.[35]

1.3.3 Résultat

Les résultats de la simulation montrent qu'ECAPM peut couvrir efficacement la zone surveillée avec moins de nœuds de capteurs et améliorer la qualité de la couverture. [35]

1.4 algorithme l'optimisation par Essaim Particulaire (PSO en anglais)

1.4.1 Définition

L'optimisation des essaims de particules (PSO) est une technique d'optimisation stochastique basée sur la population développée par Eberhart et Kennedy [4] en 1995, inspirée du comportement social d'organismes tels que le vol d'oiseaux. Le terme « essaim » a été utilisé conformément à un article de Millonas [5], qui a développé les modèles d'application dans la vie artificielle et a articulé cinq principes de base de l'intelligence en essaim. Le terme "particule" était considéré comme un compromis car les membres de la population pouvaient avoir les vitesses et les accélérations tout en étant sans masse et sans volume. L'optimisation de l'essaim de particules est un algorithme efficace pour optimiser un large éventail de fonctions par rapport à d'autres algorithmes d'optimisation [36]

1.4.2 Principe de l'algorithme PSO

Dans l'algorithme PSO, chaque individu peut être vu comme une particule sans volume dans un espace de recherche multidimensionnel, volant à une certaine vitesse. La vitesse de vol de la particule est toujours dans un état dynamique en fonction des expériences de vol d'elle-même et du groupe. Les définitions sont :

$X_i = (x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, \dots, x_{in})$ est la i-ème particule.

$V_i = (v_{i1}, v_{i2}, v_{i3}, \dots, v_{in})$ est la vitesse de vol actuelle de la i-ème particule.

$P_i = (p_{i1}, p_{i2}, p_{i3}, \dots, p_{in})$ est la meilleure position dans l'expérience de la particule i, qui fait également référence à l'endroit où a la valeur optimale dans l'expérience de la particule i.

Supposons que $f(x)$ soit une fonction spécifique minimisée, la meilleure position pour la particule "i" est définie comme (1) :

$$P_r = (t + 1) = \begin{cases} P_r(t) & f(X_i(t + 1)) \geq f(p_r(t + 1)) \\ X_i(t + 1) & f(X_i(t + 1)) < f(p_r(t + 1)) \end{cases} \dots \dots \dots 1$$

Si la particule t+1 a une meilleure position, la meilleure position de la particule « i » est mise à jour. Sinon, la valeur optimale de l'expérience reste inchangée.

Supposons que le nombre de particules dans un groupe soit s et que la meilleure position globale soit , son expression est dans (2) :

$$P_g(t) = \{P_0(t), P_1(t), \dots, P_x(t)\} | f(P_g(t)) = \min \{f(P_0(t)), f(P_1(t)), \dots, f(P_s(t))\} \dots 2$$

Sur la base des définitions ci-dessus, les formules d'évolution de l'algorithme PSO sont décrites comme (3) et (4):

$$V_{ij}(t + 1) = V_{ij}(t) + c_1 r_{1j}(t) (p_{ij}(t) - x_{ij}(t)) + c_2 r_{2j}(t) (p_{gj}(t) - x_{ij}(t)) \dots \dots 3$$

- ✓ « J » fait référence à la dimension de la question recherchée par les particules
- ✓ « I » fait référence au nombre de particules
- ✓ « T » fait référence aux itérations c_1 et c_2

et sont les constantes accélératrices dans l'algorithme, qui est habituellement dans la plage de 0 à 2; « $r_1 \sim U(0,1)$ » et « $r_2 \sim U(0,1)$ » sont deux variables aléatoires indépendantes uniformément distribuées ; " v_{ij} " est généralement valorisé dans une certaine plage.

$$x_{ij}(t + 1) = x_{ij}(t) + v_{ij}(t + 1) \dots \dots \dots 4$$

Il y a trois parties en (4) :

- ✓ La première partie est la vitesse de la particule au dernier itératif ;

- ✓ La deuxième partie peut être vue comme la partie « cognitive » qui est la distance entre la position actuelle et la meilleure position de la particule, ce qui indique que les particules peuvent apprendre sur elles-mêmes ;
- ✓ La troisième partie peut être vue comme la partie "sociale" qui est la distance entre la position actuelle avec la position globale la meilleure, cela représente la collaboration entre les particules.

On peut voir que les particules ont la capacité de s'auto-comprendre et d'apprendre d' autres particules, et les particules se rapprocheront de leurs meilleures positions et de leur meilleure position globale. Dans (4), les particules peuvent obtenir une nouvelle vitesse de (3) et voler vers une nouvelle position.

L'algorithme PSO suit principalement cinq principes de base articulés :

1. Principe de proximité : la population doit avoir la capacité de faire des calculs simples.
2. Principe de qualité : la population doit avoir la capacité de s'adapter en fonction des facteurs de qualité de l'environnement.
3. Principe de réponse diversifiée : la population ne doit pas se cantonner dans des circuits extrêmement étroits.
4. Principe de stabilité : la population doit conserver un statut assez stable malgré les fréquents changements de l'environnement.
5. Principe d'adaptabilité : la population doit avoir la capacité de changer de mode de comportement lorsque la consommation d'énergie et de ressource est élevée.[36]

1.4.3 Organigramme de l'algorithme PSO

PSO est un algorithme heuristique intelligent qui utilise la sagesse de swarm. Dans PSO, la solution du problème est représentée par les particules et la fonction de fitness est définie pour évaluer les performances de la solution. Les solutions optimales locales et globales sont choisies pour mettre à jour la localisation des particules à chaque itération. Après un certain nombre d'itérations, les particules trouveront la solution optimale dans l'espace de recherche. Le flux de travail de PSO est illustré comme Figure 25[36]

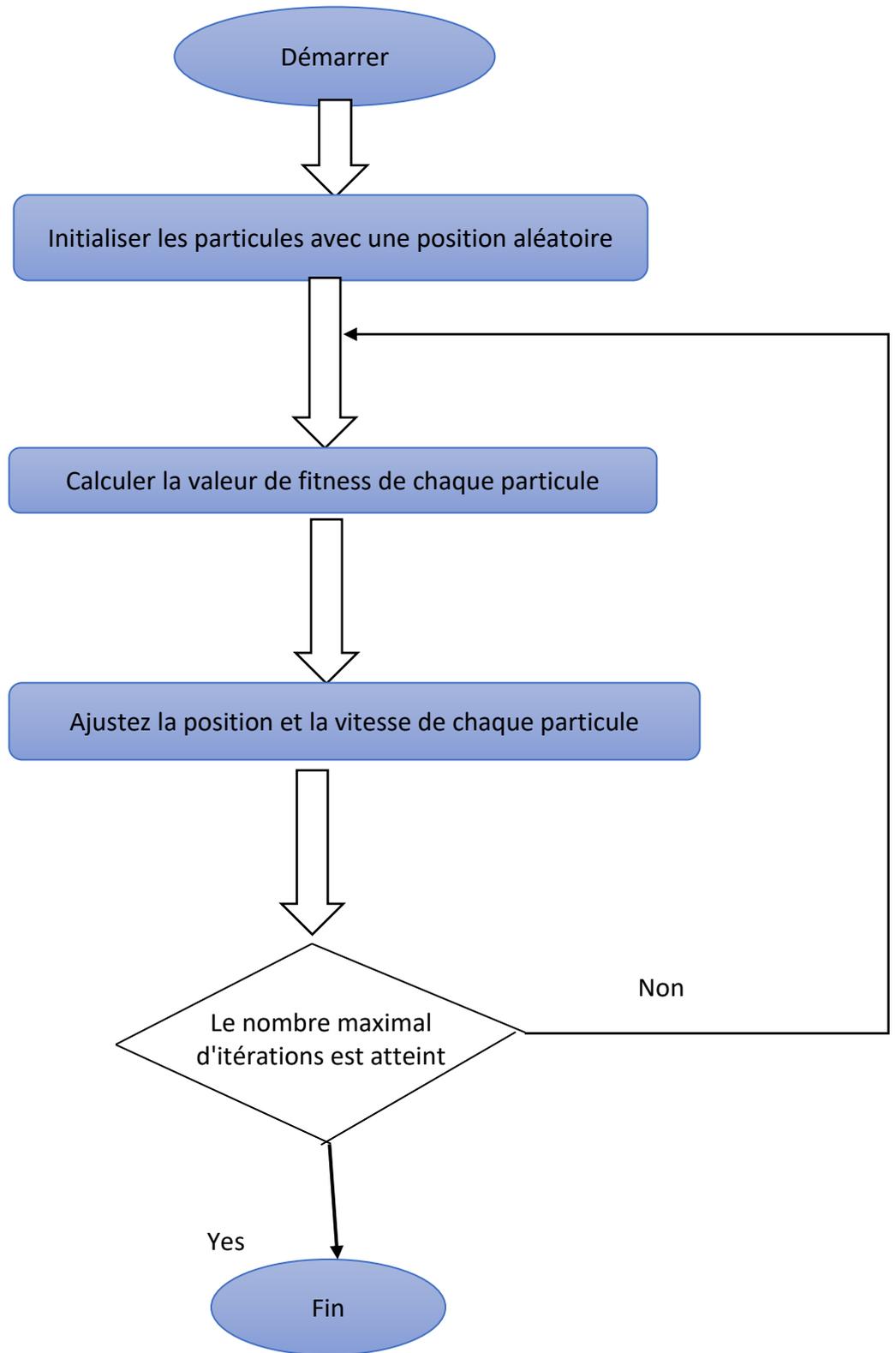


Figure 25 Organigramme de l'algorithme PSO [36]

1.4.4 Résultat

Le déploiement optimal peut être déterminé si un certain paramètre est donné en plus la portée ainsi que la position de chaque nœud de capteur peuvent être déterminées

Conclusion

La couverture d'un réseau de capteurs sans fil peut être considérée comme la capacité du réseau de capteurs sans fil à surveiller un champ d'intérêt particulier. Assurer une couverture suffisante dans un réseau de capteurs est essentiel pour obtenir des données valides. Ce chapitre présente une brève étude des algorithmes de couverture dans les réseaux de capteurs sans fil, ainsi que leurs principes et résultats.

