



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

UNIVERSITE IBN KHALDOUN - TIARET

MEMOIRE

Présenté à :

FACULTÉ MATHÉMATIQUES ET INFORMATIQUE
DÉPARTEMENT D'INFORMATIQUE

Pour l'obtention du diplôme de :

MASTER

Spécialité : Réseau et Télécommunications

Par :

- KHELIFI Mohamed
- GUENDOZ Lakhdar

Sur le thème

Un algorithme génétique pour la couverture des cibles dans les réseaux de Capteurs sans fil

Soutenu publiquement le.. /.. / 20xx à Tiaret devant le jury composé de :

Mr BOUALEM Adda

Grade Université M.A.A

Président

Mr BENGHENI Abdelmalek

Grade Université M.C.B

Encadreur

Mr BAKKAR Khaled

Grade Université M.A.A

Examineur

Année universitaire 2019 – 2020

Remerciements

Nous remercions avant tout ALLAH le tout-puissant qui nous a donné la force, la volonté et la patience pour achever ce modeste travail.

Nous remercions Dr. BENGHENI Abdelmalek notre encadreur d'avoir bien dirigé ce travail, avec ses judicieux conseils dont il a fait preuve durant l'élaboration de notre étude.

Je souhaite remercier toutes les personnes qui m'ont aidé d'une façon directe ou indirecte à la réalisation de ce mémoire. Nos remerciements aux membres du jury, d'avoir accepté de juger notre travail.

Dédicaces

Je dédie ce travail ;

À mes parents qui m'ont toujours offert le bonheur. Je le dédie à mes sœurs, mes frères, aux petits enfants de la famille, et à ma grande famille,

À tous mes amis et mes collègues.

À la promotion 2019/2020 d'informatique.

Enfin, à toutes celles et tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'accomplissement de ce travail.

Tables des matières

Liste des figures

Liste des abréviations

Résumé

Introduction Générale.....1

Chapitre I : Les Réseaux de capteurs sans fil

- I.1- Introduction.....3
- I.2- Définition d'un réseau de capteurs sans fil.....3
- I.3- Architecture d'un nœud capteur.....3
- I.4-Caractéristiques des réseaux de capteurs.....4
 - I.4.1- ARCHITECTURE D'UN RESEAU DE CAPTEURS4
 - I.4.2- QUELQUES DIFFERENTS FACTEURS DE CONCEPTION..... 5
 - I.4.3-ARCHITECTURE PROTOCOLAIRE.....7
- I.5-Applications des réseaux de capteurs sans fil8
 - I.5.1-APPLICATIONS MILITAIRES.....8
 - I.5.2-APPLICATIONS ORIENTEES EVENEMENTS8
 - I.5.3-APPLICATIONS ORIENTEES REQUETES8
 - I.5.4-APPLICATIONS HYBRIDES9
- I.6-Accès medium dans les réseaux de capteurs sans fil9
 - I.6.1-LA RETRANSMISSION9
 - I.6.2-L'ECOUTE ACTIVE9
 - I.6.3-LA SURÉCOUTE10
 - I.6.4-LA SURCHARGE10
 - I.6.5- LA SUREMISSION10
 - I.6.6-LA TAILLE DES PAQUETS10
- I.7- Modèle de calcul d'énergie.....10
- I.8- La Couverture.....12
- I.9- La Connectivité.....12
- I.10- Conclusion14

Chapitre II : La couverture dans les réseaux de capteurs sans fil

- II.1-Introduction.....15
- II.2-La notion de la couverture.....15
 - II.2.1- LA DEFINITION DE LA COUVERTURE.....15
 - II.2.2- LE BUT DE LA COUVERTURE.....16
- II.3-Les différents types de couverture.....16

II.3.1- LA COUVERTURE DE CIBLES.....	16
II.3.2-LA COUVERTURE DE ZONES.....	17
II.3.3-LA COUVERTURE DE BARRIERE.....	17
II.4-La problématique de la couverture.....	17
II.5-Les paramètre de la couverture dans les RCSF.....	18
II.6-Les critères attachés à la couverture dans les RCSF.....	18
II.7-Les protocoles de la couverture de surfaces.....	20
II.7.1- LE PROTOCOLE PEAS.....	20
II.7.2-LE PROTOCOLE Gallais.....	20
II.7.3-LE PROTOCOLE DCovPDS.....	21
II.7.4- LE PROTOCOLE CCSID.....	21
II.7.5- LE PROTOCOLE PECAS.....	21
II.7.6- LE PROTOCOLE ACOS.....	22
II.4-CONCLUSION.....	22

Chapitre III : Les Algorithmes Génétiques

III.1-Introduction	23
III.2-Définition d'une heuristique	23
III.3-Introduction de méta-heuristique.....	23
III.4-Les métaheuristiques pour l'optimisation difficile	24
III.4.1-OPTIMISATION « DIFFICILE ».....	24
III.4.2- ALGORITHME D'OPTIMISATION APPROCHÉE	24
III.5-Les Algorithmes génétiques (AG)	25
III.5.1-INTRODUCTION	25
III.5.2- LES OUTILS EVOLUTIONNAIRES DE BASE D'UN (AG)	26
III.5.3- OPTIMISATION PAR LES ALGORITHMES GÉNÉTIQUES.....	26
III.5.4- MECANISMES DE FONCTIONNEMENT D'UN (AG)	27
III.6-Quelques travaux existants "les AGs pour la couverture des RCSF"	34
III.6.1- Coverage and connectivity aware energy efficient scheduling in target based wireless sensor networks: an improved genetic algorithm based.....	34
III.6.2- Sensor Technology : Un Clustering centralisé et dynamique basé sur les AGs pour une consommation d'énergie minimale dans les réseaux de capteurs sans fil :	35
III.6.3- Minimisation de la consommation d'énergie des réseaux de capteurs dans les applications de couverture de cibles :.....	35
III.6.4- Optimisation de la durée de vie dans les réseaux de capteurs sans fil sous contraintes de couverture et de connectivité réseau :.....	36
III.7-Conclusion.....	36

Chapitre IV : Implémentation

IV.1-Introduction37

 IV.2-L'environnement de simulation37

 IV.2.1- DEFINITION DE MATLAB37

 IV.2.2- LES PERTICULARITES DU MATLAB37

IV.3-L'implémentation.....38

 IV.3.1- LES PARAMETRES DE L'ALGORITHME GENETIQUE UTILISES40

 IV.3.2- LES PARAMETRES DU RCSF UTILISES40

 IV.3.3- FONCTIONNEMENT DE SIMUALTEUR REALISE40

 IV.3.4- LA DESCRIPTION DU SIMULATEUR REALISE41

IV.4-Les différentes expérimentations réalisées.....43

IV.5-L'analyse des résultats trouvés46

IV.6-Conclusion47

Conclusion générale.....48

Bibliographie

Liste des figures

Figure I-1: Architecture d'un nœud capteur.....	3
Figure I-2: Architecture d'un réseau de capteurs.....	5
Figure I-3 : La pile protocolaire d'un réseau de capteurs.....	7
Figure I-4: La sur écoute dans une transmission.....	10
Figure I-5: Modèle d'énergie.....	11
Figure I-6 : Les deux zones de couverture d'un capteur.....	12
Figure II .1 : Couverture de cibles.....	16
Figure II .2 : Couverture d'une zone.....	17
Figure II .3 : La couverture de barrière.....	17
Figure III- 1 : Organigramme général d'un algorithme génétique.....	27
Figure III- 2 : la table d'individu.....	29
Figure III- 3 : Croisement à un site.....	32
Figure III- 4 : Croisement à k sites.....	32
Figure III- 5 : Mutation dans un chromosome.....	33
Figure IV.1 : Fonctionnement du simulateur réalisé.....	41
Figure IV.2 : Interface principale.....	42
Figure IV.3 : le déploiement des nœuds de capteurs se forme aléatoire.....	43
Figure IV.4 : la liste des nœuds voisins.....	44
Figure IV.5 : La première expérimentation avec 60 nœuds de capteur et 20 cibles déployés	45
Figure IV.6 : La première expérimentation avec 80 nœuds de capteur et 20 cibles déployés.....	46
Figure IV.7 : La première expérimentation avec 100 nœuds de capteur et 20 cibles déployés.....	47

Liste des figures

Figure IV.8 :les différentes valeurs d'énergie obtenues dans les différents RCSF simulés.....	47
Tableaux IV.1 : Paramètre du RCSF.....	41

LISTE DES ABREVIATIONS

WSN	: Wireless Sensor Network.
AD HOC	: Advanced Developers Hands-On Conference.
GPS	: Global Positioning System.
MAC	: Media Access Control.
RCSF	: Réseau de Capteurs Sans Fil.
DARPA	: Defence Advanced Research Projects Agency.
SR	: Rayon de Transmission.
CR	: Rayon de Capture.
QOS	: Quality Of Service.
PEAS	: Probing Environment And Adaptive Sleeping.
DCovPDS	: Distributed Coverage Preserving based on Dominating Set.
EDM	: Ensemble Dominant Minimal.
CCSID	: Connected Cover Set based on Identité of node.
EDCM	: Ensemble Dominant Connecté Minimal.
PECAS	: Probing Environment and Collaborating Adaptive Sleeping.
ACOS	: Area-based Collaborative Sleeping.
GA	: Génétique Algorithme.

ملخص

تعتبر مشكلة التغطية من المشاكل الأساسية لشبكات الاستشعار اللاسلكية (RCSF) لما لها من تأثير مباشر على استهلاك الطاقة لأجهزة الاستشعار وعمر الشبكة. يمكن أن تشير مشكلة التغطية عادة إلى كيفية مراقبة مجال الشبكة بشكل فعال. هناك عدة طرق لتصنيف مشكلات التغطية في شبكات RCSF. يمكن تصنيف قضايا التغطية المستمرة بشكل أكبر، اعتمادًا على منطقة الاهتمام بالمراقبة، إلى ثلاثة أنواع: تغطية المنطقة، وتغطية النقطة، وتغطية الحاجز. علاوة على ذلك، يمكن تصنيف قضايا التغطية، اعتمادًا على درجة التغطية المطلوبة، إلى قضايا تغطية 1 أو تغطية k لذلك، فإن الهدف من هذه المذكرة هو استخدام خوارزمية جينية لتحسين تغطية الأهداف (مشكلة التغطية 1) في RCSF مع مراعاة القيود المختلفة لـ RCSF مثل: الاتصال وعمر RCSF

الكلمات المفتاحية: شبكة الاستشعار اللاسلكية (RCSF)؛ خوارزمية جينية (AG)؛ التغطية، الإتصال؛ عمر شبكة الاستشعار اللاسلكية

Résumé

Le problème de couverture est l'un des problèmes fondamentaux des réseaux de capteurs sans fil (RCSF) car il a un impact direct sur la consommation d'énergie des capteurs et la durée de vie du réseau. Le problème de couverture peut généralement indiquer comment surveiller efficacement le champ de réseau. Il existe plusieurs façons de classer les problèmes de couverture dans les RCSF. Les problèmes de couverture continue peuvent être classés plus avant, en fonction de la région d'intérêt pour la surveillance, en trois types: couverture de zone, couverture de point et couverture de barrière. En outre, les problèmes de couverture peuvent être classés, en fonction du degré de couverture requis, en problèmes de 1-couverture ou en k -couverture. De ce fait, l'objectif de ce mémoire est l'utilisation d'un algorithme génétique pour l'optimisation de la couverture de cibles (problème de 1-couverture) dans le RCSF tout en respectant les différentes contraintes du RCSF telles que: la connectivité dans le RCSF et la durée de vie du RCSF.

Mots-clé: réseau de capteurs sans fil (RCSF), Algorithme Génétique (AG), La couverture, la connectivité, la durée de vie du RCSF.

Abstract

The coverage problem is one of the fundamental problems of wireless sensor networks (RCSF) because it has a direct impact on the energy consumption of the sensors and the life of the network. The coverage problem can usually indicate how to effectively monitor the network field. There are several ways to classify coverage issues in CWNs. Continuous coverage issues can be further categorized, depending on the region of interest for surveillance, into three types: area coverage, point coverage, and barrier coverage. Further, coverage issues can be classified, depending on the degree of coverage required, in 1-coverage issues or k -coverage. Therefore, the objective of this thesis is the use of a genetic algorithm for the optimization of the coverage of targets (problem of 1-coverage) in the RCSF while respecting the various constraints of the RCSF such as: connectivity in the RCSF and the lifetime of the RCSF.

Keywords: wireless sensor network (RCSF), Genetic Algorithm (AG), Coverage, connectivity, lifetime of the RCSF.

Introduction Générale

Depuis leur création, les réseaux de communication sans fil ont connu un succès sans cesse croissant au sein des communautés scientifiques et industrielles. Grâce à ses divers avantages, cette technologie a pu s'instaurer comme acteur incontournable dans les architectures réseau actuelles. Durant cette dernière décennie, une architecture nouvelle a vu le jour : le réseau de capteurs sans fil. Ce type de réseau peut être vu comme un réseau de micro-systèmes disséminés dans un espace donné et communiquant entre eux via une liaison sans fil. L'espace où agissent les capteurs s'appelle un champ de captage. Ce qui est intéressant dans les réseaux de capteurs, c'est que les nœuds sont souvent composés d'un grand nombre de micro-capteurs capables de récolter et de transmettre des données environnementales d'une manière autonome.

Les capteurs sans fil sont généralement conçus pour être déployés en forte densité dans des endroits hostiles et inaccessibles, ils deviennent alors à usage autonome en raison de l'impossibilité de remplacer ou recharger leurs batteries. La consommation d'énergie est alors distribuée en exploitant la redondance induite par le déploiement aléatoire; des nœuds sont actifs tandis que d'autres demeurent inactifs, économisant ainsi leur énergie. Cette topologie dynamique ne doit pourtant pas mettre en péril l'application de surveillance. C'est pourquoi les nœuds actifs doivent couvrir une zone aussi large que l'ensemble des capteurs déployés. De plus, il est indispensable d'assurer l'acheminement des rapports en provenance des capteurs vers les stations puits chargées de stocker et de traiter les données. L'ensemble des nœuds actifs doit également être connecté.

Dans le but d'exploiter le déploiement aussi longtemps que possible, une gestion de ressource rigoureuse en termes d'énergie sera exigée. Pour ce faire, l'activité des capteurs est ordonnancée, certains sont en mode sommeil et économisent leur énergie pendant que d'autres participent à la surveillance. Parmi les critères de tabulation, on citera la couverture de surface qui est l'une des mesures, les plus importantes, pour évaluer la qualité de surveillance produite par un réseau de capteurs dans une zone géographique. Une

zone est dite couverte, si tous les points qu'elle inclut sont observés par au moins un capteur.

Dans ce travail, on utilise un algorithme génétique adopté pour le problème de couverture simple (1-couverture) des cibles dans le RCSF afin de prolonger leur durée de vie en choisissant un nombre minimum de nœuds de capteurs actifs parmi un grand nombre de nœuds de capteurs répartis aléatoirement. Les nœuds de capteurs choisis doivent couvrir tout le nombre prédéfini complet de points cibles, de manière intermittente ou continue. En même temps, ces nœuds de capteurs actifs doivent maintenir la connectivité entre eux et la station de base (SB) de sorte que les précieuses données détectées puissent être transférées à la SB sur le chemin le plus court.

Ce travail est organisé en quatre chapitres :

- Dans le premier chapitre intitulé « Les Réseaux de capteurs sans fil », nous décrivons les réseaux de capteurs sans fil, leurs architectures, leurs caractéristiques, leurs domaines d'application, ainsi que la couverture et la connectivité.
- Dans le deuxième chapitre intitulé « la couverture dans les réseaux de capteurs sans fil », nous décrivons la problématique, les paramètres et les protocoles de la couverture.
- Le troisième chapitre, est consacré à la présentation des algorithmes génétiques.
- Dans le dernier chapitre, nous expliquerons en détail la simulation que nous avons conçue dans MATLAB.
- L'objectif du dernier chapitre décrit notre implémentation, la modélisation formelle utilisée par l'algorithme génétique à la couverture (1-couverture) dans le RCSF ainsi que l'interprétation des différents résultats trouvés.
- Nous achevons ce mémoire en donnant une conclusion générale, et quelques perspectives futures en vue d'améliorer et d'étendre ce travail.

Chapitre I :

Les Réseaux de capteurs sans fil

I.1-Introduction :

Le réseau de capteurs sans fil, est une révolution scientifique, car il a ouvert la voie à la création d'une nouvelle génération d'application dans divers domaines.

Dans ce chapitre, nous décrivons les réseaux de capteurs sans fil, leurs architectures, leurs caractéristiques, leurs domaines d'application, l'accès médium, le modèle de calcul d'énergie, ainsi que la couverture et la connectivité.

I.2-Définition d'un réseau de capteurs sans fil :

Un réseau de capteurs sans fil est un réseau ad hoc d'un grand nombre de *nœuds*, qui sont des micro-capteurs capables de recueillir et de transmettre des données d'une manière autonome. La position de ces nœuds n'est pas obligatoirement prédéterminée. Ils peuvent être aléatoirement répartis dans une zone géographique, intitulée « *champ de captage* » correspondant au terrain concerné pour le phénomène capté [1].

I.3- Architecture d'un nœud capteur :

Un capteur est composé de quatre éléments de base : une unité de perception, de traitement, de communication et une unité de contrôle d'énergie (batterie) [2].

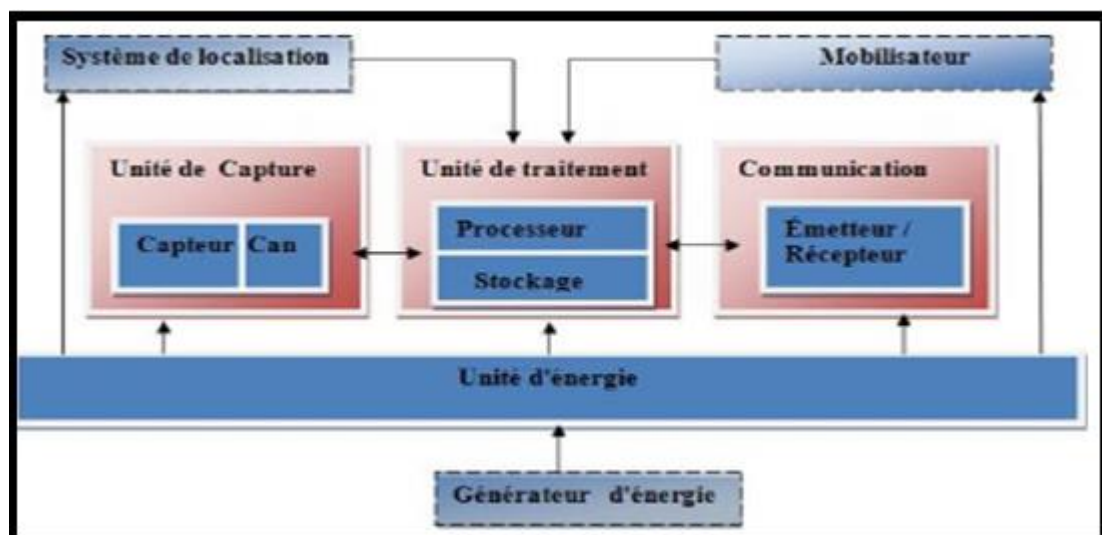


Figure I-1: Architecture d'un nœud capteur [3].

1- L'unité de capture :

L'unité de capture est composée généralement de deux sous-unités : le capteur lui-même et un convertisseur Analogique/Numérique. Le capteur est chargé de fournir des signaux analogiques, basés sur le phénomène observé, au convertisseur. Ce dernier transforme ces signaux en un signal numérique transmis à l'unité de traitement pour effectuer des analyses [4].

2- L'unité de traitement :

L'unité de traitement, comprend un processeur associé généralement à une petite unité de stockage et fonctionne à l'aide d'un système d'exploitation spécialement conçu pour les micro-capteurs. Cette unité est chargée d'exécuter les protocoles de communication qui permettent la collaboration entre les capteurs du réseau [5].

3- L'unité de transmission :

L'unité de transmission est chargée d'effectuer toutes les émissions et réceptions des données sur un médium sans fil. Elle peut être du type optique (laser), infrarouge ou fréquence radio.

4- L'unité de contrôle d'énergie :

Elle alimente les unités que nous avons citées en dessus. Généralement, elle n'est ni rechargeable ni remplaçable. La capacité d'énergie limitée au niveau des capteurs représente la contrainte principale lors de conceptions de protocoles pour les réseaux de capteurs.

I.4- Caractéristiques des réseaux de capteurs :**I.4.1- Architecture d'un réseau de capteurs :**

Un réseau de capteurs est généralement constitué de nombreux nœuds répartis dans une zone (sensor Field). Ces nœuds sont reliés à une ou plusieurs passerelles (sink) qui permettent l'interconnexion avec d'autres réseaux (internet, satellite...) [6].

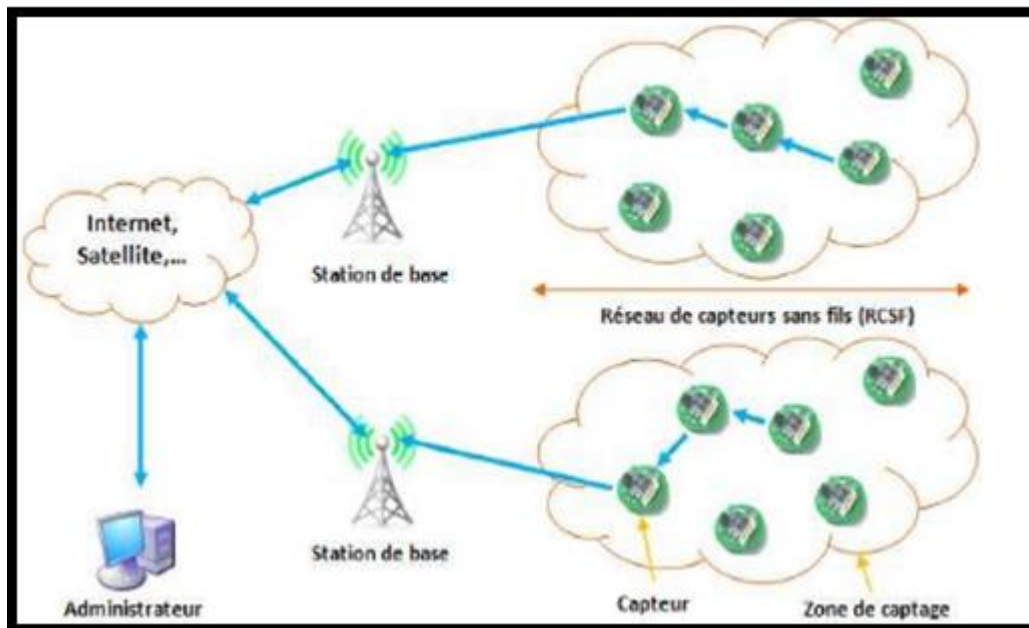


Figure I-2: Architecture d'un réseau de capteurs [7].

I.4.2-Quelques différents facteurs de conception :

La conception des réseaux de capteurs est influencée par de nombreux facteurs comme la tolérance aux pannes, les coûts de production, la consommation d'énergie, l'environnement ou la topologie du réseau. Ces facteurs représentent la base de la conception de protocoles ou d'algorithmes pour les réseaux de capteurs [6] [8].

a- Tolérance aux pannes :

Le fonctionnement d'un ou plusieurs capteurs peut être interrompu pendant le cycle de vie du réseau. Il y a plusieurs causes à ces échecs :

- manque en ressources énergétiques
- dégâts matériels
- interférences environnementales
- compromission des nœuds

Ces pannes ne doivent pas affecter le fonctionnement global du réseau. La tolérance aux pannes se définit alors comme la capacité du réseau à continuer à fonctionner normalement sans interruption même après le dysfonctionnement d'un ou de plusieurs de ses nœuds capteur [9].

b- Coût de fabrication :

Le coût de production d'un seul micro capteur est très important pour l'évaluation du coût global du réseau, si ce dernier est supérieur à celui nécessaire pour le déploiement des capteurs classiques, l'utilisation de cette nouvelle technologie ne serait pas financièrement justifiée. Par conséquent, réduire le coût de production jusqu'à moins de 1\$ par nœud est un objectif important pour la faisabilité de la solution des réseaux de capteurs sans fil.

La technologie Bluetooth a pu offrir un système radio connu d'être le moins chère du marché pour un coût de 10\$, ce qui est dix fois plus chère que le coût désiré pour un nœud capteur. Ceci, sachant qu'un nœud contient d'autres systèmes que celui de transmission radio tel que les unités de captage et de traitement de données. De plus, le nœud peut être équipé d'éléments additionnels tel qu'un système de localisation GPS, ou un système de rechargement d'énergie. Dès lors, la minimisation du coût de production du nœud [10].

c- Topologie du réseau :

En raison de leur forte densité dans la zone à observer, il faut que les nœuds-capteurs soient capables d'adapter leur fonctionnement afin de maintenir la topologie souhaitée. On distingue généralement trois phases dans la mise en place et l'évolution d'un réseau :

- *Déploiement* : les nœuds sont soit réparti de manière pré définie soit de manière aléatoire.
- *Post-déploiement-exploitation* : durant la phase d'exploitation, la topologie du réseau peut être soumise à des changements dus à des modifications de la position des nœuds ou bien à des pannes.
- *Redéploiement* : L'ajout des nouveaux capteurs dans un réseau existant implique aussi une remise à jour de la topologie [6].

d- Consommation d'énergie :

Détecter les évènements dans l'environnement capté, élaborer un traitement de données local et rapide, et transmettre les résultats à l'utilisateur sont les principales tâches d'un nœud dans un réseau de capteurs. Les étapes de consommation d'énergie par ce nœud peuvent être,

dès lors, divisées en trois phases : le captage, la communication et le traitement de données [6].

I.4.3- Architecture protocolaire :

La pile de protocoles utilisée par le puits (Sink) ainsi que par tous les nœuds-capteurs est donnée dans la Figure I-3. Cette pile de protocoles combine routage et gestion d'énergie et intègre les données avec les protocoles réseau. Elle communique de manière efficace (en termes d'énergie) à travers le support sans fil et favorise les efforts de coopération entre les nœuds-capteurs. La pile de protocoles comprend une couche application, une couche transport, une couche réseau, une couche liaison de données, une couche physique, un plan de gestion d'énergie, un plan de gestion de mobilité et un plan de gestion des tâches. Selon les tâches de détection, différents types de logiciels d'application peuvent être construits et utilisés dans la couche application. La couche transport contribue au maintien du flux de données si l'application du réseau de capteurs l'exige.

La couche réseau s'occupe de l'acheminement des données fournies par la couche transport. Comme l'environnement est sujet au bruit et que les nœuds-capteurs peuvent être mobiles, le protocole MAC doit tenir compte de la consommation d'énergie et doit être en mesure de réduire les collisions entre les nœuds voisins lors d'une diffusion par exemple. La couche physique répond aux besoins d'une modulation simple mais robuste, et de techniques de transmission et de réception.

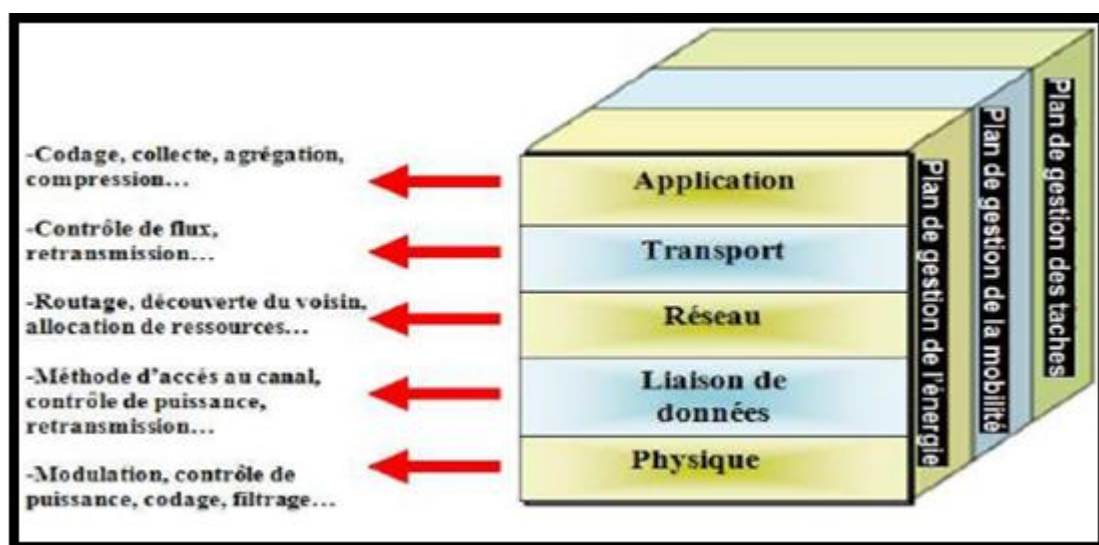


Figure I-4 : La pile protocolaire d'un réseau de capteurs [12].

En outre, les plans de gestion d'énergie, de mobilité et des tâches surveillent et gèrent la consommation d'énergie, les mouvements, et la répartition des tâches entre les nœuds-capteurs. Ces plans aident les nœuds-capteurs à coordonner les tâches de détection et à réduire l'ensemble de la consommation d'énergie [11].

I.5-Applications des réseaux de capteurs sans fil :

I.5.1-Applications militaires :

Les réseaux de capteurs sans fil proviennent principalement de la recherche militaire. Les réseaux de capteurs indépendants sont un élément-clé de cette évolution vers des systèmes de guerre sans fil. Ils peuvent être déployés et utilisés rapidement pour surveiller le champ de bataille et fournir des informations sur l'emplacement, le nombre, le mouvement et l'identité des soldats et des véhicules. Une croissance très rapide a abouti à la recherche et au développement de réseaux de capteurs sans fil par des programmes financés par l'Agence des États-Unis pour les projets de recherche de défense avancés (DARPA) [13].

I.5.2-Applications orientées évènements :

Les capteurs envoient leurs données seulement si un événement spécifique se produit. On peut citer l'exemple de surveillance des feux dans les forêts où un capteur envoie des alarmes à la station de base dès que la température dépasse un certain seuil. Au départ, cette classe d'application était conçue à des fins militaires, comme la surveillance du déplacement d'objets dans le champ de bataille. Par la suite, cette classe a rapidement trouvé, de nouvelles perspectives comme le contrôle industriel, le contrôle médical des patients, la surveillance d'édifices (barrages, ponts, voies de chemins de fer, etc...) [14].

I.5.3-Applications orientées requêtes :

Dans ce cas, un capteur envoie de l'information uniquement suite à une demande explicite de la station de base. Cette classe d'application est destinée aux applications adaptées à l'utilisateur. Ce dernier peut requérir des informations à partir de certaines régions dans le réseau ou interroger les capteurs pour acquérir des mesures d'intérêts. Dans ce cas, des connaissances sur la topologie du réseau et l'emplacement des capteurs sont nécessaires [15].

I.5.4-Applications Hybrides :

Ce type d'application met en œuvre les trois modes de fonctionnement décrits précédemment. Par exemple, dans un réseau conçu pour le suivi d'objets, le réseau peut combiner entre un réseau de surveillance (time driven) et un réseau de collecte de données par événements (event driven). Par exemple, pendant les longues périodes d'inactivité des capteurs et lorsque aucun objet n'est présent, le réseau peut assurer une fonction de surveillance [16].

I.6-Accès médium dans les réseaux de capteurs sans fil :

La sous couche MAC assure l'accès au support de transmission, la fiabilité de transmission, le contrôle de flux, la détection d'erreurs et la retransmission des paquets. Puisque les nœuds partagent le même médium de transmission, la sous-couche MAC joue un rôle important pour la coordination entre les nœuds et la minimisation de la consommation d'énergie. En effet, minimiser les collisions entre les nœuds permet de réduire la perte d'énergie. Dans ce qui suit, nous analyserons les principales causes de consommation d'énergie au niveau de la couche MAC [17].

I.6.1-LA RETRANSMISSION :

Les nœuds capteurs possèdent en général une seule antenne radio et partagent le même canal de transmission. Par ailleurs, la transmission simultanée des données provenant de plusieurs capteurs peut produire des collisions et ainsi une perte de l'information transmise.

La retransmission des paquets perdus peut engendrer une perte significative de l'énergie.

I.6.2-L'ECOUTE ACTIVE :

L'écoute active (idle listening) du canal pour une éventuelle réception de paquet qui ne sera pas reçu peut engendrer une perte importante de la capacité des nœuds en énergie.

Pour éviter ce problème, il faut basculer les nœuds dans le mode sommeil le plus longtemps possible.

I.6.3-LA SUR ÉCOUTE :

Le phénomène de sur écoute (overhearing) se produit quand un nœud reçoit des paquets qui ne lui sont pas destinés. La sur écoute conduit à une perte d'énergie additionnelle à cause de l'implication des autres capteurs dans la réception des données.

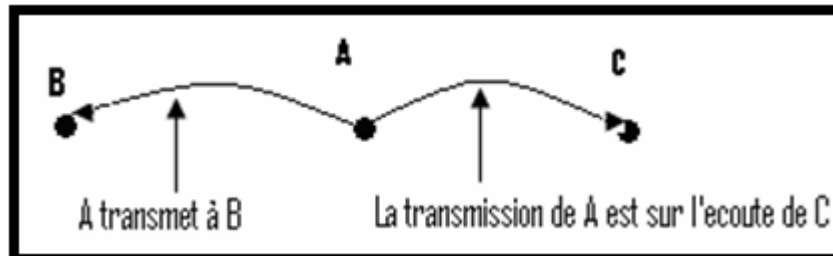


Figure I-5: La sur écoute dans une transmission [18].