Dans le dernier chapitre, nous présentons notre implémentation de la simulation proposée, ainsi que l'algorithme qui a été développé afin d'obtenir une couverture efficace.

Chapitre 4 Simulation

Introduction

Dans ce dernier chapitre, on va présenter notre contribution sur l'application de l'algorithme des essais particuliers pour optimiser la précision de la localisation des nœuds dans les RCSFs.

Pour mettre en œuvre notre proposition nous avons utilisé le langage de simulation MATLAB, et afin de juger la performance de l'algorithme PSO et la triangulation leurs résultats sont comparés avec autres algorithmes (OECCH, OSCC, ECAPM)

1. Langage de programmation utilisé :

1.1 Matlab

Nous avons choisi MATLAB (Matrix Laboratory), comme un environnement d'implémentation pour notre application. MATLAB est un langage de programmation de quatrième génération et un environnement d'analyse numérique.

MATLAB permet de faire du calcul matriciel, de développer et d'exécuter des algorithmes, de créer des interfaces utilisateur (UI) et de visualiser des données. L'environnement informatique numérique multi paradigme permet aux développeurs d'interagir avec des programmes développés dans différents langages et d'exploiter les atouts uniques de chacun de ces derniers à différentes fins. Les ingénieurs et les scientifiques utilisent MATLAB dans de nombreux domaines, tels que le traitement des images et des signaux, les communications, les systèmes de contrôle du secteur industriel, la conception de réseaux intelligents, la robotique et la finance computationnelle Cleve Moler, alors professeur de science informatique à l'Université du Nouveau-Mexique, a créé MATLAB dans les années 1970 pour aider ses étudiants. C'est l'ingénieur Jack Little qui a identifié le potentiel commercial de MATLAB en 1983. C. Moller, J. Little et Steve Bongart ont créé MathWorks en 1984 et réécrit MATLAB en C. [37]

Nous avons développé notre application à l'aide du langage MATLAB version R2017a sur Windows 10 Professional 32 bit, de RAM de 4.00 Go, et de processus Intel(R) Core(TM) i3-2348M CPU @ 2.30 GHz, 2.30GHz

L'environnement de MATLAB possède 4 fenêtres

- ✓ Au centre l'invite de commande (commande window).
 - ✓ En haut à droite le contenu de l'espace courant de travail (workspace).
 - ✓ Gauche la liste des fichiers du répertoire courant (currentfolder).
 - ✓ En bas à droite l'historique des commandes tapées (command history)
- Fenêtre GUI en MATLAB [38]

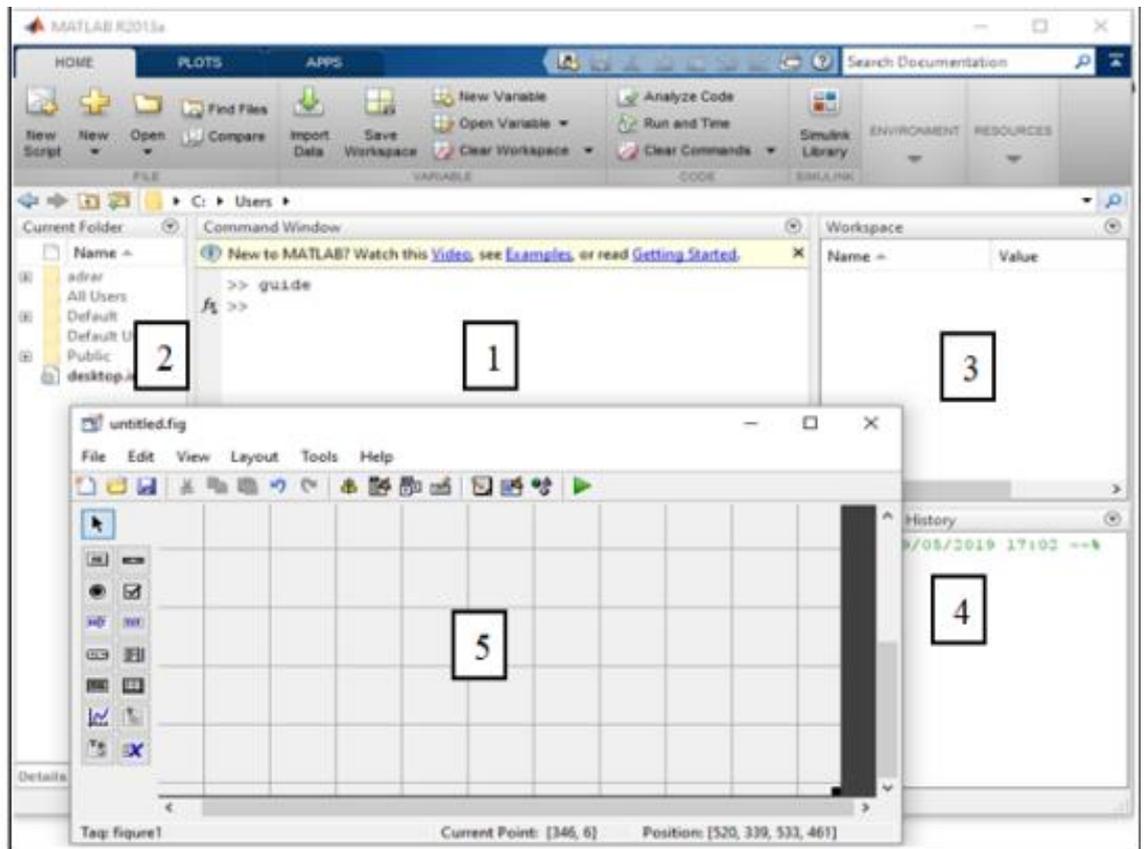


Figure 26 L'interface du MATLAB.[39]

1.1.1 Définition de la simulation

La simulation consiste à la modélisation informatique d'un système quelconque, en offrant une représentation de toutes les entités de ce système, leurs comportements propres. Elle met à la disposition de l'utilisateur un environnement d'expérimentation dont on peut faire varier les paramètres.

Il est nécessaire de bien identifier les caractéristiques du système afin de le représenter, le plus finement possible, par des modèles abstraits.[39]

1.2 AutoCAD

AutoCAD est un logiciel de conception assistée par ordinateur (CAO) qui permet aux architectes, aux ingénieurs et aux professionnels de la construction de créer des dessins 2D et 3D précis. Création, annotation et modification de géométries 2D et de

modèles 3D avec des solides, des surfaces et des objets de maillage Automatisation des tâches telles que la comparaison de dessins, le comptage, l'ajout de blocs, la création de nomenclatures, et plus encore Personnalisation à l'aide d'applications complémentaires et d'API[40]

1.3 Excel

Excel est un logiciel de la suite bureautique Office de Microsoft et permet la création de tableaux, de calculs automatisés, de plannings, de graphiques et de bases de données. On appelle ce genre de logiciel un "tableur".

Excel permet de créer facilement des tableaux de toutes sortes, et d'y intégrer des calculs. Excel propose de nombreux graphiques avec des options très détaillées. L'objectif est de pouvoir représenter visuellement les données, quel que soit le contexte. Un graphique permet une lecture et une interprétation plus rapides des résultats. Il permet de faire jaillir les points remarquables, de mettre en évidence les variations ou de faire ressortir instantanément des problèmes à corriger [41]

2. Contribution

Étant donné que notre sujet est de savoir comment assurer une couverture complète d'une zone par l'éclairage, et cela en implémentant un nombre spécifié de poteaux électriques, et afin de résoudre ce problème, nous avons choisi d'améliorer l'algorithme d'essaim de particules PSO car ce dernier garantit une couverture complète avec triangulation pour avoir les trous de couverture . en localisant le nœud en fonction de la distance entre les nœuds et de la plage d'éclairage pour chaque lampe, en plus de l'utilisation de lampes différentes en termes de plage d'éclairage, afin de comparer plus tard en termes de couverture et de coût

Pour réaliser cette solution, nous avons implémenté cet algorithme en travaillant sur des simulations dans Matlab puis en le visualisant sous forme d'un plan dans AutoCAD.

Avant d'exécuter notre programme il faut d'abord entrer les paramètres nécessaires à la simulation

3. Résultat et discussion

(Tous les paramètres utilisés sont aléatoires)

a. 1^{er} cas

3.1.1 Paramètre du 1^{er} cas

On prend une lampe avec un longueur faisceau lumineux = 1

Nombre des nœuds	20
La zone déploiement des nœuds	[20,20]
La plage éclairage du nœuds	1.5
La longueur faisceau lumineux	1

Tableau 1 paramètre du 1er cas

Nous utilisons les paramètres de notre 1er cas dans la fenêtre de commande Windows de Matlab.

```
71 - ud=area(1).*ones(nvars,1);
72 - options = optimoptions(@particleswarm,'Display','iter','MaxIterations',100,'PlotFcn','pswplotb
73 - [x,fval] = particleswarm(fun,nvars,lb,ub,options);
74 - finalPos = reshape(x,[numel(x)/2,2]);
75 - % tracer la position finale du nœud réglé
76 - figure
77 - plot(finalPos(:,1),finalPos(:,2),'o','color','b');
78 - hold on
79 - for i=1:N
80 -     % tracer la plage de transmission circulaire
81 -     [finalcircle_x(i,:),finalcircle_y(i,:)] = circle(finalPos(i,1),finalPos(i,2),Trancl);
```

Command Window

```
donner le nombre des noeud
20
donner la zone deploiment des noeud
[20,20]
donner la plage éclairage du noeud
1.5
donner la longueur faisceau lumineux
1
** Nombre de trous détectés pour circulaire = 20
```

Iteration	f-count	Best f(x)	Mean f(x)	Stall Iterations
0	100	3.14	3.557	0
1	200	3.14	7.02	0
2	300	3.14	4.21	1

Figure 27 paramètres du 1er cas

3.1.2 Emplacement initiale des nœuds de capteur

Après avoir utilisé les paramètres du premier cas. Les nœuds seront positionnés de manière aléatoire dans la région selon la fonction illustrée à la Figure 25

```

%% tracer le déploiement des nœuds
cnt=1;
for i=1:N
    for j=1:N
        if i~=j
            nodes.distance(i,j)=pdist([nodes.pos(i,:);nodes.pos(j,:)]);
            if nodes.distance(i,j)<Trange || nodes.distance(i,j)==Trange
                nodes.inrange(i,j)=1;
            else
                nodes.inrange(i,j)=0;
            end
        end
    end
end
figure
F1=plot(nodes.pos(:,1),nodes.pos(:,2),'.','color','b');
hold on

```

Figure 28 fonction pour placement initiale des nœuds

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

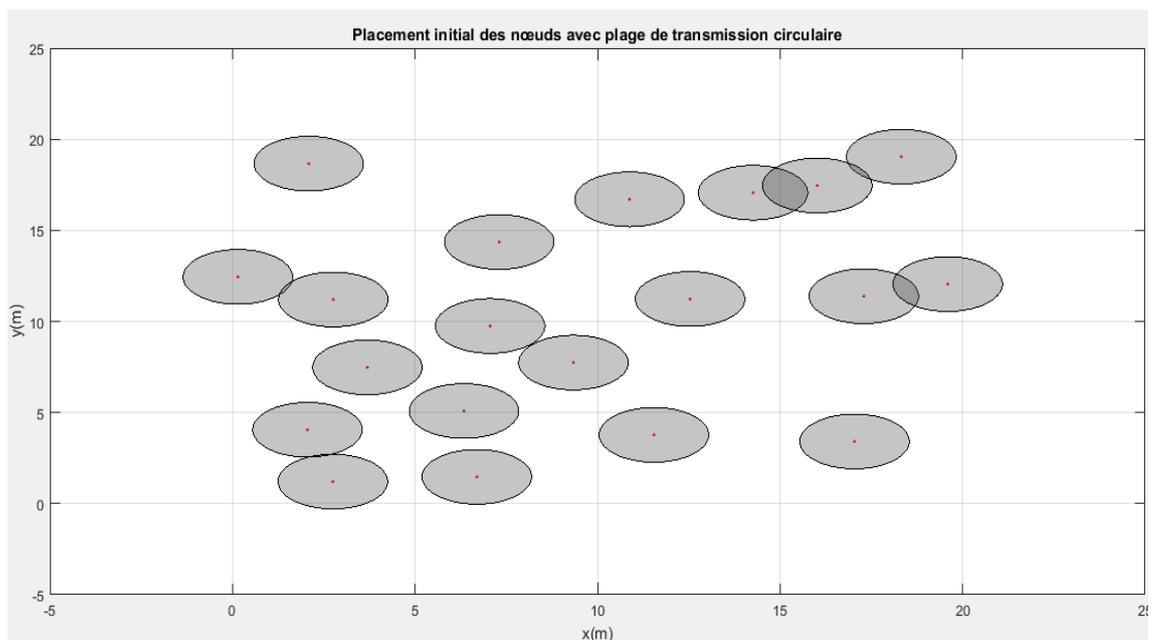


Figure 29 placement initiale des nœuds

3.1.3 Tracer le triangle de Delaunay et la détection de trous

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

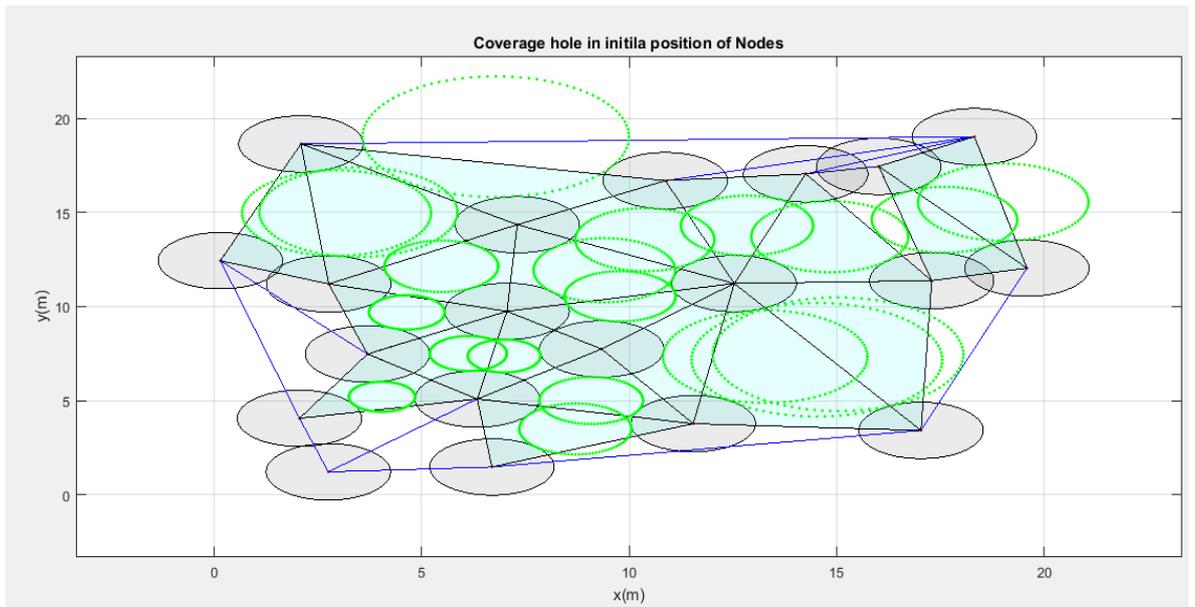


Figure 30 triangle de Delaunay et la détection de trous

Après avoir défini les zones non couvertes notre programme entame l'opération d'itération pour bien positionner les nœuds comme il est présenté dans la figure suivante.

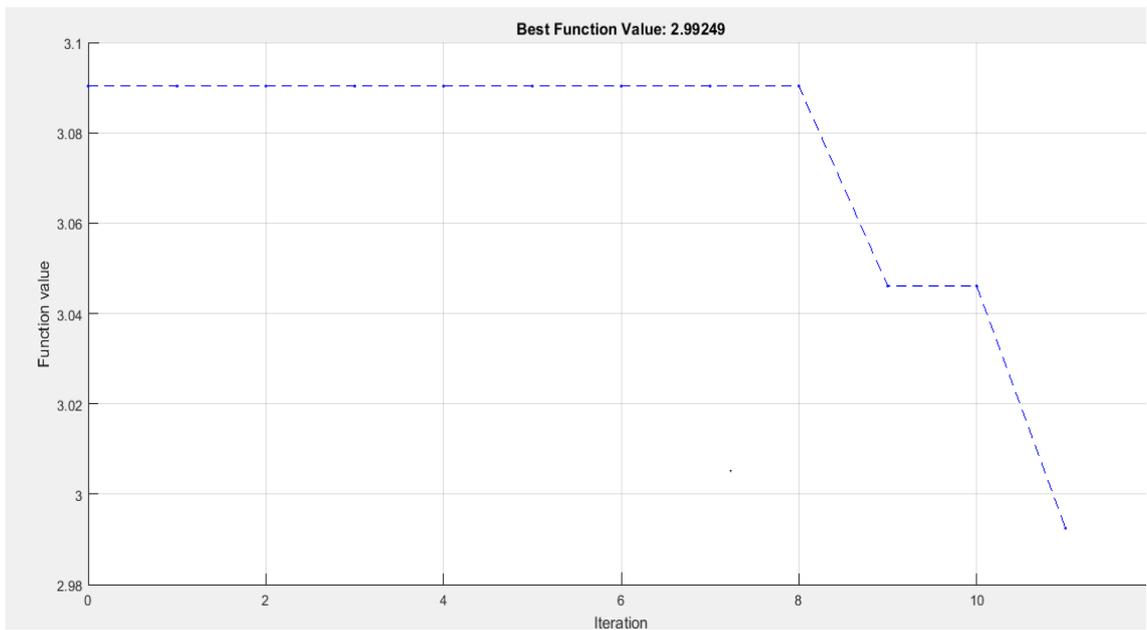


Figure 31 itération

3.1.4 Emplacement optimale

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

```

%% optimise la position des nœuds de repos rescf pour couvrir le trou
nvars = 2*(N);
fun=@(x) objf(x,Trange,area);
lb=zeros(nvars,1);
ub=area(1).*ones(nvars,1);
options = optimoptions(@particleswarm,'Display','iter','MaxIterations',100,'PlotFcn','pswplotbestf');
[x,fval] = particleswarm(fun,nvars,lb,ub,options);
finalPos = reshape(x,[numel(x)/2,2]);
% tracer la position finale du nœud réglé
figure
plot(finalPos(:,1),finalPos(:,2),'o','color','b');
hold on
for i=1:N
    % tracer la plage de transmission circulaire
    [finalcircle.x(i,:),finalcircle.y(i,:)] = circle(finalPos(i,1),finalPos(i,2),Trange);
    fill(finalcircle.x(i,:),finalcircle.y(i,:),[0.25,0.25,0.25]);
    alpha 0.3
    hold on
end
axis on
xlabel('x(m)')
ylabel('y(m)')
title('Emplacement optimisé des nœuds avec plage d eclirage circulaire');