I.6.4-LA SURCHARGE :

Plusieurs protocoles de la couche MAC fonctionnent par échange de messages de contrôle (over Head) pour assurer différentes fonctionnalités : signalisation, connectivité, établissement de plan d'accès et évitement de collisions. Tous ces messages nécessitent une énergie additionnelle.

I.6.5-LA SUREMISSION :

Le phénomène de surémission (Overemitting) se produit quand un nœud capteur envoie les données à un destinataire qui n'est pas prêt à les recevoir. En effet, les messages envoyés sont considérés inutiles et consomment une énergie additionnelle.

I.6.6-LA TAILLE DES PAQUETS :

La taille des messages échangés dans le réseau a un effet sur la consommation d'énergie des nœuds émetteurs et récepteurs. Ainsi, la taille des paquets ne doit être ni trop élevée ni trop faible. En effet, si elle est petite, le nombre de paquets de contrôle (acquiescement) généré augmente l'over Head. Dans le cas contraire, une grande puissance de transmission est nécessaire pour des paquets de grande taille.

I.7-Modèle de calcul d'énergie :

Nous évaluons l'énergie consommée par un nœud capteur (n_i), notée $EC(n_i)$, pour réaliser à la fois les fonctions de capture, de traitement et de communication par l'équation suivante :

$$EC(n_i) = E(S_i) + E(P_i) + E(TRANS_i) \quad (1)$$

Avec :

$E(S_i) = e_{s,i}$ désigne l'énergie dépensée lors de l'opération de capture

$E(P_i)$ égale $e_{p,i}$ désigne l'énergie consommée pendant le traitement au niveau du microcontrôleur

$E(TRANS_i)$ désigne l'énergie nécessaire pour la transmission et la réception d'un Paquet de k bits

$E(TRANS_i)$ peut être exprimée par :

$$E(TRANS_i) = E(C_{TX,i}) + E(C_{RX,j}) \quad (2)$$

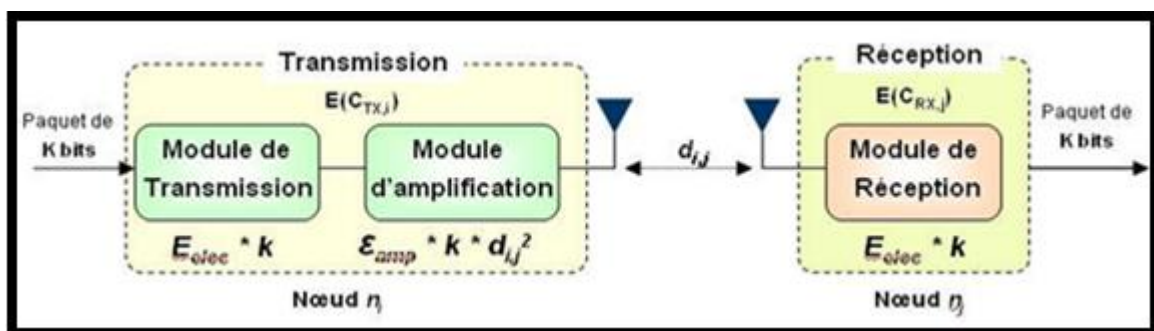


Figure I-6: Modèle d'énergie

Ainsi, la quantité d'énergie nécessaire pour transmettre k bits du nœud capteur n_i au nœud capteurs n_j , avec $d(n_i, n_j)$ notée par $d_{i,j}$ désigne la distance qui les sépare, est donnée par :

$$E(TRANS_i) = 2 * E_{elec} * k + \epsilon_{amp} * k * d_i^2 \quad (3)$$

L'équation (3) devient :

$$EC(n_i) = 2 * E_{elec} * k + \epsilon_{amp} * k * d_i^2 + e_{p,i} + e_{s,i} \quad (4)$$

Comme

$e_{p,i}$ et $e_{s,i}$ sont deux termes indépendants de la distance d , on note

$e_{p,i} + e_{s,i} = T$, l'équation (4)

Devient :

$$EC(n_i) = 2 * E_{elec} * k + \epsilon_{amp} * k * d_i^2 + T \quad (5)$$

Avec E_{elec} est l'énergie dépensée par le module de transmission ou de réception et ϵ_{amp} désigne l'énergie nécessaire pour l'amplification du signal radio.

On note $E(B_i) = e_i(t)$ avec $e_i(0)$ désigne la capacité initiale de la batterie et $e_i(t) = e_i(0) - e_i(t)$ Désigne l'énergie résiduelle d'un nœud capteur n_i Ainsi, si

$e_i(t) > 0$ Alors le nœud n_i est actif et si $e_i(t) = 0$ alors le nœud n_i est inactif.

I.8-La Couverture :

Les capteurs fonctionnent en utilisant le modèle de seuil, c'est-à-dire que le capteur a deux régions: la zone de perception (SR) et la zone de contact (CR). À des fins de planification, nous considérons que ces régions sont représentées par deux circuits contenant le capteur comme centre, comme le montre la figure ci-dessous:

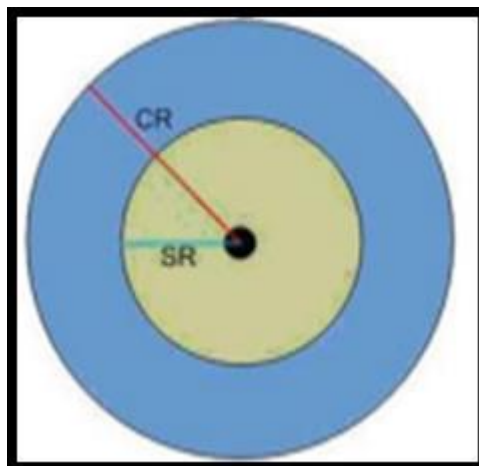


Figure I-7 Les deux zones de couverture d'un capteur [19].

En affectant la relation entre le rayon SR et le rayon CR, nous ajusterons les limitations. Ainsi, nous pourrions réduire le nombre de nœuds actifs et maximiser la durée de vie du réseau. Si la densité du capteur est trop élevée et que la zone que vous souhaitez surveiller est également couverte, les capteurs fonctionneront inutilement [20] [21].

I.9-La Connectivité :

Après les phases de placement/déploiements des nœuds dans la zone d'intérêt, ces derniers doivent former un réseau connecté afin de pouvoir assurer le transfert des informations capturées par des nœuds sources vers la station de base. Selon le type d'architecture utilisé, l'ensemble des nœuds

du réseau ou une partie de cet ensemble doivent se connecter de façon permanente dès qu'une source donnée transmet ses données à la station de base.

I.9.1-Définition de la connectivité dans les RCSF :

Pour définir la connectivité entre deux nœuds d'un RCSF. On dit que deux nœuds sont connectés si et seulement s'ils peuvent communiquer directement (connectivité à un saut) ou indirectement (connectivité multi-saut). Le RCSF est connecté s'il existe au moins une route entre chaque nœud du réseau et la station de base. Par conséquent, d'après cette définition, nous pouvons dire que la connectivité dépend donc essentiellement de l'existence de routes. Elle est ainsi affectée par les changements de topologie, dus généralement aux pannes de nœuds, à la mobilité, etc. Ces changements de topologies ont pour conséquence la perte des liens de communication, l'isolement des nœuds, le partitionnement du réseau, etc. À l'instar de la couverture, la connectivité dans les RCSF est considérée comme un paramètre de mesure de performance très importante surtout dans le cas des applications de RCSF citées ci-haut. Ainsi, pour bien garantir toutes les fonctionnalités de telles applications, il est nécessaire de bien étudier et de prendre en compte les propriétés de connectivité lors de la conception et le déploiement de tels réseaux [22].

I.9.2-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 [22].

I.10 –Conclusion :

La technologie des réseaux de capteurs sans fil est un domaine en plein essor, de plus en plus d'applications utilisent cette technologie. En effet, les avancées électroniques et informatiques d'aujourd'hui sont capables de développer de minuscules capteurs capables de capter des données, calculer des informations à l'aide de ces données collectées et de communiquer à travers un réseau.

Dans le chapitre suivant, nous exposerons les algorithmes génétiques.

Chapitre II :

***La couverture dans les réseaux de
capteurs sans fil***

II.1-Introduction :

L'un des principaux problèmes abordés dans la littérature est la couverture de zones dans les RCSF. Cette dernière est centrée sur une question fondamentale: comment assurer le suivi d'un domaine d'intérêt particulier? [23].

Cela se fait en définissant l'activité du capteur, qui peut être dans un mode actif ou en mode veille, tout en maintenant une couverture aussi complète que possible de la zone sur laquelle le réseau a été déployé [24].

Dans ce chapitre, nous décrivons la notion de couverture, leurs différents types, la problématique, les paramètres de la couverture, les critères attachés à la couverture dans les RCSF ainsi que les protocoles de la couverture de surface.

II.2-La notion de la couverture :

II.2.1- LA DEFINITION DE LA COUVERTURE :

La couverture dans les RCSF est souvent considérée comme étant une mesure de performance très importante. Elle reflète la façon dont une zone donnée est surveillée (contrôlée), c'est-à-dire comment chaque point de la zone de surveillance est observé et suivi par l'ensemble des nœuds capteurs. Ainsi, la notion de couverture dans les RCSF peut être vue comme une mesure de la QoS [25].

En effet, certaines applications peuvent exiger un fort degré de couverture afin de remplir pleinement leurs missions. Par exemple, c'est le cas de la surveillance critique de zone, l'agriculture intelligente, etc. Ainsi, pour ces applications, il faut faire en sorte que si un événement se produit en un point quelconque de la zone surveillée par les capteurs, il soit détecté au moins par un capteur donné. Les applications telles que la surveillance animale, la mesure de températures à l'intérieur d'un bâtiment requièrent des degrés de couverture plus faibles. D'autres applications comme la détection d'intrusion fonctionnent généralement avec un degré de couverture dynamiquement ajustable en fonction des zones de détection en alerte. Par conséquent, la nécessité de couverture d'une zone donnée varie en fonction des besoins applicatifs et doit être prise en considération dans la conception et le déploiement de certaines applications des RCSF [25].

Il existe deux types de couverture dans les RCSF : une couverture simple et k-couverture définie comme étant une multitude de couvertures simples et dépendantes de la robustesse et du degré de l'application [25] [26].

II.2.2- LE BUT DE LA COUVERTURE :

Dans la plupart des travaux, le but de k-couverture consiste à trouver un nombre minimal de nœuds où tout point de la zone d'intérêt est couvert par au moins k nœuds. Dans cette optique, plusieurs approches ont été proposées dans la littérature. Dans [27] [28], les auteurs choisissent un sous-ensemble de nœuds aléatoirement pour maintenir la couverture de zone tout en visant à économiser l'énergie globale du réseau.

II.3-Les différents types de couverture :

Le problème de la couverture peut être classé en trois types : [29] [30].

II.3.1- LA COUVERTURE DE CIBLES :

L'objectif principal de ce type de problème est de couvrir un ensemble des cibles spécifiques dont la situation géographique est connue. Figure II .1 montre un exemple d'un groupe de capteurs déployés de manière aléatoire pour couvrir un ensemble de points (petits carrés) où les nœuds noirs connectés constituent le groupe de capteurs actif.

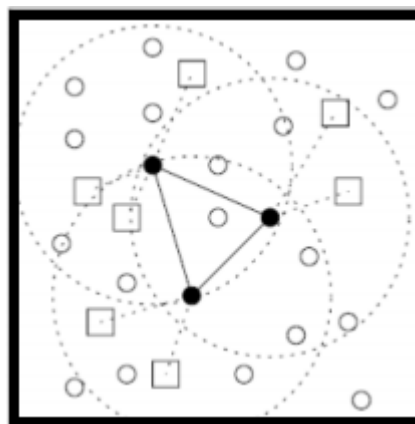


Figure II .1- Couverture des cibles [31].

II.3.2- LA COUVERTURE DE ZONES :

Le problème de couverture de zones est approfondi dans les RCSF, où l'objectif premier du réseau de capteurs est de couvrir une zone géographique (voire une région). La Figure II .2 montre un exemple de déploiement aléatoire de capteurs pour couvrir une zone carrée.

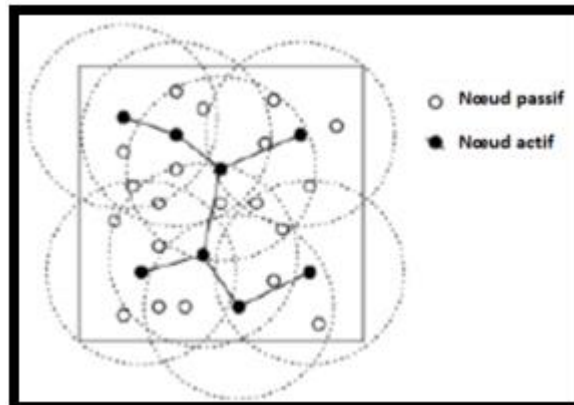


Figure II .2 : Couverture d'une zone [31].

II.3.3- LA COUVERTURE DE BARRIERE :

Le but du revêtement du parapet est de réduire la possibilité d'une pénétration non observée à travers le parapet (réseau de capteurs). La figure II .3 illustre le problème de couverture de la barrière où les points de début et de fin du chemin sont choisis parmi les lignes inférieures et la limite supérieure de la zone. La sélection de la route dépend de la cible.

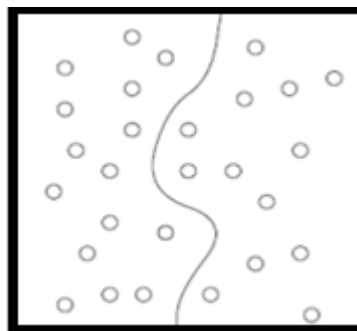


Figure II .3 : La couverture de barrière [32].

II.4-La problématique de la couverture :

L'un des principaux objectifs des réseaux de capteurs est de fournir une couverture complète et efficace d'une zone d'intérêt donnée. L'objectif est de rendre chaque point d'intérêt physique dans la plage de capture d'au moins un capteur. On dit que la zone d'intérêt est couverte si et seulement pour chaque point de ce dernier a au moins un capteur actif à une distance

traditionnelle inférieure au rayon de capture. Le rayon de capture ou de couverture représente la distance euclidienne maximale à laquelle le nœud est capable de percevoir un événement et de collecter des informations pertinentes liées à son environnement [33].

II.5-Les paramètres de la couverture dans les RCSF :

Après un déploiement aléatoire de capteurs dans la zone concernée, deux conditions de base doivent être remplies [34].

- 1- ce dernier doit former un réseau connecté afin de transférer les informations capturées par les nœuds sources vers la station de base.
- 2- surveiller toutes les cibles de zone couvertes.

En réalisant ces deux conditions, nous formerons un réseau de haute qualité, tout en maintenant le reste des autres capteurs dans un état d'inactivité, ce qui contribuera à prolonger au maximum la durée de vie du réseau.

Parmi les conséquences inattendues de la technologie de propagation aléatoire, certains nœuds de capteur peuvent devenir défectueux et inopérants en raison de l'épuisement de la puissance. Lors de la conception des réseaux de capteurs sans fil, les protocoles doivent atteindre le niveau de tolérance aux pannes des nœuds de capteur, et cela dépend fortement des applications utilisateur. Dans certaines applications, le niveau de tolérance aux pannes doit être élevé, comme les applications de surveillance et de contrôle de champs d'intérêt dont les mesures capturées sont très critiques.

II.6-Les critères attachés à la couverture dans les RCSF :

Les différentes formulations du problème de la couverture dans les réseaux de capteurs sont classifiées selon les critères suivants : [35] [36]

a -Objectif du problème :

L'objectif du problème de couverture est de penser à un réseau de capteurs sans fil (RCSF) dans lequel le périmètre de l'objet cible est surveillé. Il est entouré de capteurs répartis de manière aléatoire. Chaque nœud capteur ne peut surveiller qu'une partie de l'océan et ne peut communiquer qu'avec ses voisins. Pour économiser l'énergie, le nombre

minimum de capteurs capables de surveiller tout le périmètre doit être activé.

b-Méthode de déploiement des nœuds capteur :

La méthode de déploiement des nœuds capteur sur une zone d'intérêt diffère selon les conditions de l'environnement. Pour cela, différentes méthodes de déploiement existent, déploiement aléatoire, où la position des capteurs n'est pas connue a priori, est utilisé dans les environnements difficiles.

c-Relation entre les rayons de capture et de communication :

Cette relation détermine l'homogénéité ou l'hétérogénéité du réseau. Un réseau composé de nœuds de capteur avec les mêmes rayons de capture et de contact.

d- L'énergie :

La taille des nœuds de capteur et leur déploiement général dans des zones hostiles et inaccessibles rendent la source d'alimentation, généralement sous forme de batterie, à énergie limitée, impossible (presque) à recharger.

e- La connectivité :

La communication est la propriété d'avoir au moins un chemin entre un nœud capteur et une station de base. Cela permet de garantir que les informations recueillies sont routées à tout moment et que tous les nœuds sont accessibles à partir de la station de base.

f- Caractéristiques des algorithmes utilisées :

Les algorithmes de couverture sont distribués ou centralisés. L'algorithme distribué ne nécessite aucune connaissance du réseau ou de la topologie de voisinage, qui se limitera aux informations locales et donc à la mise en œuvre parallèle du protocole. Les algorithmes centralisés nécessitent des informations complètes sur le réseau.