```

mmand Window script

Figure 32 fonction d'optimisation

A la fin toute la zone est couverte comme est indiqué à la figure 30

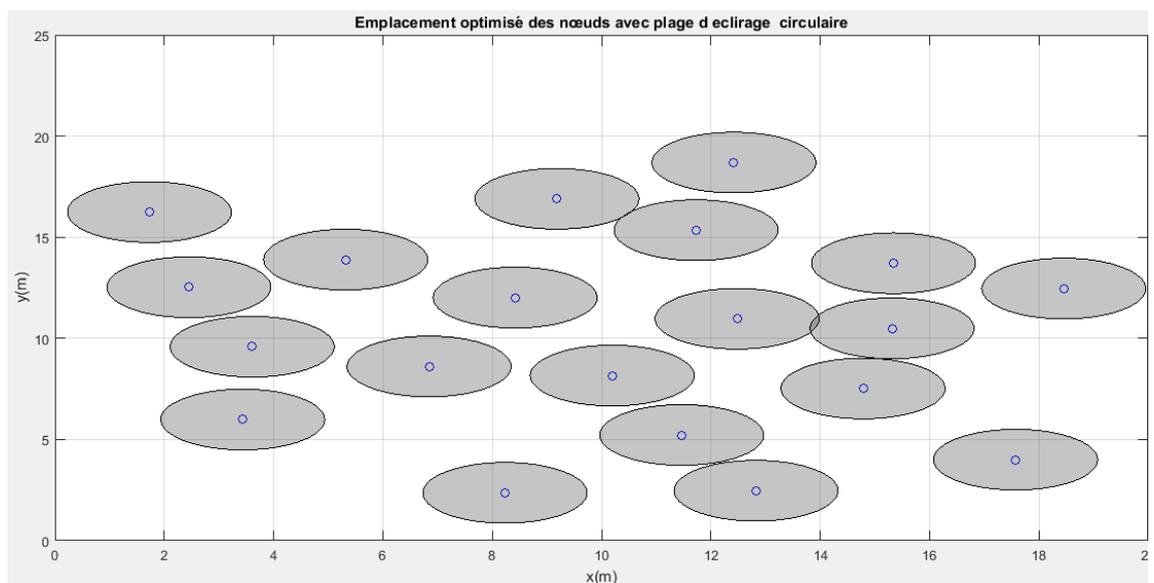


Figure 33 emplacement optimale des nœuds

3.1.5 Application AutoCAD

Dans la figure suivante nous avons appliqué opération d'optimisation et AutoCAD ou on a remplacé les nœuds par des poteaux électrique

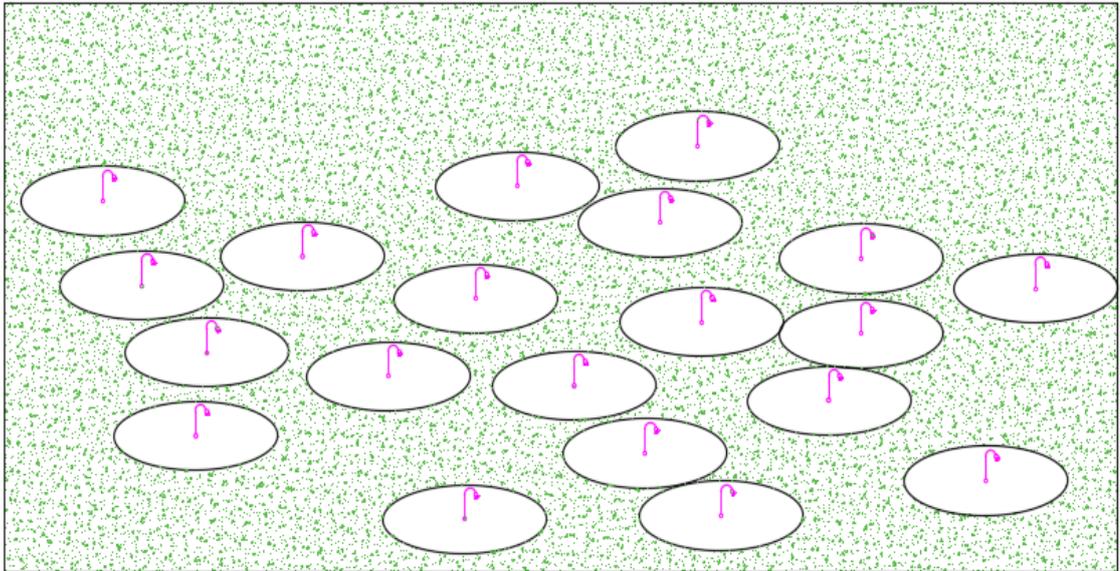


Figure 34 carte AutoCAD du 1er cas

3.2 2eme cas

3.2.1 Les paramètre de 2eme cas

Nombre des nœuds	20
La zone déploiement des nœuds	[20,20]
La plage éclairage du nœuds	1.5
La longueur faisceau lumineux	2

Tableau 2 paramètre de 2eme cas

```

1 - close all
2 - clear
3 - clc
4 - addpath(genpath(cd))
5 - warning('off')
6 - N=input('donner le nombre des noeud\n');
7 - area=input('donner la zone deploiement des noeud\n');
8 - nodes.pos=area(1).*rand(N,2);

```

Command Window

```

donner le nombre des noeud
20
donner la zone deploiement des noeud
[20 20]
donner la plage éclairage du noeud
1.5
donner la longueur faisceau lumineux
2
** Nombre de trous détectés pour circulaire = 14

```

Iteration	f-count	Best f(x)	Mean f(x)	Stall Iterations
0	100	3.07	3.497	0
1	200	3.07	7.083	0
2	300	3.07	4.207	1
3	400	3.07	4.974	2
4	500	3.07	4.328	3

Figure 35 paramètre de 2eme cas

3.2.2 Emplacement initiale des nœuds de capteur

Après avoir utilisé les paramètres du deuxième cas. Les nœuds seront positionnés de manière aléatoire dans la zone .

Le résultat est présenté dans la figure ci-dessous

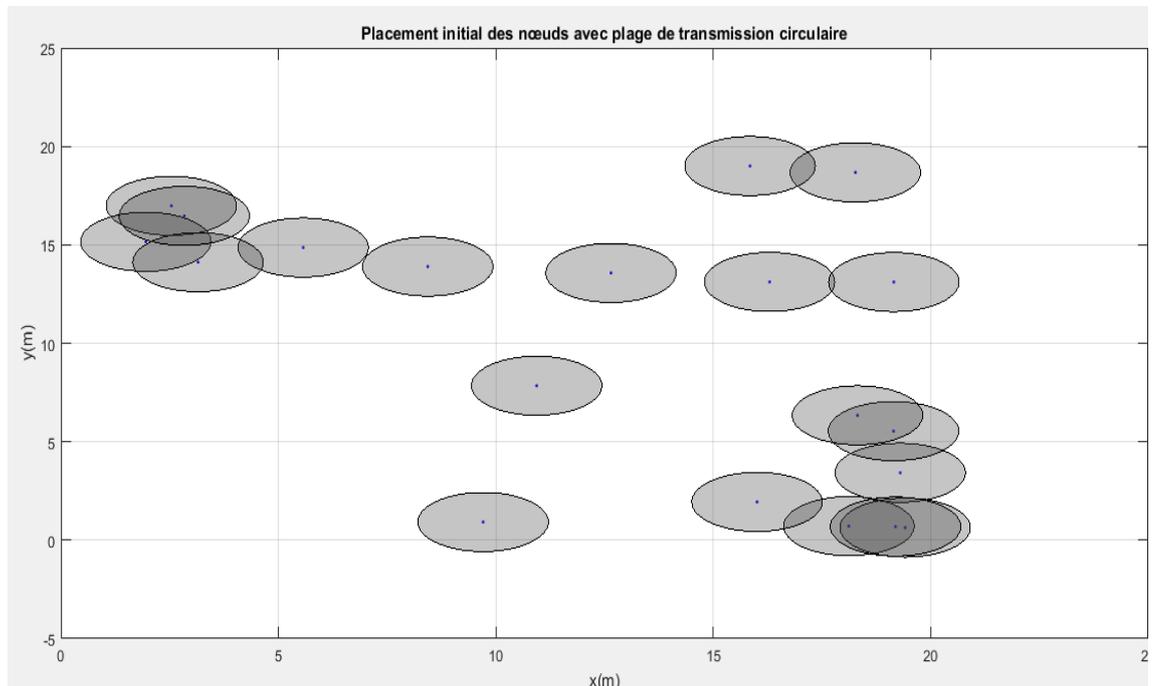


Figure 36 placement initiale des nœuds

3.2.3 Tracer le triangle de Delaunay et la détection de trous

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

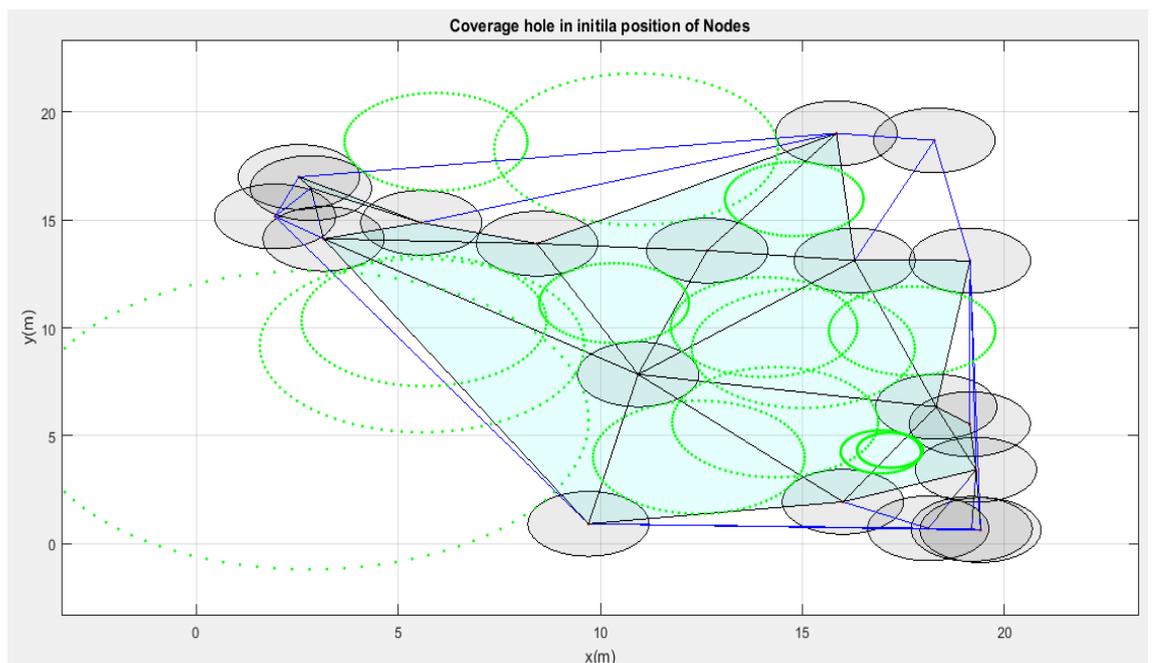


Figure 37 triangle de Delaunay et la détection de trous

Après avoir défini les zones non couvertes, notre programme entame l'opération d'itération pour bien positionner les nœuds comme il est présenté dans la figure suivante.

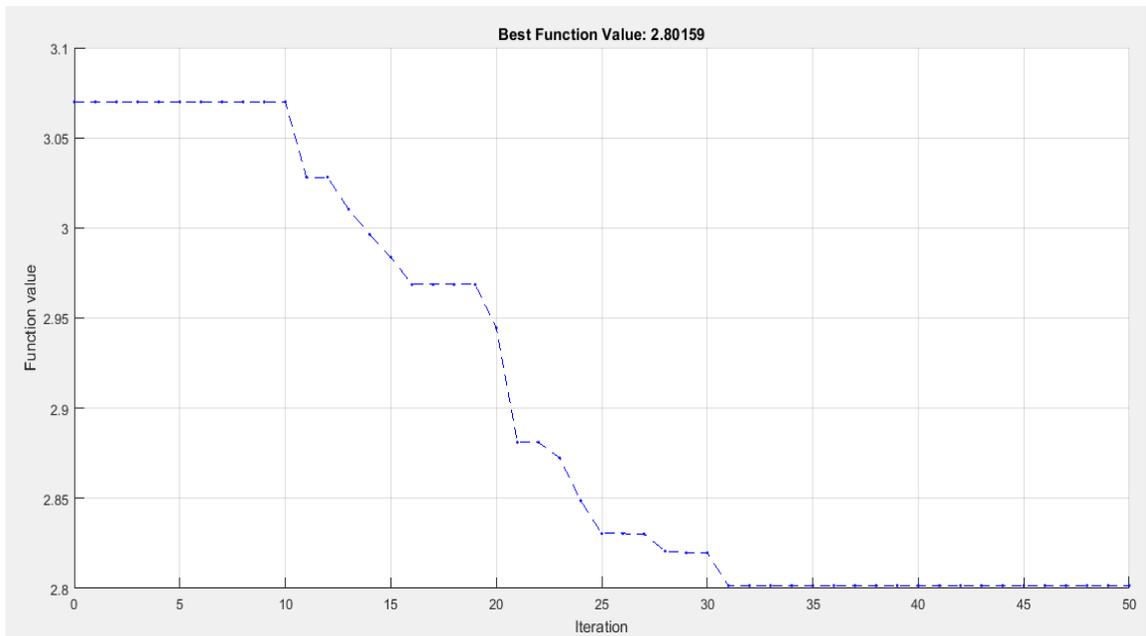


Figure 38 itération du 2eme cas

3.2.4 Emplacement optimale

Notre programme optimise la position des nœuds pour couvrir les trous .a la fin toute la zone est couverte comme est indiqué à la figure 36

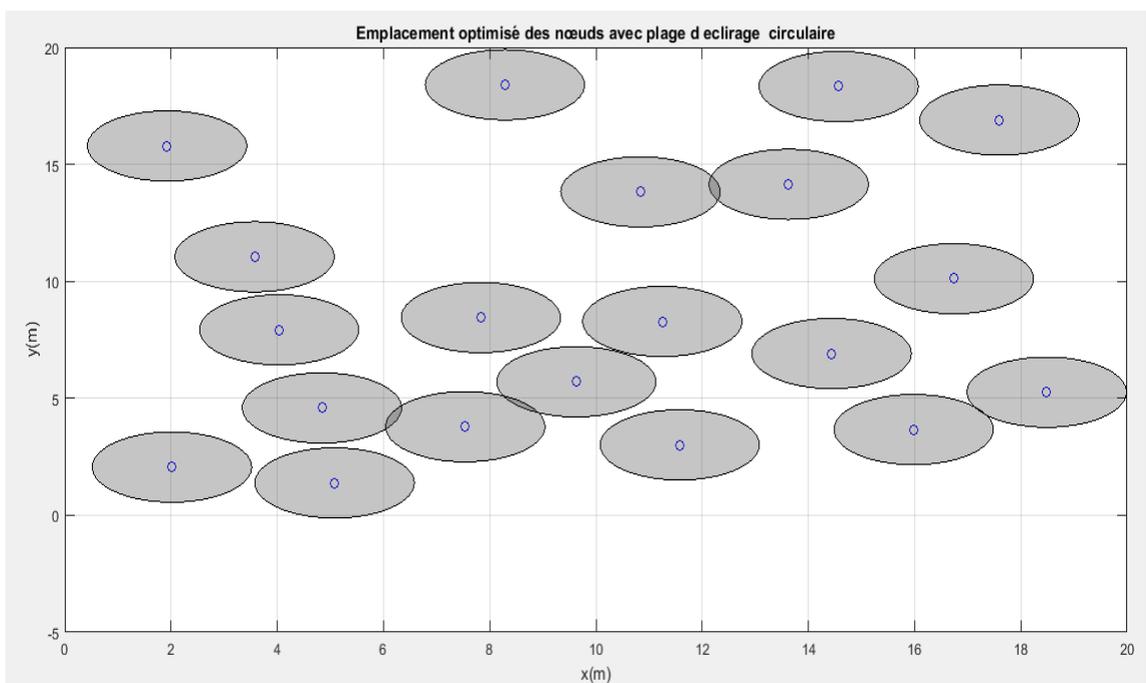


Figure 39 emplacement optimale des nœuds

3.2.5 Application AutoCAD

Dans la figure suivante on a appliqué cette opération on AutoCAD ou on a remplacé les nœuds par des poteaux électrique

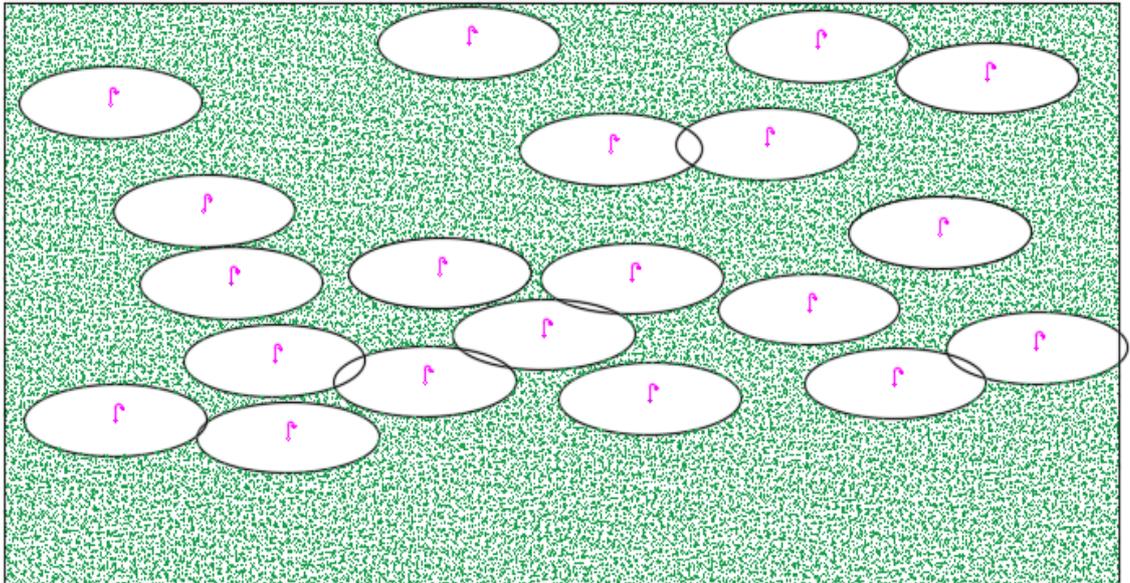


Figure 40 carte AutoCAD du 2eme cas

3.3 3eme cas

3.3.1 Les paramètre de 2eme cas

Nombre des nœuds	20
La zone déploiement des nœuds	[20,20]
La plage éclairage du nœuds	1.5
La longueur faisceau lumineux	3

Tableau 3 paramètre de 3eme cas

```
1 - close all
2 - clear
3 - clc
4 - addpath(genpath(cd))
5 - warning('off')
6 - N=input('donner le nombre des noeud\n');
7 - area=input('donner la zone deplacement des noeud\n');
8 - nodes.pos=area(1).*rand(N,2);
```

Command Window

```
donner le nombre des noeud
20
donner la zone deplacement des noeud
[20,20]
donner la plage éclairage du noeud
1.5
donner la longueur faisceau lumineux
3
** Nombre de trous détectés pour circulaire = 17
```

Figure 41 paramètre de 3eme cas

3.3.2 Emplacement initiale des nœuds de capteur

Après avoir utilisé les paramètres du deuxième cas. Les nœuds seront positionnés de manière aléatoire dans la zone .