II.7-Les protocoles de la couverture de surface :

La plupart des protocoles de la couverture de surface utilisent un outil d'évaluation de couverture; tout nœud u devant décider de son statut d'activité doit au préalable évaluer la couverture fournie par ses voisins de communication. Il ne peut être passif que si la surveillance de sa zone est assurée par ces derniers.

II.7.1- LE PROTOCOLE PEAS :

L'algorithme de couverture de zone conçu pour les réseaux de capteurs denses et asynchrones est utilisé dans un environnement dans lequel le déploiement planifié est risqué ou impossible, soit en raison d'espaces hostiles dans lesquels une intervention humaine n'est pas possible (les zones ne peuvent pas être atteintes) ou il est lié au grand nombre de nœuds de capteurs qu'il sera publié dans le cas où la taille de la région à surveiller est trop importante. Ce protocole est aléatoire et distribué, et est divisé en deux étapes: [37].

a- Sommeil adaptatif :

Le nœud du capteur reste inactif (veille) jusqu'à ce que le nœud actif tombe en panne ou que sa batterie soit épuisée. Ensuite, il remplace le mauvais nœud si nécessaire.

b-Enquête environnementale :

Pour passer de passif à actif, le capteur doit ressentir son environnement, c'est-à-dire qu'il envoie un soi-disant message vocal à ses voisins 1, si son voisinage 1 est très proche de lui et donc qu'il couvre sa zone de détection puis lui demande de rester à l'état négatif, ou s'il n'y a pas de capteurs actifs autour, il décide de se mettre en mode actif jusqu'à ce que son énergie soit épuisée.

II.7.2- LE PROTOCOLE Gallais :

Gallais et d'autres proposent un protocole localisé et distribué, où chaque capteur connaît sa position par GPS. Il est utilisé dans les réseaux de capteurs simultanés où tous les capteurs ont le même rayon de détection et de contact et la plage de détection est égale à la plage de communication. Les messages échangés par le contrat sont supposés

contenir leur emplacement et leur statut, ce qui permet au contrat d'évaluer la communication de tous les voisins [38] [39].

II.7.3- LE PROTOCOLE DCovPDS (Distributed Coverage Preserving based on Dominating Set):

Le protocole proposé permet la construction d'EDM de manière distribuée. En effet, chaque capteur met en œuvre le protocole indépendamment des autres nœuds afin de déterminer son état: est-il dominant ou non ? DCovPDS divise la durée de vie du réseau en périodes d'activité consécutives de même durée, chacune est composée de deux phases phase de décision et phase de capture [40].

II.7.4- LE PROTOCOLE CCSID (Connected Cover Set based on Identité of node):

L'objectif du protocole CCSID est de trouver le plus petit ensemble connexe des nœuds qui permet d'assurer une couverture maximale [41].

CCSID est décomposé en deux phases :

1- phase de construction de l'EDM (Ensemble Dominant Minimal) :

Cette phase consiste à construire l'EDM qui assure la couverture de la zone d'intérêt. L'EDM est obtenu par la détermination de l'ensemble indépendant maximal de cardinalité minimale.

2- phase de construction le EDCM (Ensemble Dominant Connecté Minimal) :

Cette phase est exécutée pour assurer la connectivité entre les nœuds de l'ensemble EDM de la première phase, et pour garantir une meilleure couverture de la zone d'intérêt.

II.7.5- LE PROTOCOLE PECAS (Probing Environment and Collaborating Adaptive Sleeping) :

PECAS est une extension du protocole PEAS. Le nœud reste en mode actif uniquement pendant la durée spécifiée par le paramètre (Work_Time_Dur), contrairement à PEAS, où le nœud actif reste éveillé jusqu'à ce que la batterie s'effondre ou s'épuise. De plus, chaque nœud contient une variable temporaire appelée (Next_Sleep_Time), qui est

utilisée pour informer le nœud du temps restant avant de passer en mode inactif [42].

II.7.6- LE PROTOCOLE ACOS (Area-based Collaborative Sleeping):

Ce protocole améliore les performances de PECAS [42] et introduit le concept de collaboration dans le but d'équilibrer la consommation d'énergie parmi les capteurs. Dans ce protocole, un capteur peut être dans l'un des quatre états suivants : passif, actif, pré-actif, ou pré-passif en outre, les auteurs ont considéré deux niveaux de consommation d'énergie : (lowpower et consuming-power). Le premier mode de consommation d'énergie correspond à l'état actif tandis que le deuxième correspond aux autres états du capteur [43].

II.8-Conclusion :

La couverture est l'une des mesures, les plus importantes, pour évaluer la qualité de surveillance produite par un réseau de capteurs dans une zone géographique. Une zone est dite couverte, si tous les points qu'elle inclut sont observés par au moins un capteur. Dans ce chapitre, nous avons abordé le problème de couverture, puis nous avons décrit quelques solutions existantes.

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

Chapitre III :

Les Algorithmes Génétiques

III.1-Introduction :

Les algorithmes génétiques (GA : Genetic Algorithm) sont, sans conteste, la technique la plus populaire et la plus largement utilisée en Sciences expérimentales et appliquées. Ce sont des algorithmes d'optimisation s'appuyant sur des techniques dérivées de la génétique et de l'évolution naturelle sélection, croisements, mutations, etc. Les origines de ces algorithmes remontent au début des années 1970, avec les travaux de John Holland et ses élèves à l'Université du Michigan sur les systèmes adaptatifs [Holland, 1975] [44] [45].

Ce chapitre est consacré à la présentation des algorithmes génétiques pour la résolution du problème d'optimisation difficile.

III.2-Définition d'une heuristique :

Heuristique est un algorithme de bon sens pour se déplacer intelligemment dans l'espace de la solution, afin d'obtenir une solution approximative, le mieux possible, dans un délai raisonnable. Deux types d'heuristique sont principalement utilisés: l'heuristique constructive et l'heuristique des proportions. L'heuristique dépend du problème qui doit être résolu, principalement dans la sélection du voisinage (et donc dans le déplacement dans le domaine des solutions) [46] [47] [48].

III.3- Définition d'une méta-heuristique :

Le terme méta-heuristique a été inventé par Fred Glover en 1986, lors de la conception de la recherche Tabou [49]. Une méta-heuristique est un processus itératif qui subordonne et qui guide une heuristique, en combinant intelligemment plusieurs concepts pour explorer et exploiter tout l'espace de recherche. Des stratégies d'apprentissage sont utilisées pour structurer l'information afin de trouver efficacement des solutions optimales, ou presque-optimales [50]. Les méta-heuristiques sont utilisables pour résoudre différents problèmes d'optimisation, et ne nécessitent que peu de modifications pour qu'elle puisse s'adapter à un problème particulier. Elles ont donc pour objectif de pouvoir être programmées et testées rapidement sur un problème [51].

III.4-Les méta-heuristiques pour l'optimisation difficile :

III.4.1-Optimisation <<DIFFICILE>> :

Un problème d'optimisation est dit « difficile », car aucune méthode exacte n'est capable de le résoudre exactement en un temps « raisonnable ». On devra alors faire appel à des heuristiques permettant une optimisation approchée.

L'optimisation difficile peut se découper en deux types de problèmes: les problèmes discrets et problèmes continus. Le premier cas rassemble aux problèmes de type NP-complets, tels que le problème de voyageur de commerce. Un problème « NP>» est dit complet s'il est possible de le décrire à l'aide d'un algorithme polynomial sous la forme d'un sous-ensemble d'instances. Concrètement, il est « facile » de décrire une solution à un problème, mais le nombre de solutions nécessaires à la résolution croit de manière exponentielle avec la taille de l'instance. Jusqu'à présent, la conjecture postulant que les problèmes NP-complets ne sont pas solubles en un temps polynomial n'a été démontré, ni révoquée. Aucun algorithme polynomial de résolution n'a cependant été trouvé pour de tels problèmes. L'utilisation d'algorithmes d'optimisation permettant de trouver une solution approchée en un temps raisonnable est donc courante.

Dans la seconde catégorie, les variables du problème d'optimisation sont continués. C'est le cas par exemple des problèmes d'identification, ou l'on cherche à minimiser l'erreur moins formalisée que le précédent, mais un certain nombre de difficultés sont bien connues, comme l'existence de nombreuses variables présentant des corrélations non identifiées, la présence de bruit ou plus généralement une fonction objectif accessible par simulation uniquement. En pratique, certains problèmes sont mixtes et présentent à la fois des variables discrètes et des variables continues [54].

III.4.2- Les algorithmes d'optimisation approchée :

Les problèmes d'optimisation combinatoire sont souvent des problèmes très difficiles dont la résolution par des méthodes exactes peut s'avérer très longue ou peu réaliste.

Un algorithme d'optimisation approchée est une méthode permettant de calculer une solution approchée à un problème algorithmique

d'optimisation. Plus précisément, c'est une méta-heuristique garantissant à la qualité de la solution qui fournit un rapport inférieur (si l'on minimise) à une constante, par rapport à la qualité optimale d'une solution, pour toutes les instances possibles du problème [55].

L'intérêt de tels algorithmes est qu'il est parfois plus facile de trouver une solution approchée qu'une solution exacte, le problème pouvant par exemple être NP-complet mais admettre un algorithme d'approximation polynomial. Ainsi, dans les situations où l'on cherche une bonne solution, mais pas forcément la meilleure, un algorithme d'approximation peut être un bon outil [56].

III.5-Les algorithmes génétiques(AG) :

III.5.1-INTRODUCTION :

Les algorithmes génétiques (AG), ont été initialement développés par John Holland (1975) dans deux buts principaux [45] [57].

- Mettre en évidence et expliquer rigoureusement les processus d'adaptation des systèmes.
- Concevoir des systèmes artificiels qui possèdent les propriétés des systèmes naturels.

Leurs champs d'application sont très vastes. Outre l'économie, ils sont utilisés pour l'optimisation de fonctions numériques difficiles (discontinues, multimodales, bruitées...), traitement d'images (alignement de photos satellites, reconnaissance de suspects...), Optimisation d'emplois du temps, optimisation de design, contrôle de systèmes industriels, apprentissage des réseaux de neurones etc. La raison de ce grand nombre d'application est claire c'est la simplicité de leurs mécanismes, la facilité de leur mise en application et leur efficacité même pour des problèmes complexes, les (AG) peuvent être utilisées pour contrôler un système évoluant dans le temps (chaîne de production, centrale nucléaire.) car la population peut s'adapter à des conditions changeantes [58].

III.5.2-LES OUTILS EVOLUTIONNAIRES DE BASE D'UN (AG) :

Les (AG), sont basés sur trois éléments principaux la sélection, le croisement et la mutation. Dans la littérature il s'agit d'opérateurs de reproduction. Leur principe est simple, comporte trois phases :

1- la genèse (l'initialisation aléatoire d'individus pour former la population de la première génération).

2- la reproduction (l'évolution des individus de la génération courante vers la suivante):

a. la sélection des individus reproducteurs.

b. le croisement génétique de ces individus pour la création de nouveaux individus.

c. la mutation de certains individus pour que la création génétique ne s'affaiblisse pas.

d. l'évaluation des individus par le calcul de leur fonction d'adaptation.

3- Recherche de l'individu le plus adapté selon les critères souhaités. La solution sera représentée par le meilleur individu de la dernière génération [59].

III.5.3-Optimisation par les algorithmes génétiques :

Les algorithmes génétiques appliqués à un problème d'optimisation font évoluer un ensemble de solutions utilisent un mécanisme de sélection naturelle. Ainsi, les AG ne se basent pas sur un individu, mais sur une population d'individus qui vont évoluer de génération en génération pour obtenir un résultat se rapprochant de la solution optimale [59].

La sélection a pour but de favoriser les meilleurs éléments de la population, tandis que le croisement et la mutation assurent une exploration efficace de l'espace d'état. Les meilleurs individus d'une génération vont créer une nouvelle génération plus adaptée au problème dont la nouvelle population contient une plus grande proportion de caractéristiques des meilleurs individus de la génération précédente.

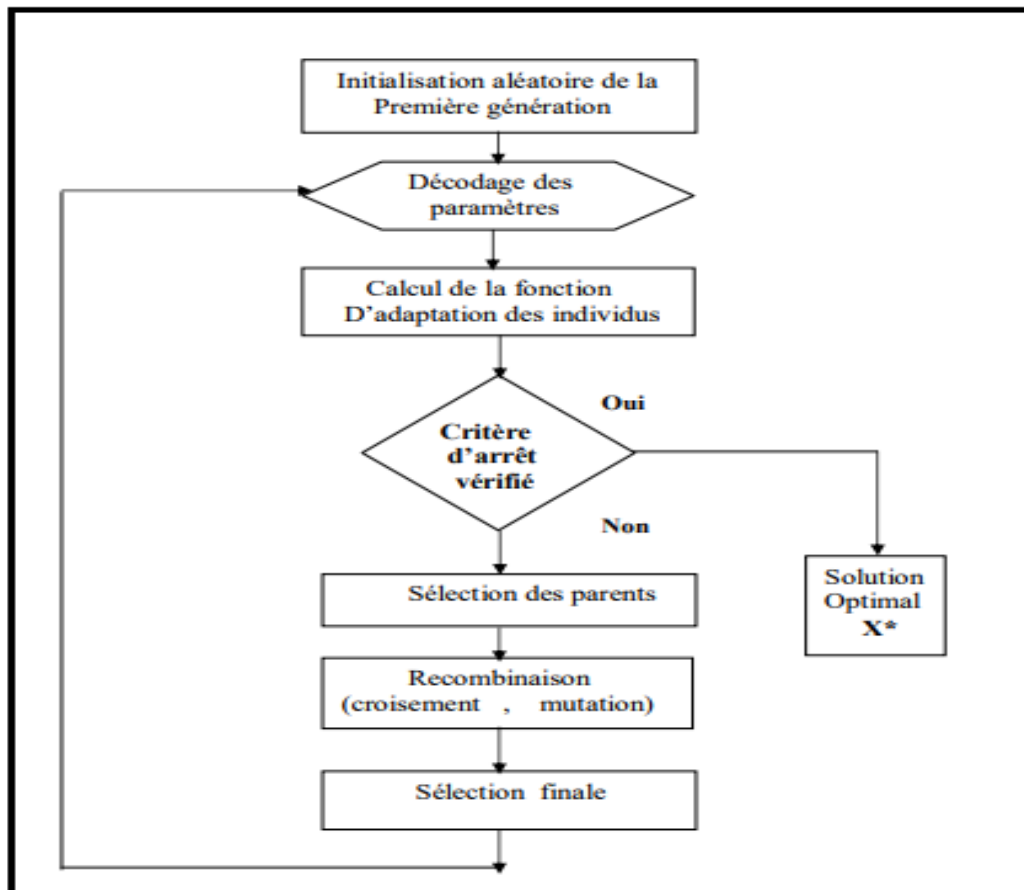


Figure III- 1 : Organigramme général d'un algorithme génétique [59].

L'organigramme fonctionnel présenté dans la figure III- 1, illustre la structure générale de l'algorithme génétique. Nous détaillerons dans la suite les diverses phases qui le constituent et les mécanismes associés à chacune d'entre elles [59].

III.5.4-Le mécanisme de fonctionnement d'un (AG) :

Les différentes étapes de fonctionnement des (AG) sont :

- 1. Initialisation:** une population initiale de N individus est générée aléatoirement.
- 2. Évaluation :** chaque individu est décodé, puis évalué.
- 3. Sélection:** création d'une nouvelle population par l'utilisation d'une méthode de sélection appropriée.
- 4. Recombinaison:** croisement et mutation au sein de la nouvelle population.

5. Retour à 2 à la phase d'évaluation jusqu'à la vérification du critère d'arrêt de l'algorithme

La mise en œuvre des algorithmes génétiques nécessite donc plusieurs étapes.

L'idée fondamentale est que: la population choisie contient potentiellement la solution plutôt la meilleure solution, à un problème donné. Cette solution n'est pas exprimée car la combinaison génétique sur laquelle elle repose est dispersée chez plusieurs individus. Ce n'est que par l'association de ces combinaisons génétiques au cours de la reproduction que la solution pourra s'exprimer. Lors de la reproduction et de la recombinaison génétique associée, un individu hérite, par hasard, d'un des gènes de chacun de ses parents. L'originalité des mécanismes repose en particulier sur le fait qu'il n'a pas considéré les seules mutations comme source d'évolution mais aussi et surtout les phénomènes de croisement. C'est en croisant les solutions potentielles existant que l'on peut se rapprocher de l'optimum [60].

1-INITIALISATION DE LA POPULATION :

Le choix de la population initiale peut conditionner fortement la rapidité de l'algorithme. Il doit être capable de produire une population d'individus non homogènes qui servira de base pour les générations futures, et capable de rendre plus rapide la convergence vers l'optimum global [60].