Le résultat est présenté dans la figure ci-dessous

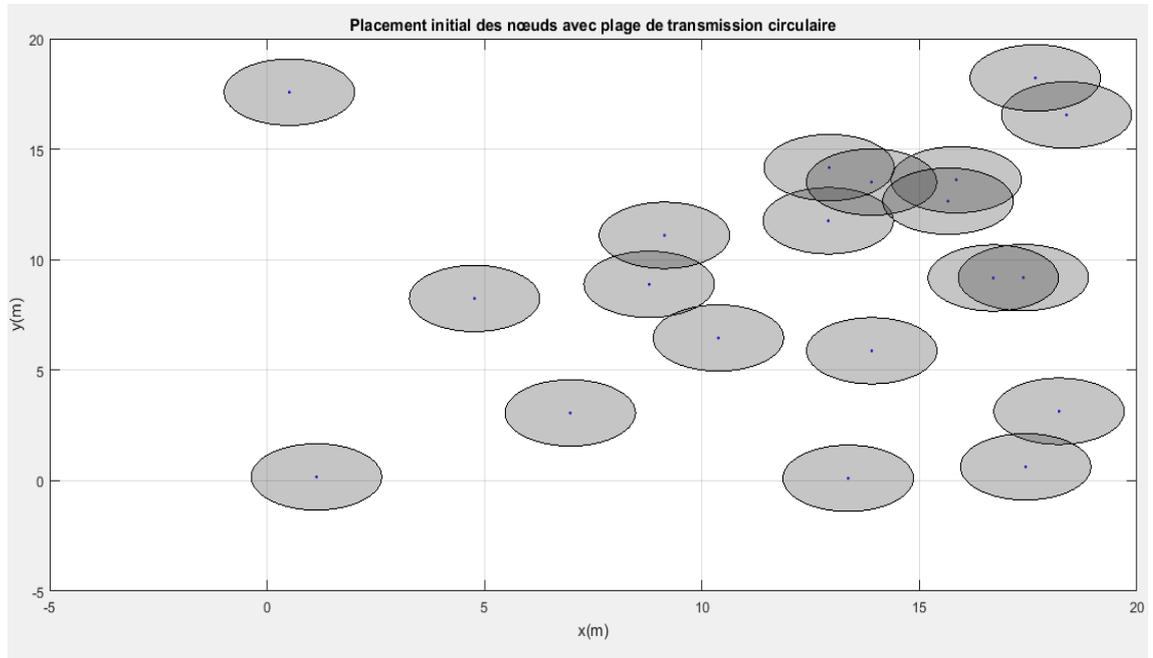


Figure 42 placement initiale des nœuds

3.3.3 Tracer le triangle de Delaunay et la détection de trous

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

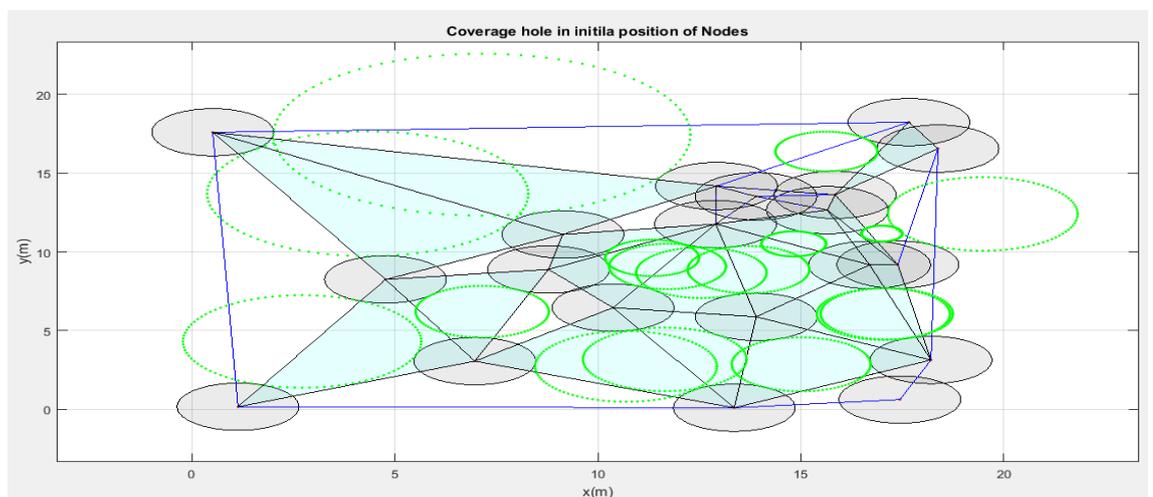


Figure 43 triangle de Delaunay et la détection de trous

Après avoir défini les zones non couvertes, notre programme entame l'opération d'itération pour bien positionner les nœuds comme il est présenté dans la figure suivante.

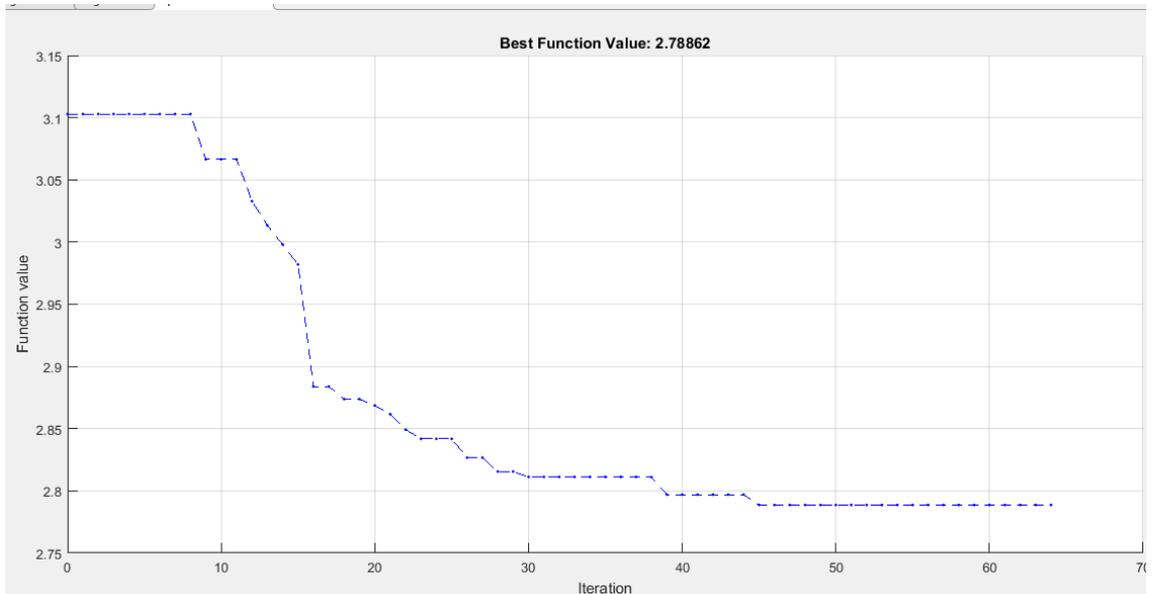


Figure 44 itération du 2eme cas

3.3.4 Emplacement optimale

Notre programme optimise la position des nœuds pour couvrir les trous .a la fin toute la zone est couverte comme est indiqué à la figure 45

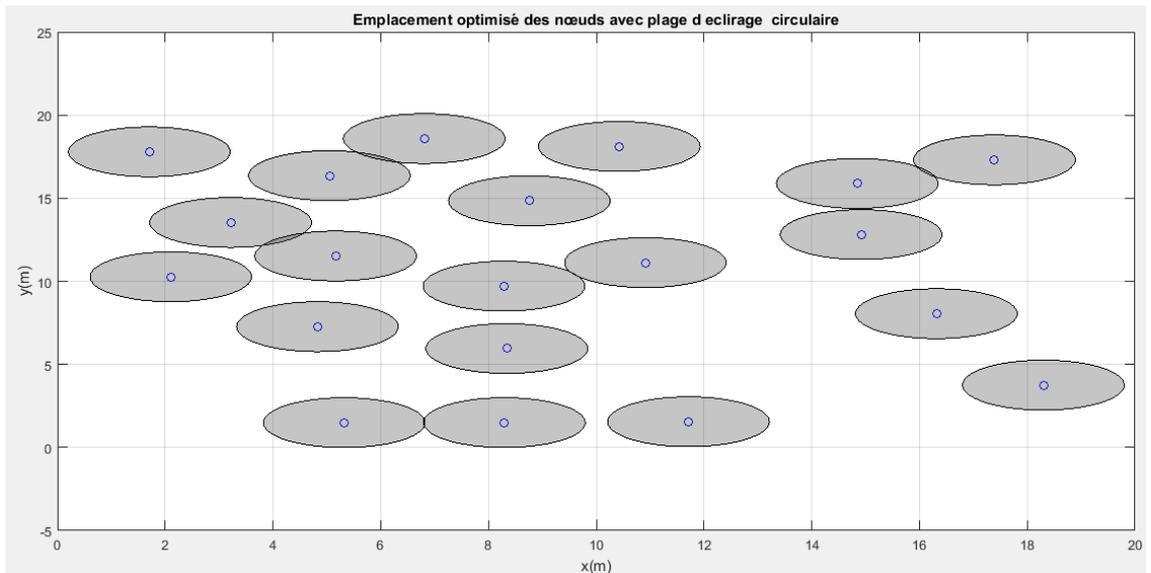


Figure 45 emplacement optimale des nœuds

3.3.5 Application AutoCAD

Dans la figure suivante on a appliqué cette opération on AutoCAD ou on a remplacé les nœuds par des poteaux électrique