Dans le cas où l'on ne connaît rien du problème à résoudre, il est essentiel que la population initiale soit assez bien répartie sur tout le domaine de recherche. Une population trop petite évoluera probablement vers un optimum local intéressant alors qu'une population trop grande sera inutile car le temps de convergence sera excessif. La taille de la population doit être choisie de façon à réaliser un bon compromis entre temps de calcul et qualité du résultat [60].

2-CODAGE DES VARIABLES :

Le codage est une partie très importante des algorithmes génétiques. Permet de représenter l'individu sous la forme d'un chromosome. Ce

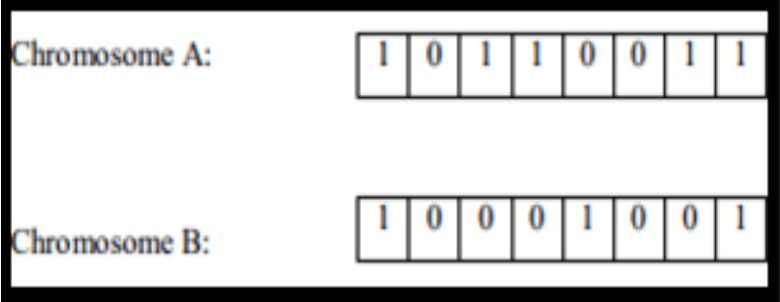
chromosome est constitué de gènes qui prennent des valeurs dans un alphabet binaire ou non [60].

Le choix du codage est délicat doit permettre de coder toutes les solutions et permettre la mise en œuvre des opérateurs de reproduction. C'est ainsi que le bon déroulement des algorithmes génétiques sera assuré, plusieurs types de codages sont utilisés, on citera à titre d'exemple; codage binaire [60].

➤ **Codage binaire:**

Dans le codage binaire le gène est codé par un caractère binaire, 0 ou 1. C'est le plus courant et celui qui a été employé lors de la première application des algorithmes génétiques. Un des avantages du codage binaire est que l'on peut ainsi facilement coder toutes sortes d'objets : des réels, des entiers, des valeurs booléennes, des chaînes de caractères, cela nécessite simplement l'usage de fonctions de codage et décodage pour passer d'une représentation à l'autre [60] [61].

Exemple :



Chromosome A:	1	0	1	1	0	0	1	1
Chromosome B:	1	0	0	0	1	0	0	1

Figure III- 2 : la table d'individu [60].

3-LA FONCTION D'ADAPTATION :

Pour calculer le coût d'un point de l'espace de recherche, on utilise une fonction d'évaluation ou d'adaptation (F). L'évaluation d'un individu ne dépendant pas de celle des autres individus, le résultat fourni par la fonction d'évaluation va permettre de sélectionner ou de refuser un individu pour ne garder que les individus ayant le meilleur coût en fonction de la population courante: c'est le rôle de la fonction (F). Cette procédure permet de s'assurer que les individus performants seront conservés, alors que les individus peu adaptés seront progressivement éliminés [62].

4-LA SELECTION DES PARENTS :

La sélection des parents a pour but de deviner les individus de la population courante qui seront autorisés à se reproduire (les "parents"). La sélection est fondée sur la qualité des individus, estimée à l'aide de fonction d'adaptation. Cette opération est peut-être la plus importante puisqu'elle permet aux individus d'une population de survivre, de se reproduire ou de mourir. En règle générale, la probabilité de survie d'un individu sera directement reliée à son efficacité relative au sein de la population. Il existe plusieurs méthodes pour la reproduction, on citera à titre d'exemple :

1- La sélection par roulette : La sélection des individus par le système de la roulette s'inspire des roues de loterie. À chacun des individus de la population est associé un secteur d'une roue. L'angle du secteur étant proportionnel à la qualité de l'individu qu'il représente. Vous tournez la roue et vous obtenez un individu. Les meilleurs individus ont plus de chances d'être croisés et de participer à l'amélioration de notre population [64].

2- La sélection par tournoi : Le principe de la sélection par tournoi augmente les chances pour les individus de piètre qualité de participer à l'amélioration de la population. Le principe est très rapide à implémenter. Un tournoi consiste en une rencontre entre plusieurs individus pris au hasard dans la population. Le vainqueur du tournoi est l'individu de meilleure qualité [64].

3- La sélection par le rang : La sélection par rang est une variante du système de roulette. Il s'agit également d'implémenter une roulette, mais cette fois-ci les secteurs de la roue ne sont plus proportionnels à la qualité des individus, mais à leur rang dans la population triée en fonction de la qualité des individus [64].

Parmi ces différents types de sélection la méthode la plus connue et la plus utilisée reste la roulette, proposée par Goldberg (1989).

5-LA RECOMBINAISON GENETIQUE :

Pour créer un nouvel individu à partir des meilleures solutions précédemment sélectionnées, il est nécessaire de procéder à la combinaison des gènes des parents pris de manière aléatoire et d'après la

théorie de l'évolution, pour que la génération suivante soit plus adaptée au problème et plus performante on doit combiner les meilleurs individus de la population actuelle. Une étape d'identification et de sélection de ses meilleurs individus est donc nécessaire pour que chaque individu ait une chance proportionnelle à son adaptation de devenir parent [60].

On distingue deux opérateurs principaux : le croisement et la mutation qui permette d'explorer l'ensemble des solutions possibles. Ces opérations sont appliquées aléatoirement, à l'aide de deux paramètres, la probabilité de croisement et la probabilité de mutation. Ces probabilités sont des paramètres très importants, qui influent de façon considérable sur la convergence.

A)-LE CROISEMENT :

Le croisement combine les gènes des deux individus parents pour donner deux nouveaux chromosomes d'individus enfants (descendants) possédant des caractéristiques issues des deux parents. La zone de croisement est généralement choisie aléatoirement dans les chromosomes. Les méthodes de croisement sont liées au codage mais leur principe est identique. Il a pour but d'enrichir la diversité de la population en manipulant la structure des chromosomes, il favorise l'exploration de l'espace de recherche et permet d'explorer l'ensemble des solutions possibles. Classiquement, les croisements sont envisagés avec deux parents et génèrent deux enfants. Dans un groupe d'amont arbitrairement choisi dans la population chaque paire dans la population formée va parer subir le croisement avec une probabilité P_{cross} [60].

De nombreux types de croisement existent dans la littérature. Ils préservent plus ou moins l'identité génétique des parents et permettant un déplacement dans tout l'espace des solutions, le type de croisement le plus simple est le croisement à un site.

➤ Croisement à un site :

Il consiste à échanger les gènes de chacun des parents de longueur L en vérifiant la probabilité P_c . Le site du croisement S doit être choisi entre 1 et $(L - 1)$. Le changement va se faire entre le site sélectionné et la position finale L des deux chaînes comme le montre la figure III-3.

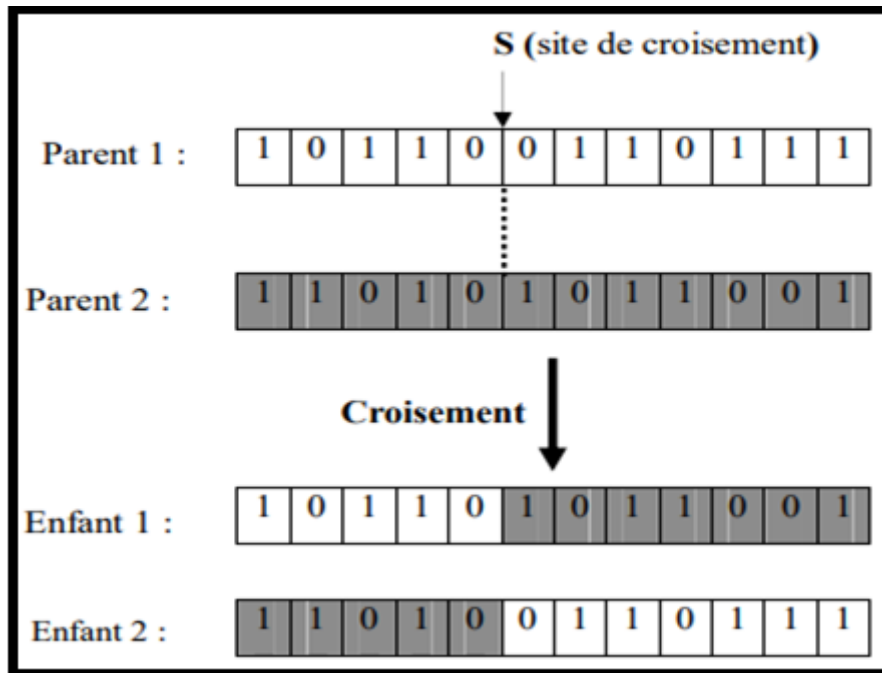


Figure III- 3: Croisement à un site [60].

➤ **Croisement à k sites**

On choisit au hasard k points de croisements successifs. Cet opérateur généralement considéré comme plus efficace que le précédent. Le changement va se faire entre deux sites successifs des deux chaines comme le montre la figure III- 4.

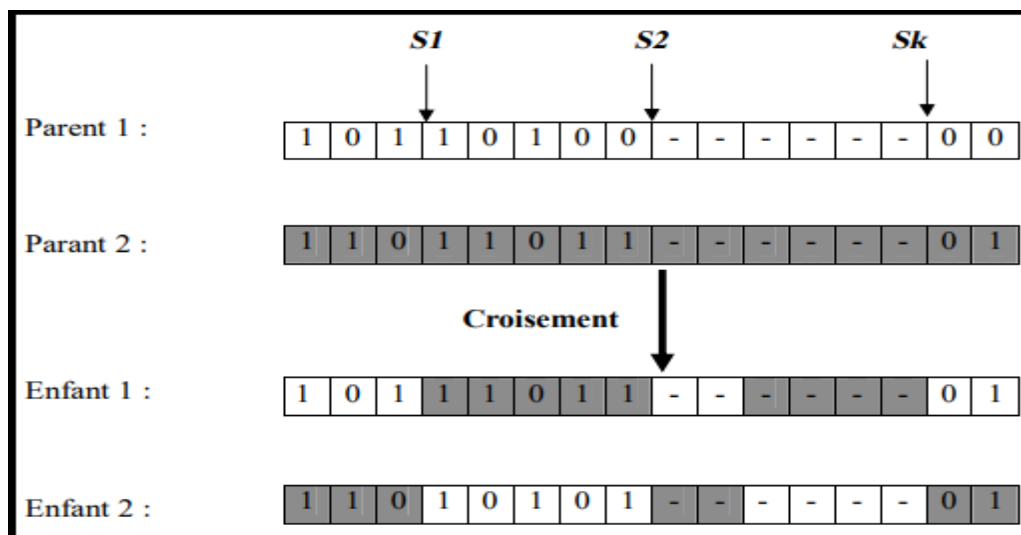


Figure III- 4: Croisement à k sites [60].

B)-LA MUTATION

La mutation prend une place de plus en plus importante dans les algorithmes génétiques, alors qu'il y a encore quelques années son rôle était encore considéré comme accessoire. Comme les individus les mieux adaptés sont les plus susceptibles d'être choisis lors de la sélection, la perte de certains gènes est inévitable avec le temps. La mutation est l'opérateur qui permet d'éviter la dégénérescence de la population. Cette dégénérescence peut se traduire par une convergence des individus vers un optimum local, d'où l'importance de la mutation. Ce phénomène génétique d'apparition de "mutants" est rare mais permet d'expliquer les changements dans la morphologie des espèces, toujours dans le sens d'une meilleure adaptation au milieu naturel [62].

Dans le cas du codage binaire, chaque bit est remplacé selon une probabilité P_{mut} par son inverse comme le montre la figure III-5.

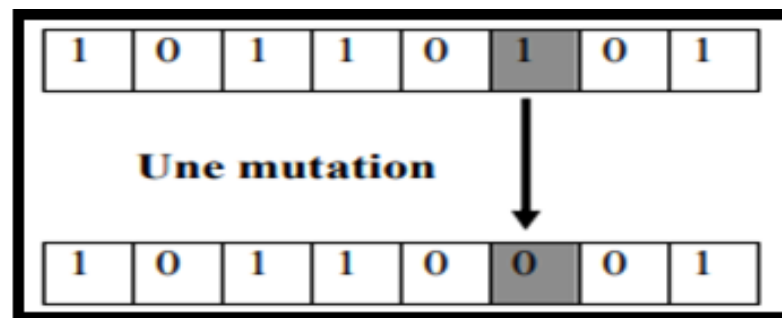


Figure III- 5 : Mutation dans un chromosome [62].

6-LA SELECTION FINALE :

Cette étape consiste à garder seulement les solutions les plus intéressantes, tout en ayant une population assez grande et assez diversifiée. C'est pourquoi la taille de la population doit rester la même d'une génération à l'autre.

La sélection revient à choisir les meilleurs individus pour former la nouvelle génération, c'est-à-dire éliminer N individus parmi les $2N$ individus (N parents et N enfants) pour cela plusieurs méthodes sont proposées [62].

A)-LA SELECTION PAR DESCENDANCE :

Dans cette méthode, on garde toujours les enfants, quelle que soit leur adaptation à la population de la nouvelle génération est obtenue par descendance, les enfants remplaçant automatiquement leurs parents. L'inconvénient de cette sélection est que l'on risque de voir disparaître les caractéristiques génétiques des parents les mieux adaptés si elles n'ont pas été totalement transmises lors de la recombinaison génétique.

B)- LA SELECTION PAR COMPETITION :

Une compétition a lieu entre parents et enfants pour déterminer ceux qui feront partie de la génération suivante. Les enfants sont insérés dans la population si et seulement si leurs performances sont supérieures à celles de leurs parents, a rang équivalent.

C)- LA SELECTION DE PROCREATION SELECTIVE :

On garde les N meilleurs individus parmi la population intermédiaire de parents et d'enfants.

III.6-Quelques travaux existants "les AGs pour la couverture des RCSF" :**III.6.1- Coverage and connectivity aware energy efficient scheduling in target based wireless sensor networks: an improved genetic algorithm based approach :**

Dans ce travail, a suggéré une planification basée sur un algorithme génétique amélioré (GA) pour les WSN. Une représentation chromosomique efficace est donnée et il est montré qu'elle génère un chromosome valide après une opération de croisement et de mutation. La fonction de fitness est dérivée avec quatre objectifs contradictoires, la sélection du nombre minimum de nœuds de capteur, la couverture complète, la connectivité et le niveau d'énergie des nœuds de capteur sélectionnés. Ils ont introduit une nouvelle opération de mutation pour de meilleures performances et une convergence plus rapide des approches basées sur GA proposées. Ils ont également formulé le problème d'ordonnancement comme une programmation linéaire. Une simulation approfondie est effectuée sur divers scénarios de réseau avec un nombre variable de nœuds de capteurs

déployés, le point cible et la longueur du réseau. Ils ont effectué également un test statistique populaire, une analyse de la variance suivie d'une analyse post hoc [65].

III.6.2- Sensor Technology : Un Clustering centralisé et dynamique basé sur les AGs pour une consommation d'énergie minimale dans les réseaux de capteurs sans fil :

Deux contributions sont présentées dans ce travail. La première porte sur une analyse des longueurs des sauts, en effet la durée de vie du réseau dépend fortement de la manière de communication de données soit par des courts sauts ou des longs sauts. Les simulations présentées dans ce travail montrent l'efficacité de la condition présentée et qui réduit de manière significative la consommation d'énergie. Dans la deuxième contribution, la technique de clustering est utilisée pour réduire la consommation d'énergie, le problème reste à déterminer le nombre des cluster-chefs ainsi que leurs positions dans le réseau pour assurer une consommation minimale d'énergie et une meilleure couverture réseau. Pour surmonter ce problème, les algorithmes génétiques sont utilisés comme outils pour déterminer les paramètres du clustering. Les résultats de simulation, présentés, montrent que l'approche présentée surmonte les résultats de l'algorithme LEACH [66].

III.6.3- Minimisation de la consommation d'énergie des réseaux de capteurs dans les applications de couverture de cibles :

Dans ce travail, l'objectif est de proposer de nouvelles heuristiques pour le MLCP tout en considérant des hypothèses plus réalistes sur la durée de vie et la consommation énergétique des nœuds de capteurs. Tout d'abord, ils ont proposé deux heuristiques gloutonnes où les nœuds de capteurs n'ont pas nécessairement la même durée de vie. La première heuristique est basée sur une méthode adaptative tandis que la seconde utilise l'idée de liste noire, ils ont développé un système de surveillance de la pollution atmosphérique et de détection d'incendie basé sur un réseau de capteurs sans fil et ils ont évalué le gain en termes de durée de vie du réseau lorsqu'un algorithme pour le MLCP est intégré dans un tel système [67].