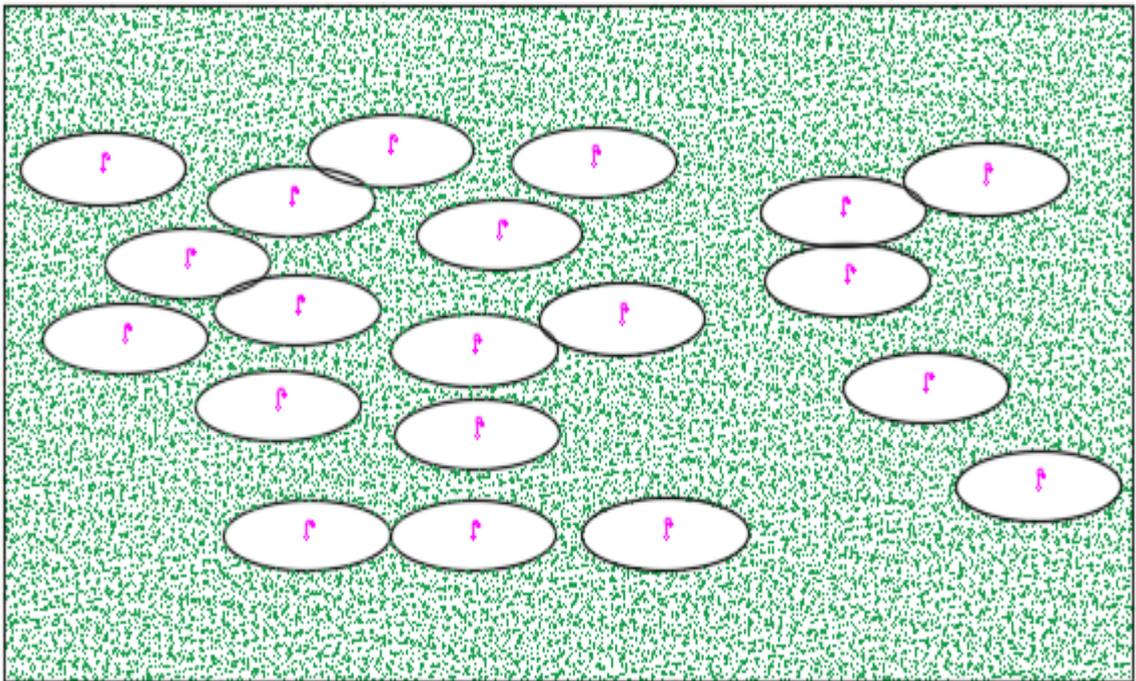


Figure 46 carte AutoCAD du 3eme cas

4. Statistique

✓ Selon le nombre des itérations

Longueur du faisceau lumineux	1	2	3
Nombre d'itération	50	64	70

Tableau 4 tableau comparatif Selon le nombre des itérations

Nous comparons le travail de notre proposition dans les 3 cas. Au cours des trois cas, nous avons utilisé le même nombre de nœuds avec une différence dans la longueur du faisceau lumineux pour les lampes utilisées, où On note que plus le faisceau lumineux est long, plus le nombre d'itérations sera important afin de trouver une position convenable pour que le nœud recouvre les trous plus grand
Cette comparaison est illustrée par L'histogramme représentée sur la figure 47

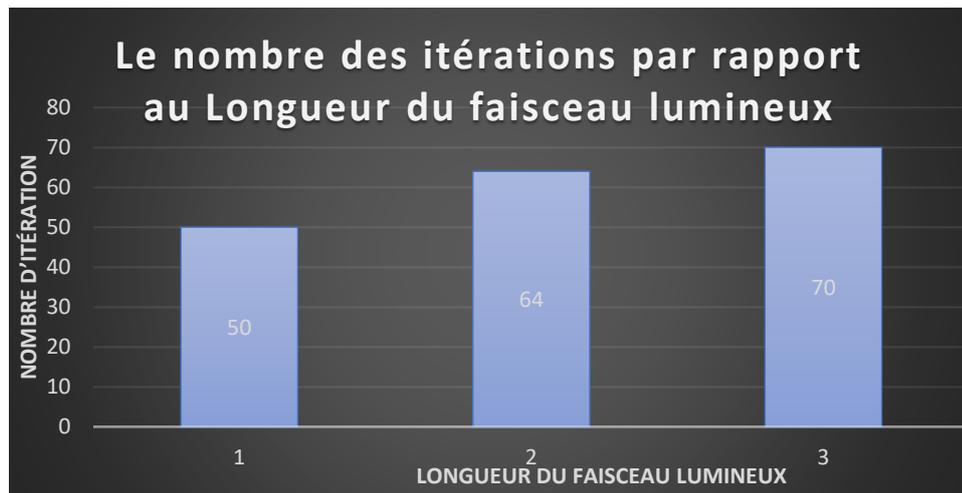


Figure 47 le nombre des itération par rapport au Longueur du faisceau lumineux

✓ Selon le coût

Supposons que le prix de la lampe varie avec la longueur du faisceau lumineux où

1= 100 DA

2= 150 DA

3= 200 DA

Longueur du faisceau lumineux	1	2	3
cout	2000	3000	4000

Tableau 5 tableau comparatif Selon le coût

On constate que plus la longueur du faisceau lumineux de la lampe qui a été utilisée augmente le cout , donc le cout change selon le type de lampe utilisé, et c'est ce qu'explique le document suivant

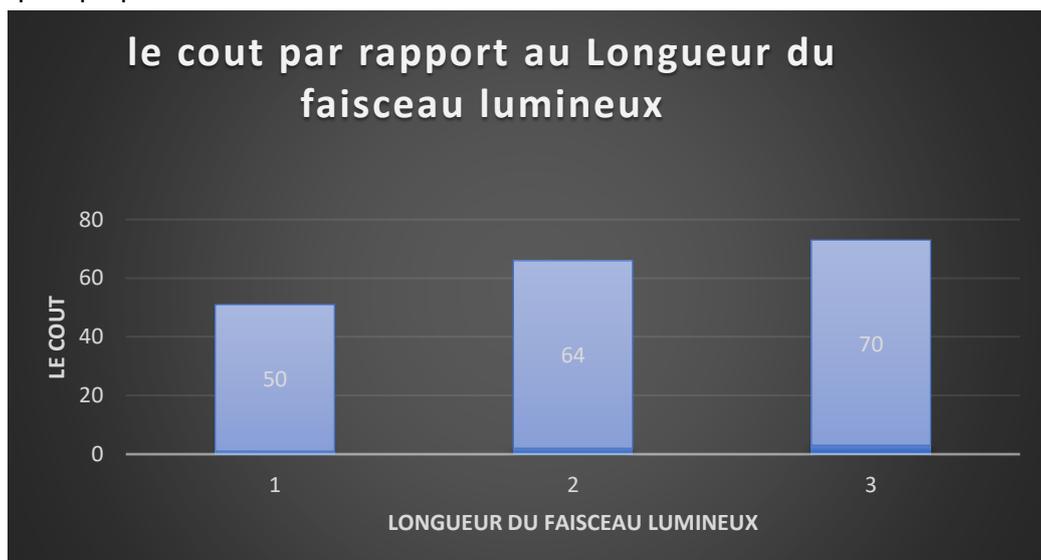


Figure 48 le coût par rapport au Longueur du faisceau lumineux

5. Comparaison

	Déploiement Des Nœuds		Couverture		Base Sur	Résultat
	Aléatoire	Déterministe	Optimale	Relatif		
OECCH Algorithme		✓	✓			prolonger la durée de vie du réseau tout en réduisant considérablement la surcharge de calcul du RCSF.
OSCC Algorithme	✓		✓		géométrique et les théories connexes, la théorie des probabilités,	Moins de nœuds de capteurs peuvent être utilisés pour couvrir efficacement la zone cible et réduire considérablement la consommation d'énergie du réseau
ECAPM Algorithme		✓	✓		Modèle de probabilité	couvre efficacement la zone surveillée avec moins de nœuds de découverte et améliore la qualité de la couverture
PSO Algorithme	✓		✓		technique d'optimisation stochastique basée sur la population	garantit le déploiement optimale du contrat à condition de donner un certain paramètre
Notre Contribution	✓		✓		PSO algorithme + triangulation	Détecter les trous de couverture et optimiser le déploiement des nœuds afin de couvrir ces trous

Tableau 6 tableau comparative

Conclusion

Dans ce chapitre, nous présentons l'enquête de simulation proposée, ainsi que l'algorithme utilisé pour couvrir les trous qui se produisent lorsque les nœuds sont déployés aléatoirement, en plus de la mise en œuvre de ces résultats afin d'améliorer la mauvaise couverture de l'éclairage. Les résultats obtenus ont été satisfaisants.