III.6.4- Optimisation de la durée de vie dans les réseaux de capteurs sans fil sous contraintes de couverture et de connectivité réseau :

Le but de ce travail est donc la proposition de nouveaux mécanismes efficaces pour l'optimisation de la durée de vie dans les RCSF, tout en garantissant, à tout moment de cette durée de vie, une couverture totale de la zone de surveillance, ainsi qu'une bonne connectivité du réseau. Pour atteindre ces objectifs, ils ont étudié et font des propositions dans deux axes qui sont le placement des nœuds et les mécanismes d'ordonnancement au niveau de la couche MAC. Pour ces derniers, ils ont mis en place un algorithme appelé DSMAC (Distributed Scheduling Medium Acces Control) qui est basé sur la méthode proposée de placement des nœuds. Par ailleurs, DSMAC permet de couvrir 100% de la zone de surveillance, assure une bonne connectivité du RCSF et permet également aux nœuds capteurs d'économiser jusqu'à 30% de leur énergie comparativement à d'autres protocoles MAC [68].

III.7-Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons donné des généralités sur les méta-heuristiques pour l'optimisation difficile. En premier lieu, nous avons vues les problèmes d'optimisation et que ce qu'une optimisation difficile. Puis nous avons fait un rappel sur les différents types de ces algorithmes d'optimisation approchée. Ainsi que ce chapitre nous a permis d'avoir une vue générale sur les concepts des AG, leurs applications et leurs mécanismes de fonctionnement. Une de ces applications est l'optimisation. Nous pouvons conclure que les AG sont des algorithmes simples de conception et peuvent résoudre des problèmes assez complexes. La résolution de ces problèmes est obtenue grâce aux opérateurs de reproduction.

Chapitre IV :

Implémentation

IV.1-Introduction :

Ce chapitre décrit la partie expérimentale de notre travail. Il expose premièrement notre objectif de travail, puis il donne la description de l'environnement de simulation utilisé, la formulation de problème utilisée pour résoudre de la 1-couverture dans les RCSF. Enfin, il décrit notre simulateur, notre implémentation ainsi que les résultats trouvés.

L'objectif de notre travail est l'utilisation d'un algorithme génétique au problème de couverture simple (1-couverture) des cibles dans les RCSF afin d'optimiser un nombre minimum de nœuds de capteurs actifs parmi les nœuds de capteurs déployés aléatoirement. Les nœuds de capteurs choisis doivent couvrir tout le nombre prédéfini de points cibles, de manière périodique ou continue. Simultanément, ces nœuds de capteurs actifs doivent maintenir la connectivité entre eux et la station de base de sorte que les précieuses données détectées puissent être transmises à la SB selon le plus court chemin.

IV.2-L'environnement de simulation :

Le MATLAB (Version R2014a): cette Version est disponible pour les systèmes d'exploitation Linux (64bits), Windows (32 et 64 bits).

IV.2.1- DEFINITION DE MATLAB :

MATLAB (matrix laboratoire) est un langage de programmation et un environnement de développement de quatrième génération; Il est utilisé à des fins de calcul numérique. Développé par MATHWORKS, MATLAB permet la manipulation de matrices, l'affichage de courbes et de données, la mise en œuvre d'algorithmes, la création d'interfaces utilisateur et peut interagir avec d'autres langages tels que C, C ++, Java. Les utilisateurs de MATLAB (près d'un million d'utilisateurs en 2004) proviennent d'horizons très différents tels que l'ingénierie, la science et l'économie dans des contextes industriels et de recherche. MATLAB peut être utilisé seul ou en combinaison avec des boîtes à outils [63].

IV.2.2- LES PARTICULARITES DU MATLAB :

MATLAB permet le travail interactif soit en mode commande, soit en mode programmation. Tout en ayant toujours la possibilité de faire des visualisations graphiques. Considéré comme un des meilleurs langages de

programmation (C ou Fortran), MATLAB possède les particularités suivantes par rapport à ces langages:

- la programmation facile.
- la continuité parmi les valeurs entières, réelles et complexes.
- la gamme étendue des nombres et leurs précisions.
- la bibliothèque mathématique très compréhensive.
- l'outil graphique qui inclut les fonctions d'interface graphique et les utilitaires.
- la possibilité de liaison avec les autres langages classiques de programmations (C ou Fortran) [63].

IV.3-L'implémentation

Dans cette section, on expose premièrement la modélisation formelle du problème traité (1-couverture), puis on donne les différents paramètres utilisés par l'algorithme génétique et par le RCSF ainsi qu'une description sur notre travail et sur les résultats obtenus.

IV.3.1-Modélisation du problème :

Dans notre implémentation, nous avons utilisé la modélisation prise de [65] afin d'utiliser l'algorithme génétique pour traiter le problème de la couverture (1-couverture) dans le RCSF.

1-La modélisation du RCSF utilisée :

On considère un RCSF avec un ensemble V de N nœuds de capteur $V=\{v_1, v_2, v_3, \dots, v_N\}$ sont déployés aléatoirement pour surveiller de manière continue et périodique plus un ensemble C de K nombre de cibles $C=\{c_1, c_2, c_3, \dots, c_K\}$.

- ✓ Un nœud peut détecter les cibles uniquement si elles se trouvent dans la plage de détection RD (rayon de détection).
- ✓ Les nœuds de capteur envoient les données à la SB (Station de Base) soit directement ou indirectement.
- ✓ Les nœuds peuvent communiquer les uns avec les autres uniquement s'ils se trouvent dans la plage de communication RC (rayon de communication) les uns des autres.

2-Le modèle mathématique utilisé :

- **Les hypothèses du réseau :**

- La SB située au hasard dans le champ de détection.
- Le RCSF est stationnaire.
- Tous les nœuds du RCSF ont la même énergie initiale tandis qu'une partite illimitée d'énergie est définie dans la SB.
- La valeur du $RD \leq RC$.

- **Le modèle mathématique :**

N : nombre de nœud.

K : nombre de cible.

a- Les variables de décision :

$$X_i = \begin{cases} 1 & \text{si le nœud } v_i \text{ est choisi} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad (1)$$

$$Y_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si la cible } c_i \text{ est dans la plage de détection (RD) du nœud } v_j \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad (2)$$

$$K_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si } v_j \text{ est dans la plage de communication (RC) de } v_i, \\ & \text{et en direction vers SB à partir de } v_i, i \neq j \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad (3)$$

$$Z_i = \begin{cases} 1 & \text{si } v_i \text{ est dans la plage de communication (RC) de SB} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad (4)$$

b- La fonction objectif :

$$\text{Min}F = \sum_{i=1}^N X_i \quad (5)$$

c- Les contraintes

$$\sum_{j=1}^N Y_{ij} \times X_i = 1, \forall i, 1 < i \leq K, Y_{ij} \in \{0,1\}, X_i \in \{0,1\} \quad (6)$$

La contrainte (6) signifie que pour chaque cible $c_i \forall i, 1 < i \leq K$, est couverte par un est un seul nœud capteur.

$$\left(\sum_{j=1}^N K_{ij} \times X_i + Z_i \right) \times X_i \geq 1 \forall i, 1 < i \leq N, K_{ij} \in \{0,1\}, Z_i \in \{0,1\} \quad (7)$$

La contrainte (7) signifie que pour tous les nœuds capteurs choisis ont au moins un nœud de capteur en tant que nœud de diffusion de données ou que le nœud de capteur se trouve dans la plage de transmission directe de la station de base. Les nœuds capteurs v_i sont dans la plage de transmission de la SB est donnée par la variable Z_i .

IV.3.2- LES PARAMETRES DE L'ALGORITHME GENETIQUE UTILISÉS :

Les différents paramètres (décrivent dans le chapitre 03) de l'algorithme génétique appliqués pour atteindre notre objectif de travail sont :

- La taille de la population initiale est choisie par l'utilisateur.
- Le codage utilisé des chromosomes est le codage binaire.
- Le type sélection utilisée est le type rang.
- Le type de croisement utilisé est le croisement simple (à un point).
- Le type de mutation est exprimé par le choix d'un morceau de chemin.
- Le teste d'arrêt égal au nombre d'itérations de l'algorithme génétique.

IV.3.3- LES PARAMETRES DU RCSF UTILISES :

Le tableau suivant représente les paramètres du RCSF utilisés :

Paramètres	Valeurs	Unité de mesure
Nombre des nœuds	60, 80, 100	---
L'énergie initiale des nœuds	0.5	Joule
Rayon de transmission	30, 35, 40	Mètre
Rayon de capture	29, 34, 39	Mètre
Type de déploiement	Aléatoire	---
Type de réseaux	Stationnaire	---

Tableaux IV.1 : Les paramètres du RCSF

IV.3.3- FONCTIONNEMENT DU SIMULATEUR REALISÉ :

Le fonctionnement de base de notre simulateur est présenté par l'organigramme de la figure suivante :

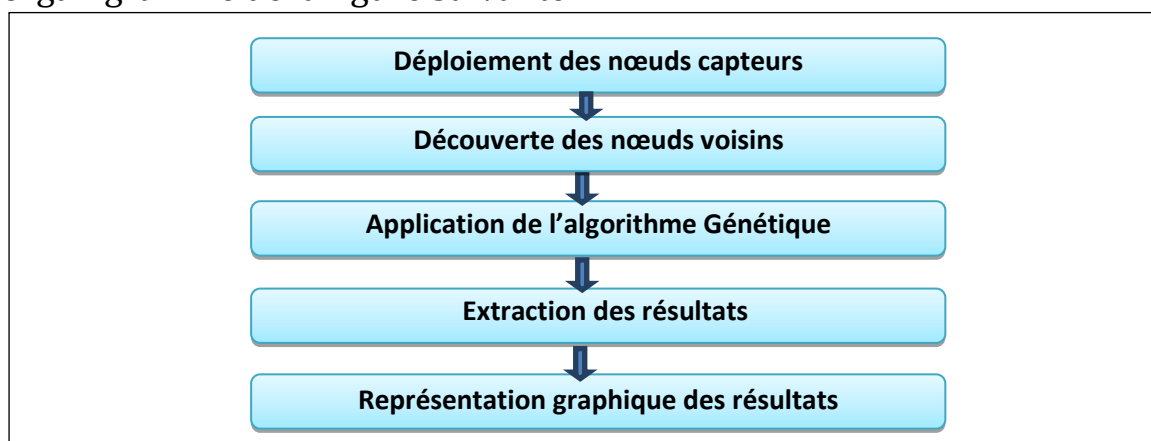


Figure IV.1 : Fonctionnement du simulateur réalisé

IV.3.4- LA DESCRIPTION DU SIMULATEUR REALISÉ :

Nous présentons dans cette section la description de notre simulateur.

1- L'INTERFACE PRINCIPALE:

Une fois l'utilisateur lance l'application alors il obtient la fenêtre principale suivante :

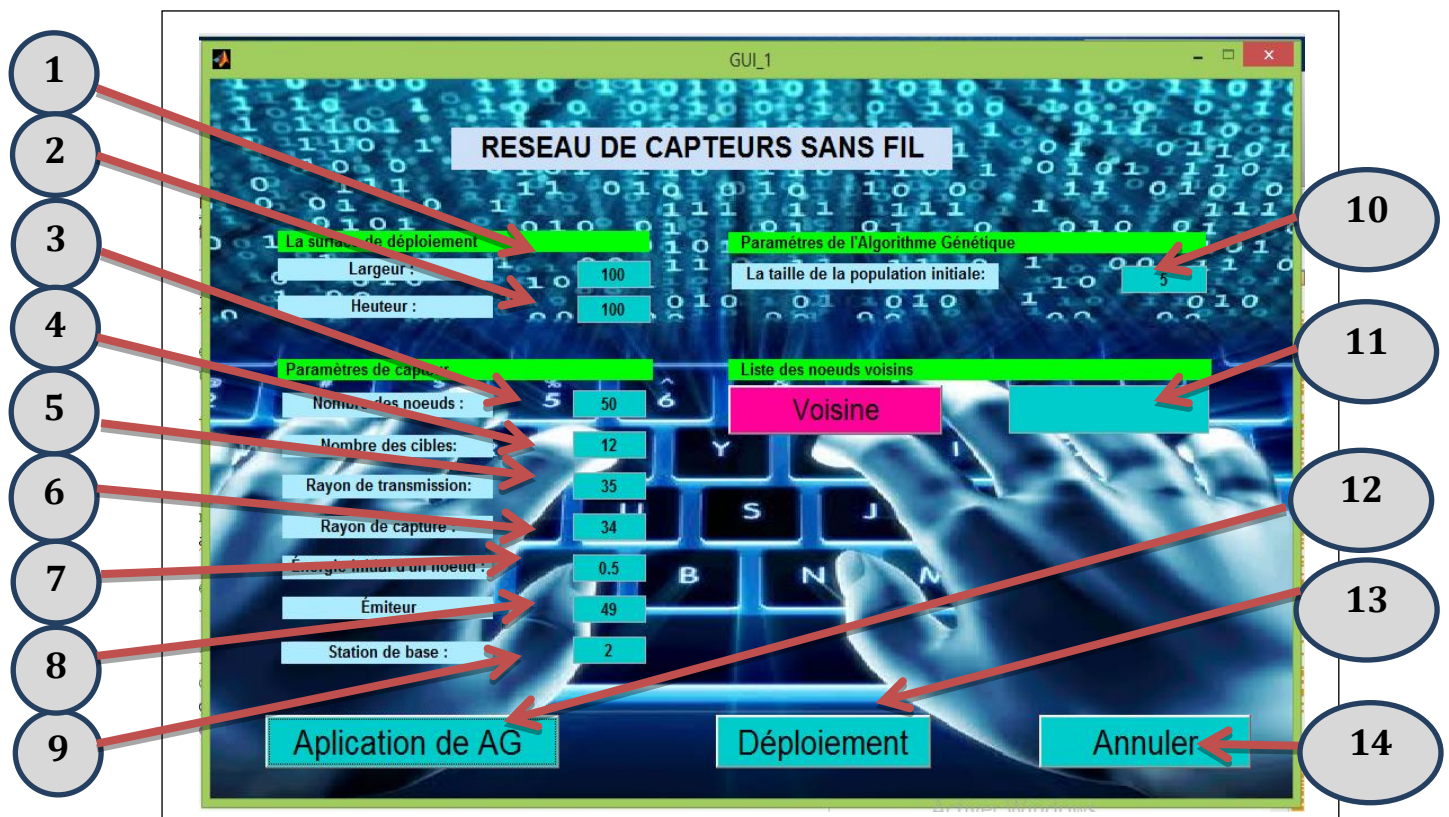


Figure IV.2 : Interface principale.

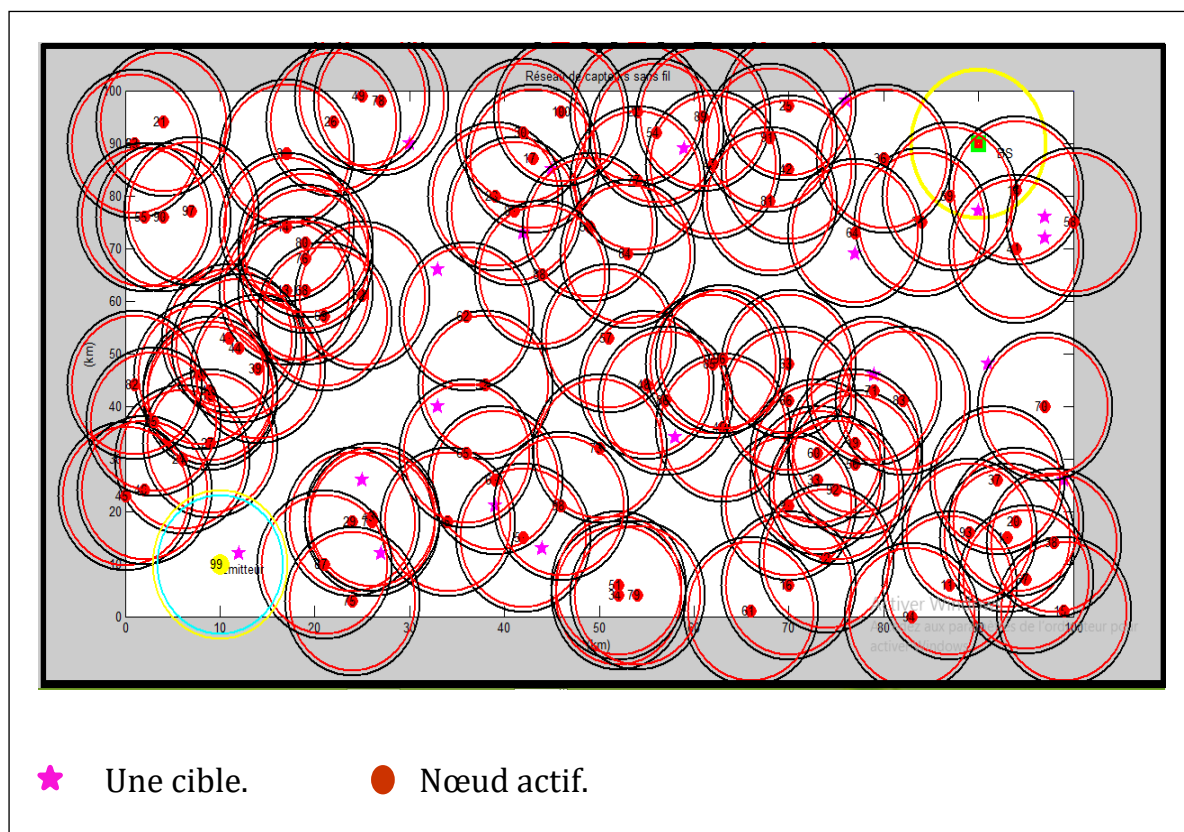
- 1- Zone pour saisir la largeur de la surface de déploiement.
- 2- Zone pour saisir la hauteur de la surface de déploiement.
- 3- Zone pour saisir le nombre des nœuds du réseau.
- 4- Zone pour saisir le nombre des cibles.
- 5- Zone pour saisir rayon de transmission.
- 6- Zone pour saisir rayon de capture.
- 7- Zone pour saisir l'énergie initiale d'un nœud.
- 8- Zone pour saisir le nœud émetteur.
- 9- Zone pour saisir la station de basse.
- 10- Zone identifier la taille de la population initiale.
- 11- Une zone pour saisir un numéro de nœud afin de déterminer la liste de ses voisins.