Conclusion générale et perspective

Ces dernières années, les avancées technologiques en termes de miniaturisation des capteurs sans fil, des systèmes embarqués et des supports de communication ont permis de déployer et d'exploiter des milliers ou des millions de capteurs, organisés en réseaux de capteurs, et ont été identifiés comme l'un des premiers dix technologies clés du futur, en raison de l'incroyable potentiel d'application qu'elles contiennent.

Les applications des réseaux de capteurs sans fil sont nombreuses. Ils comprennent différents domaines : agricole, militaire, ... Pour que ces réseaux puissent mener à bien leurs missions, ils doivent garantir un certain niveau de sécurité qui varie selon l'application généralisée.

Le principal problème des réseaux de capteur sans fil est que la couverture peut être largement définie comme une mesure de l'efficacité avec laquelle un champ de réseau est surveillé par ses nœuds de réseau. nous proposons une simulation basée sur l'algorithme PSO et la triangulation pour d'abord détecter les trous de couverture obtenus en déploiement aléatoirement les nœuds de capture et amélioré sa positions pour couvrir ces derniers.

Ce travail ne s'arrête pas à ce niveau, il peut se poursuivre par d'autres réflexions. Parmi ces considérations, où cette étude peut être appliquée pour vérifier la couverture des caméras de surveillance, montrant les zones qui ne peuvent pas être surveillées, et les résultats de simulation peuvent être menés dans un autre programme tel que NS2

- [1] FARES Abdelfatah, Développement d'une bibliothèque de capteurs,2008.
- [2] Bendjeddou Amira, cours module RCSFs chapitre 1, Université Annaba 2019-2020.
- [3] Melle KAZI TANI Chahrazad,Melle BENHADDOUCHE Wiam, « Implémentation et test d'un protocole de prévention de l'attaque Clone dans un réseau de capteurs sans fil», Université Abou Bekr Belkaid- Tlemcen, 2014
- [4] Mlle . BOUABDALLAH Imane Karima Mlle . BOUDERBANE Yasmina,« Étude de la norme 802.11v dans les réseaux WLAN mobile sous l'environnement de simulation NS-3 », Université Abou Bekr Belkaid- Tlemcen,2015
- [5] Y. Sankarasubramaniam I-F. Akyildiz, W. Su and E. Cayirci. "A Survey on Sensor Networks". IEEE Communications Magazine, Vol.40, pp.102-114, 2002.
- [6] Boukerche, X. Fei and R.B. Araujo, « An optimal coverage-preserving scheme for Wireless sensor networks Based on local information exchange », Journal of Computer Communications (Elsevier), pp. 2708-2720, Octobre 2007.
- [7] [https://moodle.utc.fr/file.php/498/SupportWeb/co/Module RCSF 33.html](https://moodle.utc.fr/file.php/498/SupportWeb/co/Module_RCSF_33.html) consulter le 9 avril 2021
- [8] https__wordview.officeapps.live.com_wv_WordViewer_request.pdf
- [9] Said Harchi, Un protocole de session dans les réseaux de capteurs sans fils, UNIVERSITE DE LORRAINE,2018
- [10] YACINE CHALLAL, Réseaux de Capteurs Sans Fils,2016
- [11] Melle KAZI TANI Chahrazad,Melle BENHADDOUCHE Wiam, « Implémentation et test d'un protocole de prévention de l'attaque Clone dans un réseau de capteurs sans fil», Université Abou Bekr Belkaid- Tlemcen, 2014
- [12] OUSSAMA DRISSI, IMPLÉMENTATION D'UNE STRATÉGIE DE ROUTAGE MULTI-NIVEAU DE DONNÉES D'UN RÉSEAU DE CAPTEURS SANS FIL DANS LE DOMAINE FERROVIAIRE, L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES,2014.
- [13] <https://www.electronicshub.org/wireless-sensor-networks-wsn> consulter le 05/05/2021
- [14] Le Clustering basé sur la Classification Spectrale pour l'Optimisation d'Energie dans les Réseaux de Capteurs Sans Fil Homogènes, université Mohammed v rabat,2015.
- [15] Sarra MESSAI, Gestion de la Mobilité dans les Réseaux de Capteurs Sans Fil, Thèse de Doctorat En Informatique l'Université Ferhat Abbas Sétif 1 et l'Université Claude Bernard Lyon 1, 24/11/2019.

- [16] Le Clustering basé sur la Classification Spectrale pour l'Optimisation d'Energie dans les Réseaux de Capteurs Sans Fil Homogènes, université Mohammed v rabat,2015.
- [17] B. Wang, "Coverage Control in Sensor Networks", Springer Edition, ISBN 978-1-84996058-8, February 2010.
- [18] Mohamed BENAZZOUZ, Surveillance de tout point d'une zone d'intérêt à l'aide d'un réseau de capteur multimédia sans fil, Ecole nationale supérieure d'informatique Oued- Smar Alger Algérie - magistère IRM 2013.
- [19] Mohamed Hamdi, Noureddine Boudriga, and Mohammad S. Obaidat. Whomoves : An optimized broadband sensor network for military vehicle tracking. Int. J. Communication Systems, 21(3) :277–300, 2008.
- [20] Mnasri Sami ,Nasri Nejah,Thierry Val, The deployment in the Wireless Sensor Networks: Methodologies, Recent Works and Applications,2017
- [21] Itu Snigdha , Nisha Gupta,Performance Analysis of Quasi-Random Deployment Strategy in Sensor Networks, ISSN : 0975-4024,Vol 7 No 1 Feb-Mar 2015
- [22] btihal Alablani and Mohammed Alenazi , EDTD-SC: An IoT Sensor Deployment Strategy for Smart Cities,2021
- [23] <https://www.sop.inria.fr/prisme/fiches/Voronoi/index.html.fr> consulter le 26/05/2021
- [24] Habib M. Ammar, Wireless Sensor and Mobile Ad-hoc Networks (WiSeMAN) Research Lab Department of Computer Science, Hofstra University,2009
- [25] <http://villemin.gerard.free.fr/Geometri/Voronoi.htm> consulter le 26/05/2020
- [26] <https://ichi.pro/fr/triangulation-de-delaunay-37978362731949> consulter le 30/05/2021
- [27] <https://ichi.pro/fr/triangulation-de-delaunay-37978362731949> consulter le 30/05/2021
- [28] ABHISHEK TRIPATHI 1,2, HARI PRABHAT GUPTA 1, TANIMA DUTTA,RAHUL MISHRA 1, K. K. SHUKLA 1, AND S. JIT 2, (Senior Member, IEEE), Coverage and Connectivity in WSNs: A Survey,Research Issues and Challenges,2018
- [29] Diéry NGOM, Optimisation de la durée de vie dans les réseaux de capteurs sans fil sous contraintes de couverture et de connectivité, Thèse de Doctorat,2016
- [30] Mohammed farsi, Mostafa a. elhosseini1, mahmoud badawy, hesham arafat ali , and hanaa zain eldin , Deployment Techniques in Wireless Sensor Networks, Coverage and Connectivity: A Survey,2019
- [31] J. Amutha, Sandeep Sharma & Jaiprakash Nagar, WSN Strategies Based on Sensors, Deployment, Sensing Models, Coverage and Energy Efficiency: Review, Approaches and Open Issues,2019
- [32] Atiq Ur Rahman a , Abdulrahman Alharby a , Halabi Hasbullah b , Khalid Almuzaini, Corona based deployment strategies in wireless sensor network: A survey,2015

- [33] danyang qin , jingya ma1 , yan zhang , pan feng1 , ping ji1 , and teklu merhawit berhane, Study on Connected Target Coverage Algorithm for Wireless Sensor Network,2018
- [34] Zeyu Sun,Weiguo Wu, Huanzhao Wang, Heng Chen,andWei Wei, An Optimized Strategy Coverage Control Algorithm for WSN, International Journal of Distributed Sensor Networks
- [35] Sun Zeyu, Wang Huanzhao, Wu Weiguo, and Xing Xiaofei, ECAPM: An Enhanced Coverage Algorithm in Wireless Sensor Network Based on Probability Model, International Journal of Distributed Sensor Networks,2015
- [36] C. Vimalarani, R. Subramanian, and S. N. Sivanandam, an Enhanced PSO-Based Clustering Energy Optimization Algorithm for Wireless Sensor Network, The Scientific World Journal ,2016.
- [37] Zhao, Wei & Fan, Zihao Network Coverage Optimization Strategy in Wireless Sensor Networks Based on Particle Swarm Optimization,2011
- [38] Jin Wang Yu Gao 2, Wei Liu , Arun Kumar Sangaiah and Hye-Jin Kim An Improved Routing Schema with Special Clustering Using PSO Algorithm for Heterogeneous Wireless Sensor Network
- [39] [https://whatis.techtarget.com/fr/definition/MATLAB_consulter_le_30/05/2021]
- [40] Chetouh karima et baddou saliha, Application de l'essaim de poulet pour la localisation dans les RCSFs.pdf, memoire fin d'étude Master en informatique Option: Système intelligents,2019
- [41] Fleury, P. Lacomme, A.Tanguy. "Simulation à événements discrets, chapitre 1 ", page pp. 6. 2006.
- [42] [<https://www.autodesk.fr/products/autocad/overview?term=1-YEAR> consulter le 30/05/202
- [43] [<https://www.bonbache.fr/presentation-des-graphiques-dans-excel-146.html> consulter le 16/06/2021