- 12- Bouton pour lancer l'application de l'algorithme génétique.
- 13- Bouton pour lancer le déploiement.
- 14- Bouton pour quitter l'interface.

2- DÉPLOIEMENT DES NOEUDS DE CAPTEURS

Cette phase comporte le déploiement aléatoire des nœuds de capteurs dans une surface à deux dimensions. Ce dernier ne respecte pas l'homogénéité de l'existence dans l'espace; il est fondé sur une fonction aléatoire qui engendre à chaque fois un emplacement différent par rapport au emplacement précédent. Chaque nœud au départ détient les informations suivantes :

- Une position en deux dimensions.
- Une portée radio de transmission lui permettant la détection de ses voisins.
- Une portée radio de son appareil de découverte lui permettant la détection de cibles possibles.
- L'énergie initiale de chaque nœud.



3- LA DÉTERMINATION DE LA LISTE DES NŒUDS VOISINS

La découverte des nœuds voisins est basée principalement sur les performances de transmission. Si la distance entre deux nœuds est intérieure ou égale à la portée maximale de la radio de transmission, ils se voient voisins. La figure qui suit présente le résultat de simulation lors de l'exécution de cette procédure de découverte des voisins.

```
ans =  
le noeud 1 a les voisins : 50  58  59  66  71  72  105  131  134  
  
ans =  
le noeud 2 a les voisins : 5   14  36  39  92  107  129  133  147  
  
ans =  
le noeud 3 a les voisins : 22  43  55  102  103  108  140  143  148  
  
ans =  
le noeud 4 a les voisins : 6   9  16  26  30  34  48  56  80  117  136  142  
  
ans =  
le noeud 5 a les voisins : 2   39  92  127  129  137  145
```

Figure IV.4 : la liste des nœuds voisins.

IV.4-Les différentes expérimentations réalisées

Par le biais de plusieurs expérimentations faites et afin d'atteindre notre objectif de ce travail, nous avons varié les différents paramètres utilisés par le RCSF simulé ont appliquant l'algorithme génétique détaillé dans la section précédente.

Il est à noter que nos résultats sont basés sur la simulation de différents types de réseaux, de 60 à 100 nœuds de capteurs déployés dans une zone de 100 X 100 m² pendant le nombre d'itérations définit pour dérouler l'algorithme génétique utilisé pendant la simulation. Dans les différents

scénarios utilisés et mis en œuvre, le trafic est généré périodiquement en modifiant les différentes valeurs des rayons utilisés par chaque nœud (rayon de transmission varié entre 30 et 40 et le rayon de capture varié entre 29 et 39). L'énergie initiale de chaque nœud de capteur est définie sur 0.5 joule. La métrique de performance utilisée est de minimiser le nombre des nœuds actifs en maintenant la connectivité dans les RCSF simulé.

➤ **Première expérimentation :**

La figure ci-dessous montre le déploiement aléatoire de 60 nœuds de capteurs et de 20 points cibles dont chaque nœud utilise un rayon de transmission de 40 m et un rayon de couverture de 39 m.

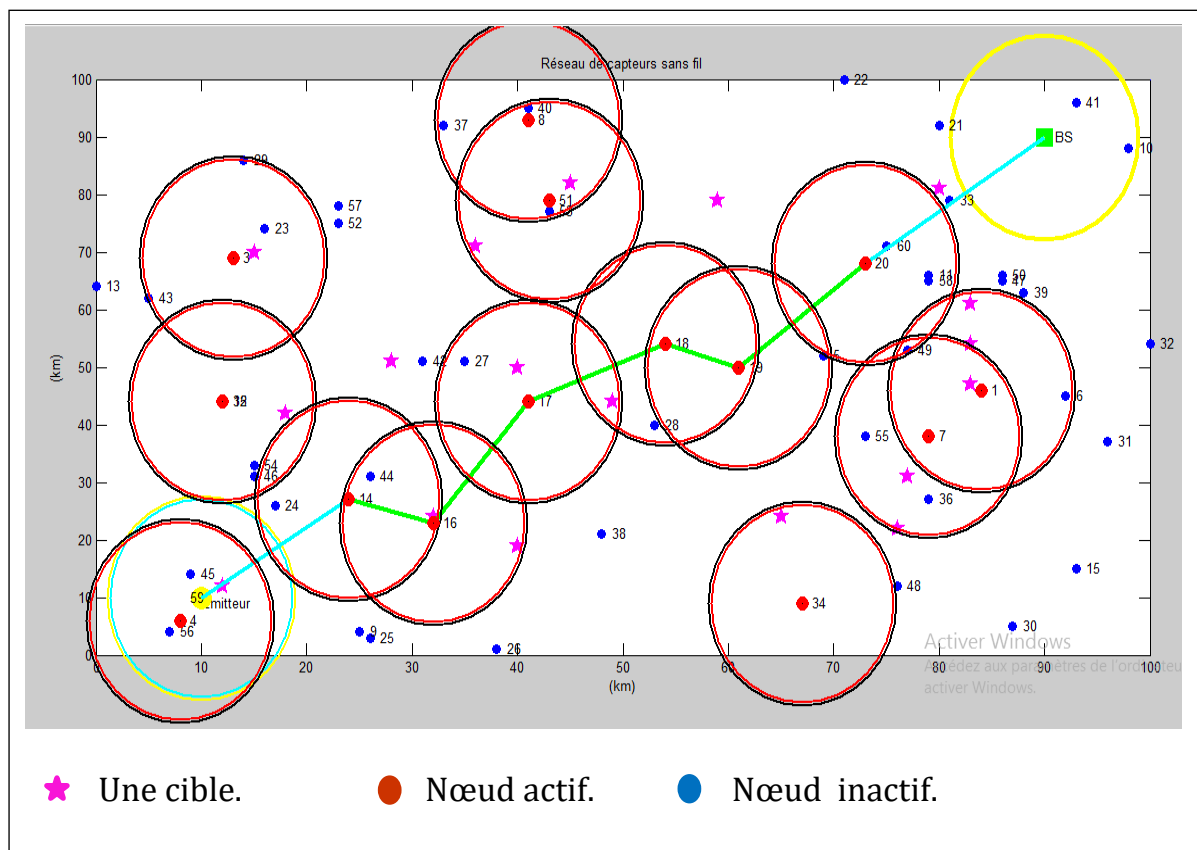


Figure IV.5 : La première expérimentation avec 60 nœuds de capteur et 20 cibles déployés.

La figure IV.5 représente les résultats obtenus après l'application de l'algorithme génétique utilisé. On note qu'après l'application de ce dernier que tous les points cibles ont été couverts, en plus de cela, la connexion entre le nœud émetteur et la station de base est également assurée, de plus, on constate que seulement, 15 nœuds ont été sélectionnés sur 60 nœuds actifs.

➤ **Deuxième expérimentation :**

La figure ci-dessous montre le déploiement aléatoire de 80 nœuds de capteurs et de 20 points cibles dont chaque nœud utilise un rayon de transmission de 35 m et un rayon de capture de 34 m.

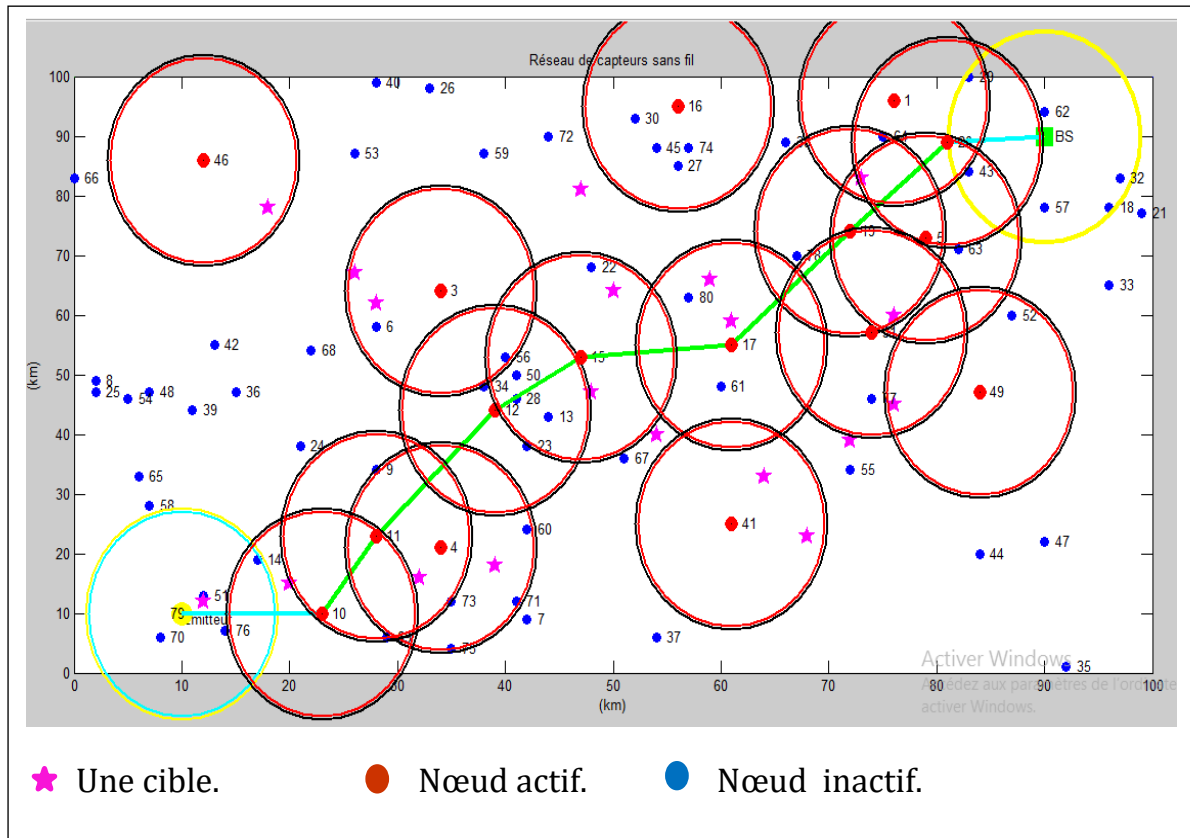


Figure IV.6 : La première expérimentation avec 80 nœuds de capteur et 20 cibles déployés.

La figure IV.6 représente les résultats obtenus après l'exécution de l'algorithme génétique utilisé. On remarque qu'après l'application de ce dernier que tous les points cibles ont été couverts. De plus, la connexion entre le nœud émetteur et la station de base est identiquement certaine, de plus, on constate que seulement, 17 nœuds ont été sélectionnés sur 80 nœuds actifs.

➤ **Troisième expérimentation :**

La figure ci-dessous montre le déploiement aléatoire de 100 nœuds de capteurs et de 20 points cibles dont chaque nœud utilise un rayon de transmission de 30 m et un rayon de capture de 29 m.

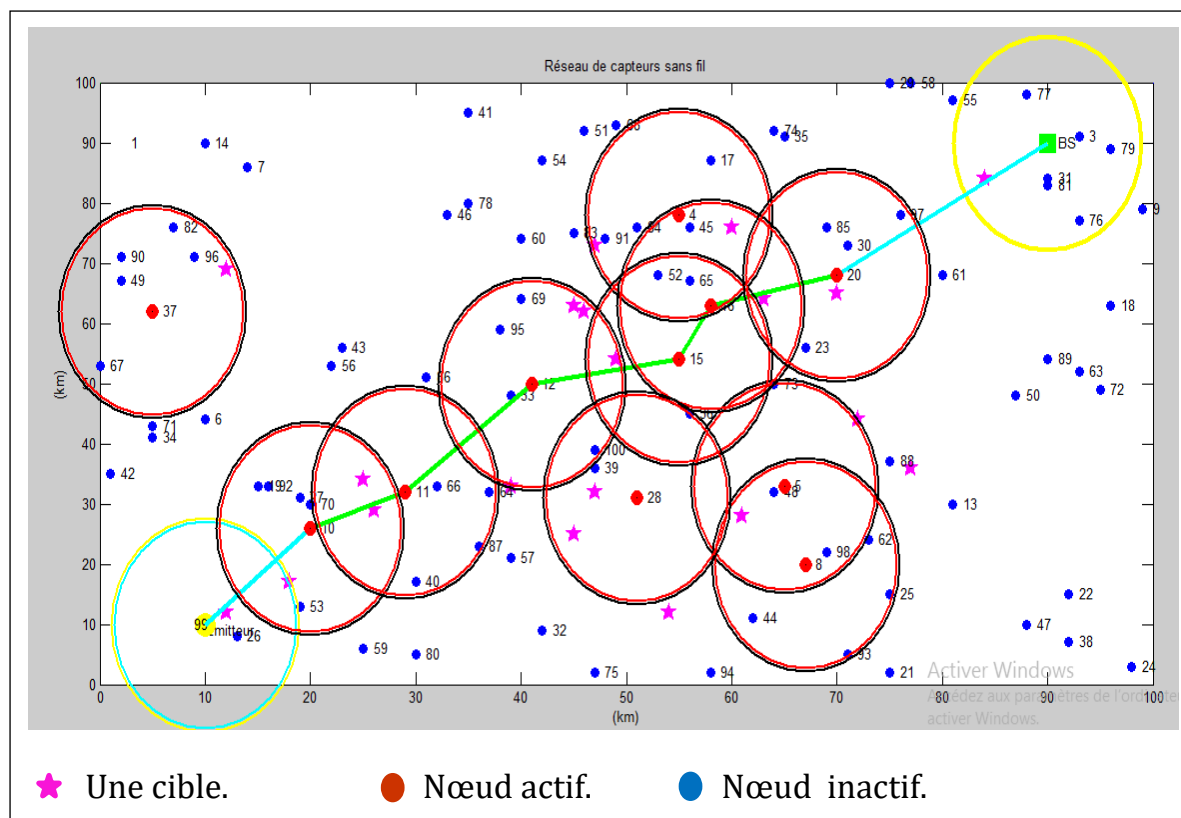


Figure IV.7 : La première expérimentation avec 100 nœuds de capteur et 20 cibles déployés.

La figure IV.7 représente les résultats obtenus après l'application de l'algorithme génétique utilisé. On note qu'après l'application de ce dernier que tous les points cibles ont été couverts, en plus de cela, la connexion entre le nœud émetteur et la station de base est également assurée, de plus, on constate que seulement, 12 nœuds ont été sélectionnés sur 80 nœuds actifs.

➤ **Analyse énergétique pour les trois expérimentations :**

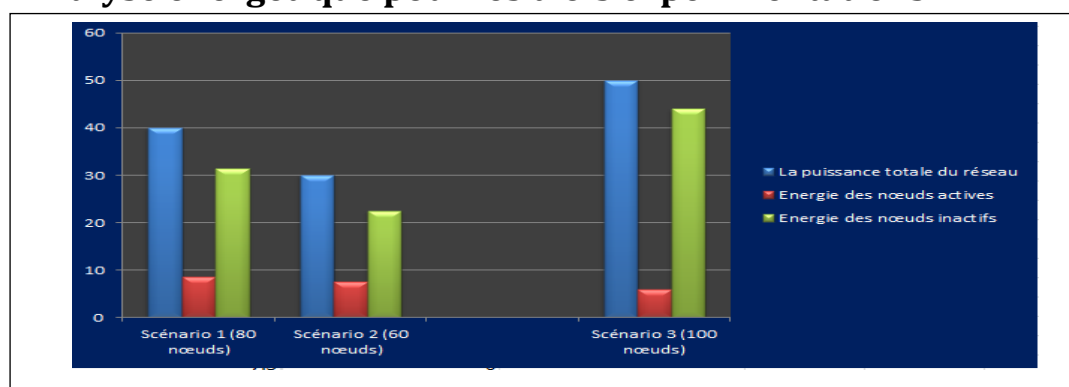


Figure IV.8: Les différentes valeurs d'énergie obtenues dans les différents RCSF simulés.

La figure IV.8 représente les résultats obtenus des différentes valeurs d'énergie obtenues dans les différentes expérimentations réalisées. On

remarque que l'énergie des nœuds actifs nécessaire pour assurer la couverture et la connectivité (représentée par la couleur rouge) est très faible par rapport à l'énergie totale du réseau (représentée par la couleur bleue). On remarque également que l'énergie restante (l'énergie du nœud inactif représentée par la couleur verte) est très élevée, alors on peut constater que le gain de performance significatif en termes d'énergie est assuré, cela nous permet de maintenir la couverture et la connectivité le plus longtemps possible ainsi le prolongement dans la durée de vie du réseau.

IV.6-Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons exposé l'utilisation d'un l'algorithme génétique adopté au problème de 1- couverture en calculant le plus court chemin entre le nœud émetteur et la station de base. En utilisant divers exemples de réseau, l'algorithme génétique utilisé est largement simulé avec un nombre variable de nœuds de capteurs et de points cibles, ainsi que la densité du réseau. De ca fait, on peut constater que cet algorithme utilisé peut offrir une 1-couverture des points cibles et également maintenir la connectivité entre les nœuds de capteurs actifs et la station de base pour transmettre les données de détection dont la durée de vie du RCSF est améliorée en désactivant les nœuds redondants.

Conclusion générale

Les RCSFs fil représenteront sans aucun doute un développement technologique majeur dans les années à venir, car ils apportent des solutions à de nombreux problèmes dans de nombreux domaines d'application liés à la sécurité et à la santé, etc. L'un des problèmes qu'on peut rencontrer dans ce genre de réseau est la problématique de l'économie d'énergie et l'amélioration de la durée de vie des RCSFs. L'utilisation de batteries par des capteurs est une contrainte critique, dans lequel les capteurs sont également parfois déployés sans surveillance et en si grand nombre que leurs batteries sont difficiles à changer ou à recharger.

Nous avons suivi les étapes suivantes : dans la première étape, nous avons présenté les réseaux de capteurs sans fil : leurs conceptions, architectures de communication et leurs domaines d'applications. Nous avons exposé également la notion de couverture dans la deuxième étape et les différents types et les paramètres de couvertures utilisés par les RCSFs. Enfin, nous avons décrit les critères liés au problème de couverture dans les RCSFs et la classification des différents types de protocoles de la couverture. Dans la troisième étape, nous avons présenté quelques méta-heuristiques. Et ensuite, nous avons détaillé les algorithmes génétiques.

Dans ce travail de mémoire, nous avons utilisé un algorithme génétique pour traiter le problème de 1-couverture. Cet algorithme est adopté peut fournir une couverture complète des points cibles et également maintenir la connectivité entre les nœuds de capteurs actifs et la station de base pour transférer les données collectées. Une modélisation formelle de ce problème est utilisée, capable de gérer l'objectif de la 1-couverture traitée avec l'amélioration de la durée de vie du RCSF en désactivant les nœuds redondants. En utilisant diverses expérimentations, l'algorithme génétique utilisé est largement simulé avec un nombre variable de densité du réseau et de points cibles. Enfin, nous pouvons dire que notre travail est extensible. De ce fait, plusieurs améliorations et perspectives futures restent à étudier. Entre elles, nous pouvons citer :

- Comparer notre travail de ce mémoire à d'autres travaux similaires ;
- Simuler l'algorithme génétique utilisé pour la 1-couverture par d'autres simulateurs ;
- Utiliser le même algorithme génétique pour le problème du k-couverture.....

Bibliographie

- [1] " Définition d'un réseau de capteurs sans fil " Disponible sur< https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9seau_de_capteurs_sans_fil > (Consulté le 22/01/2020).
- [2] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam and E. Cayirci. " A survey on sensor networks ". IEEE Communications Magazine, 40(8): 102-114, 2002.
- [3] " Architecture d'un nœud capteur " Disponible sur< <https://www.memoireonline.com/01/14/8559/La-geolocalisation-de-reseaux-capteurs-algorithme-DVHOP-3.png> > (Consulté le 22/01/2020).
- [4] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam and E. Cayirci. " Wireless sensor networks : a survey. Elsevier Computer Networks Journal ", 38(4): 393-422, 2002.
- [5] J. Feng, F. Koushanfar and M. Potkonjak. " System-Architecture for Sensor Networks Issues, Alternatives, and Directories ". In Proceedings of the 2002 IEEE International Conference on Computer Design, 2002.
- [6] Kacimi, R. (2009). " Techniques de conservation d'énergie pour les réseaux de capteurs sans fil " (Doctoral dissertation).
- [7] " Architecture d'un réseau de capteurs " Disponible sur< <https://www.memoireonline.com/08/10/3831/Approche-distribuee-pour-la-securite-dun-reseau-de-capteurs-sans-fils-RCSF78.png> > (Consulté le 22/12/2019).
- [8] Villeneuve, E. (2012). " DOCTORAT DE L'UNIVERSITE DE TOULOUSE " (Doctoral dissertation, Université Toulouse III).
- [9] Mohamed, R. (2013). " Problèmes De Sécurité Dans Les Réseaux De Capteurs Avec Prise En Charge De L'énergie?. " MEMOIRE DE MAGISTER, UNIVERSITE DE SAAD DAHLAB DE BLIDA.
- [10] Khelladi, L., & Badache, N. (2004). " Les réseaux de capteurs: état de l'art ". Faculté électronique et informatique Bab Ezzouar-Algérie.
- [11] Yacine CHALLAL " réseau de capteur sans fil ", support de cours, 17/11/2008.
- [12] " La pile protocolaire d'un réseau de capteurs " Disponible sur< <https://www.memoireonline.com/08/10/3831/Approche-distribuee-pour-la-securite-dun-reseau-de-capteurs-sans-fils-RCSF79.png> > (Consulté le 15/1/2020).

Bibliographie

Bibliographie

- [13] V. Rajavavivarme, Y. Yang, and T. Yang. " An overview of wireless sensor network and applications ". In Proceedings of the 35th Southeastern Symposium on System Theory, pages 432-436, 2003.
- [14] M. Ilyas and I. Mahgoub. " Handbook of sensor networks Compact wireless and wired Sensing Systems ", ISBN 08493196864. CRC PRESS LLS, USA, 2005.
- [15] Sofiane MOAD " Optimisation de la consommation d'énergie dans les réseaux de capteurs sans fil " Master recherche en 2^{ème} année informatique Université : FSIC-Rennes 1, Laboratoire de recherche : DYONISOS-IRISA 2008.
- [16] Sofiane, M. O. A. D., & Bouabdallah, N. (2008). " La consommation d'énergie dans les réseaux de capteurs sans fil ". Rapport de recherche, Institut De formation supérieure en informatique et communication IFSIC, Rennes.
- [17] A. Manjeshwar and D. P. Agarwal. "Apteen : A hybrid protocol for efficient routing ".
- [18] " La sur écoute dans une transmission " Disponible sur<
<http://www.memoireonline.com/02/12/5433/tat-de-lart-sur-les-reseaux-de-capteurs-sans-fil62.png> > (Consulté le 22/12/2019).
- [19] " Les deux zones de couverture d'un capteur " Disponible sur<
https://www.memoireonline.com/05/13/7188/m_Systemes-embarques--reseaux-de-capteurs-et-informatique-ubiquitaire4.html > Consulter le (18/3/2020).
- [20] .A.Makhoul, " Réseaux de capteurs : localisation, couverture et fusion de données ", thèse doctorat, Université de Franche-Comté, 2008.
- [21] J.P. Sheu, C.H. Yu, and S.C. Tu. " A distributed protocol for query execution in sensor Networks. In IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC) ", vol.3, Pp.1824-1829, New Orleans, LA, USA, 2005. .
- [22] B. Wang, " Coverage Problems in Sensor Networks: A survey ", in ACM Computing Surveys43, 2011, pp. 1-56.
- [23] M.Cardei and J.Wu. " Coverage in Wireless Sensor Networks". Department of Computer Science and Engineering Florida Atlantic University Boca Raton, FL 33431.

Bibliographie

- [24] J.CarleD.Simplot-RylA.Gallais, F.Ingelrest. " Maintien de la couverture de surface dans les réseaux de capteurs avec une couche physique non idéale". Univ. Lille 1. 59655 Villeneuve d'Ascq Cedex, FRANCE, 2006.
- [25] I. Khou, P. Minet, A. Laouiti, and S. Mahfoudh, " Survey of Deployment Algorithms in Wireless Sensor Networks: Coverage and Connectivity Issues and Challenges ", in International Journal of Autonomous and Adaptive Communications Systems, 2014, pp. 1-24.
- [26] B. Wang, " Coverage Problems in Sensor Networks: A survey ", in ACM Computing Surveys43, 2011, pp. 1-56.
- [27] M. Cardei, D. MacCallum, X. Cheng, M. Min, X. Jia, D. Li, and D.Z. Du. " Wireless Sensor Networks with Energy Efficient Organization. Journal of Interconnection Networks ", vol.3, no. 3-4, pp.213-229, 2002.
- [28] S. Slijepcevic and M. Potkonjak. " Power Efficient Organization of Wireless Sensor Networks ". In proceedings of the IEEE International Conference on Communications, vol.2 .472-476, 2001. [19] D.T. Lee. On k-nearest neighbor Voronoi diagrams in
- [29] M. T. Thai Y. Li M. Cardei and W. Wu. " Energy-Efficient Target Coverage in Wireless Sensor Networks ". . In 24th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Commu- nications Societies, 3 : 1976-1984, 2005.
- [30] M. Potkonjak S. Meguerdichian, F. Koushanfar and M. Srivastava. " Coverage Problems in Wireless Ad-Hoc Sensor Networks ". IEEE Infocom 2001, Vol 3, pp 1380-1387, April 2001.
- [31] " Couverture des cibles " Disponible sur< <https://www.memoireonline.com/02/12/5433/tat-de-lart-sur-les-reseaux-de-capteurs-sans-fil82.png> > Consulter le (18/3/2020).
- [32] S. Kumar, T. H. Lai and A. Arora. " Barrier Coverage With Wireless Sensors. In Proceedings of the 11th annual international conference on Mobile computing and networking ", pages 284-294, 2005.
- [33] J.Beaudaux. " Partitionnement logique dans les réseaux de capteurs sans fil. Université de Strasbourg ", Août 2010.
- [34] S. K. Gaurav, B. Yigal and S. " Saswati. Lifetime and Coverage Guarantees through Distributed Coordinate-Free Sensor Activation ". In Proceedings of the 15th annual international conference on Mobile computing and networking, pages 169-180, 2009

- [35] M. Ilyas and I. Mahgoub, " Handbook of Sensor Networks: Compact Wireless and Wired Sensing Systems ", in CRC Press, Boca Raton, 2005.
- [36] B. Wang, " Coverage Problems in Sensor Networks: A survey ", in ACM Computing Surveys 43, 2011, pp. 1-56.
- [37] F. Ye, G. Zhong, J. Cheng, S. Lu, and L. Zhang. " Peas: A robust energy conserving protocol for long-lived sensor networks ". In Proceedings of International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS), pp. 28-37, Rhode Island, USA, 2003
- [38] : A. Gallais, J. Carle, D. " Simplot-Ryl and I. Stojmenovic. Localized Sensor Area Coverage with Low Communication Overhead ". In IEEE transactions on mobile computing, 7(5): 661-672, 2008.
- [39] A. Gallais. " Ordonnancement d'activité dans les réseaux de capteurs : l'exemple de la cou- verture de surface. Univ ". Lille 1. 59655 Villeneuve d'Ascq Cedex, FRANCE, 2006.
- [40] M.E.Khanouche, " Le traitement du problème de la couverture dans les réseaux de capteurs sans fil, mémoire de magistère ", Université de Bejaia, 2010.
- [41] A. Khalil, " Méthodes analytiques pour la couverture dans un réseau de capteurs sans fil, mémoire de magistère ", Université de Béjaïa, 2010
- [42] C.Gui and P. Mohapatra. " Power conservation and quality of surveillance in target tracking sensor networks. In Proceedings of ACM Mobile Computing and networking (Mobicom) ", pp.129-143, Philadelphia, PA, USA, 2004.
- [43] C. Gui and P. Mohapatra. " Power conservation and quality of surveillance in target tracking sensor networks. In Proceedings of ACM Mobile Computing and networking (Mobicom) ", pp.129-143, Philadelphia, PA, USA, 2004.
- [44] D. E. Goldberg. " Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning. Studies in Computational Intelligence. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., 1st edition ", 1989. ISBN 0201157675.
- [45] " Introduction aux algorithmes génétiques " Disponible sur<<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00952774/document> > (Consulté le 22/09/2020).

Bibliographie

[46] Re Jean-Louis Le Moigne, dans " La modélisation des systèmes complexes " (Ed. Dunot, 1991)

[47] " Définition d'une heuristique " Disponible sur <https://www.eurodecision.com/algorithmes/recherche-operationnelle-optimisation/heuristiques-meta-heuristiques> > (Consulté le 22/09/2020).

[48] Abbas EL DOR. " Perfectionnement des algorithmes d'Optimisation par Essaim Particulaire ". Applications en segmentation d'images et en électronique. THÈSE DE DOCTORAT EN INFORMATIQUE.UNIVERSITÉ PARIS-EST. 2012

[49] F. Glover. " Future paths for integer programming and links to artificial intelligence ".Computers and Operations Research, Vol. 13, pp. 533–549, 1986.

[50] I. H. Osman ET G. " Laporte: Metaheuristics: A bibliography. Annals of Operations Research". 63:513.623, 1996.

[51] A. BAPTISTE, " Les métaheuristiques en optimisation combinatoire, conservatoire national des arts et métiers paris ". 2006.

[52] Disponible sur <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:wIKYHDQNmósJhttps://hal.archivesouvertes.fr/file/index/docid/753975/filename01.pdf+8cd-1&hl-fr&ctrlnk&gl-dz> > (Consulté le 22/09/2020).

[53] I. Boussaïd, A. Chatterjee, P. Siarry, & M. Ahmed-Nacer. " Hybridizing biogeography-based optimization with differential evolution for optimal power allocation in wireless sensor networks ".

[54] J. Dréo, A. Petrowski, É. D. Taillard, & P. Siarry. " Métaheuristiques pour l'optimisation difficile ". Eyrolles (Editions), November 2003. ISBN 2212113684.

[55] Terki Amel, " Analyse des performances des algorithmes génétiques utilisant différentes techniques d'évolution de la population ", Université Mentouri Constantine.

[56] voir (en) Vijay Vazirani, " Approximation algorithms, Springer Verlag ", 2001 (puis 2003), 380 p. (ISBN 978-3-540-65367-7), chap. 5 (« k-center »).

[57] D.Beasley et R. Martin, " An Overview of Genetic Algorithms ": Part 2, departement of Computing Mathematics, University of Wales Collège of Cardiff, CF2 4YN, 1993

[58] A. Nabonne. " Algorithmes évolutionnaires et problèmes inverses ", chapitre 8, Juin 2004.

[59] N.Benahmed," Optimisation de réseaux de neurones pour la reconnaissance de chiffres manuscrits isolés: sélection et pondération des primitives par algorithme génétique " . Université du Québec ,2002.

[60] " Le mécanisme de fonctionnement d'un (AG) " Disponible sur <http://webcache.googleusercontent.com/search?qwcache:8LeUenRMXPcJ:www.gardeuxvincent.eu/These/Papiers/Bibli2/Clerc04.pdf+&c> > (Consulté le 22/09/2020).

[61] Benahmed, " Optimisation de réseaux de neurones pour la reconnaissance chiffres manuscrits isolés: sélection et pondération des primitives par algorithme génétique ". Université du Québec, 2002.

[62] T.Vallé et M.Yildizoğlu" Présentation des algorithmes génétiques et de leurs applications en économie ", Université de Nantes et Université Montesquieu Bordeaux IV 2001.

[63] Adrian Biran et Moshe Breiner, " MATLAB pour l'ingénieur : Versions 6 et 7 ", Pearson Education, 2004 (ISBN 2744070254).

[64] " Les types de la sélection des parents " Disponible sur <https://khayyam.developpez.com/articles/algo/genetic/#LIII-A-1> > (Consulté le 22/09/2020).

[65] Harizan, S., & Kuila, P. (2019). " Coverage and connectivity aware energy efficient scheduling in target based wireless sensor networks: an improved genetic algorithm based approach ". *Wireless Networks*, 25(4), 1995-2011.

[66] MEKKAOUI, K., & RAHMOUN, A. (2016). " *Sensor Technology: Un Clustering centralisé et dynamique basé sur les AGs pour une consommation d'énergie minimale dans les réseaux de capteurs sans fil* " (Doctoral dissertation).

[67] Tchakonte, D. T. (2019). " *Minimisation de la consommation d'énergie des réseaux de capteurs dans les applications de couverture de cibles* " (Doctoral dissertation, Université Grenoble Alpes; Université de Yaoundé I).

- [68] Ngom, D. (2016). " *Optimisation de la durée de vie dans les réseaux de capteurs sans fil sous contraintes de couverture et de connectivité réseau* " (Doctoral dissertation, Mulhouse).